

Appassionatamente curiosi

per una didattica delle scienze dell'atmosfera

a cura di STEFANO VERSARI e FRANCO BELOSI

Contributi di:

Franco Belosi - Milena Bertacci - Maria Teresa Bertani Paolo Bonasoni - Andrea Buzzi - Bruno Casadio Egle Casadio Loreti - Filippo Ciampolini - Paolo Cristofanelli Villi Demaldè - Giovanna Foschini - Aurelio Geremia Ivana Mazzolani - Carla Nizzoli - Vanna Nucciotti Pantaleo Palmieri - Assunta Parrillo - Franco Poggiali Franco Prodi - Gigliola Puppi - Anna Maria Ricci Roberto Rossi - Lucrezia Stellacci - Francesco Tampieri Antonio Testoni - Stefano Valli - Stefano Versari



Il volume "Appassionatamente curiosi" si inserisce nell'ambito del Protocollo di Intesa sottoscritto il 7 gennaio 2004 dall'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna con il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), finalizzato a qualificare l'offerta formativa delle istituzioni scolastiche della regione, favorire lo sviluppo della ricerca applicata e di base nel campo della fisica dell'atmosfera e del clima, promuovere la diffusione della cultura tecnico-scientifica. Lo sviluppo delle iniziative connesse al Protocollo è stato curato da un Comitato Tecnico-Scientifico Paritetico, composto da Lucrezia Stellacci - Direttore Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna (USR E-R); Franco Prodi - Direttore dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISAC); Stefano Versari - Dirigente l'Ufficio I della Direzione Generale dell'USR E-R; Franco Belosi - Primo tecnologo ISAC-CNR.

Coordinamento scientifico: Stefano Versari, Franco Belosi. Coordinamento redazionale: Maria Teresa Bertani, Assunta Parrillo. Editing: Maria Teresa Bertani.

Collana "I Quaderni dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna" Ouaderno n. 15 – marzo 2006

La riproduzione dei testi è consentita, previa citazione della fonte.

Il titolo è tratto da una lettera di Albert Einstein a Carl Seelig dell'11 marzo 1952, citata in '*Albert Einstein, Pensieri di un uomo curioso*', Edizioni Piccola Biblioteca Oscar Mondadori, Milano 2004, a cura di Alice Calaprice: "*Non ho particolari talenti, sono soltanto appassionatamente curioso*".

In copertina: 'La tempesta' di Giorgione – Gallerie dell'Accademia di Venezia

Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna

Piazza XX Settembre, 1-40121 Bologna - Tel 051 4215711

E-mail: direzione-emiliaromagna@istruzione.it; sito web: www.istruzioneer.it

Direttore Generale: Lucrezia Stellacci

Ufficio I - Diritto allo studio, politiche giovanili, associazionismo, servizio agli studenti, scuole

non statali, progetti nazionali, europei ed internazionali

Dirigente: Stefano Versari

Stampa Tecnodid editrice, Napoli, marzo 2006

INDICE

Presentazione Lucrezia Stellacci	7
Presentazione Franco Prodi	11
Introduzione La natura della ricerca scientifica ovvero dell'essere appassionatamente curiosi Stefano Versari	13
Capitolo 1 - Didattica delle scienze dell'ambiente e dell'atmosfera Le discipline scientifiche nella legge 53/2003 e nelle indicazioni nazionali Gigliola Puppi	29
Educazione ambientale e metodi per evitare il rischio di 'inquinamento culturale' <i>Filippo Ciampolini</i>	35
Educazione ambientale: strumento di orientamento alle discipline scientifiche <i>Milena Bertacci</i>	44
Per una discussione sull'insegnamento delle scienze oggi in Italia Villi Demaldè	63
Il sentiero dell'atmosfera: Monte Cimone Paolo Bonasoni, Paolo Cristofanelli	72
Un'esperienza di ricerca scientifica nella scuola Pantaleo Palmieri, Stefano Valli	85
Capitolo 2 - Meteorologia, clima, inquinamento atmosferico Il clima e i suoi cambiamenti Franco Prodi	101

6 INDICE

La previsione del tempo Andrea Buzzi	110
Turbolenza dell'atmosfera e dispersione degli inquinanti Francesco Tampieri	128
Che cosa sono e come si misurano le polveri 'sottili'? Franco Belosi	139
L'aria che respiriamo Carla Nizzoli	157
Capitolo 3 – Le scienze dell'atmosfera: alcune esperienze didattic dell'Emilia-Romagna	he nelle scuole
Qualità dell'aria e salute: i licheni guardiani dell'aria Egle Casadio Loreti	173
La Scienza e le scuole in rete Bruno Casadio, Giovanna Foschini	180
La rete Globeseren@ Vanna Nucciotti	187
Raccolta, elaborazione e pubblicazione di dati agrometeorologici Ivana Mazzolani, Franco Poggiali, Anna Maria Ricci	195
Progetto 'Scooter a metano' Roberto Rossi	205
Analisi chimica delle emissioni di motori Aurelio Geremia	212
Capitolo 4 – Esperienze didattiche e materiali Le scienze dell'atmosfera: repertorio di esperienze didattiche in alcune rie di primo e secondo grado della regione Emilia-Romagna A cura di Maria Teresa Bertani, Assunta Parrillo	scuole seconda-
Bibliografia A cura di Antonio Testoni	282
Sitografia A cura di Maria Teresa Bertani	287
Autori	293

Presentazione

Lucrezia Stellacci – Direttore Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna

Nella nostra cultura esiste un pregiudizio che ha condizionato pesantemente l'intero sistema formativo, secondo cui l'unica vera cultura è quella umanistica.

Per lunga tradizione di impronta gentiliana ed illuminista, le discipline umanistiche sono state ritenute le più funzionali alla formazione dei nostri ragazzi ed i metodi di insegnamento per nozioni teoriche e concetti astratti i più efficaci; ne è conseguita una sorta di subalternità delle discipline scientifiche e tecnologiche che, fra l'altro insegnate con gli stessi metodi delle discipline umanistiche, al di fuori degli appropriati ambienti laboratoriali di ricerca e sperimentazione, perdevano ogni attrattiva per gli studenti, chiamati ad immaginare la realtà, piuttosto che ad osservarla dal vero.

Se a queste premesse si aggiunge l'erronea quanto diffusa convinzione secondo cui la formazione scientifica non trova sbocchi ambiti e remunerativi sul mercato del lavoro, a causa degli esigui investimenti riservati alla ricerca, il teorema diventa perfetto e blindato.

Conseguenza diretta di tali assunti culturali è stata l'emorragia progressiva delle iscrizioni ai corsi di laurea di grande tradizione scientifica (Matematica, Fisica, Chimica) e di alta tecnologia (Informatica, Ingegneria elettronica, ecc.), accompagnata negli ultimi anni da segnali preoccupanti di fuga degli studenti dalle scuole tecniche verso i licei.

Ed è sempre in questi pregiudizi che vanno cercate le ragioni dei risultati deludenti dei nostri studenti nelle prove di matematica, scienze e risoluzione di problemi nell'ultima indagine internazionale OCSE-PISA (2003) sui livelli di apprendimento dei quindicenni secolarizzati, rivolta ai 30 Paesi aderenti all'Organizzazione.

La situazione è diventata davvero critica: a fronte di un sistema produttivo mondiale che si evolve assorbendo quantità crescenti di sapere soprattutto scientifico, l'esigua disponibilità di laureati nelle discipline scientifiche e tecnologiche diventa un fattore frenante per lo sviluppo.

Su questo versante l'Italia è in buona compagnia a livello europeo, tant'è che il Consiglio europeo di Lisbona del 2000 nel disegnare la mappa dei 13 obiettivi da raggiungere nel 2010, ritenuti strategici per fare dell'Europa 'la più competitiva e dinamica economia basata sulla conoscenza', ha previsto:

- l'aumento del 15% dei laureati delle facoltà scientifiche che maggiormente promuovono ricerca e innovazione nella nostra società;

- l'innalzamento della spesa per ricerca e sviluppo al 3% del PIL europeo, percentuale composta di un 1% di finanziamento pubblico e di un 2% di finanziamento privato.

Per un utile confronto si precisa che nel 2002 l'incidenza della spesa pubblica sul PIL era pari allo 0,58%, discostandosi di poco da quella europea (0,67%), mentre l'incidenza della spesa dei privati sul PIL era ed è di molto inferiore a quella europea (0,58 % per l'Italia contro l'1,26% per l'U.E.).

Per raggiungere i suddetti obiettivi sono state poste in essere numerose iniziative, attivate direttamente dal MIUR, con effetti di ricaduta su tutto il territorio, e dai singoli Uffici scolastici regionali.

Fra le azioni promosse a livello centrale ricordiamo:

- l'Intesa sottoscritta con la 'Fondazione Golinelli' di Bologna per la realizzazione di un articolato piano di formazione metodologico disciplinare dei docenti di scienze di una rete di Istituti di istruzione secondaria di secondo grado sparsi sull'intero territorio nazionale:
- l'Intesa sottoscritta con Confindustria, da cui è scaturito il Progetto nazionale 'Lauree scientifiche' che impegna i corsi di laurea di Matematica, Chimica e Fisica delle maggiori Università italiane a programmare, insieme con i docenti di materie scientifiche degli Istituti secondari di 2° grado, corsi di formazione sulla qualità metodologico-disciplinare dell'insegnamento delle discipline scientifiche, oltre ad azioni di orientamento didattico a favore degli studenti.

Per non parlare della 'didattica laboratoriale' che, grazie alla Riforma del sistema formativo disegnata dalla Legge quadro n.53/2003, diventa la metodologia privilegiata in tutti i processi di insegnamento-apprendimento, dalla scuola primaria alla secondaria di secondo grado e per tutte le discipline.

Anche l'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna si è adoperato per favorire lo sviluppo della cultura scientifica nelle scuole, percorrendo entrambe le strade, quella della formazione mirata dei docenti e quella di una rinvigorita azione di orientamento formativo per gli studenti del 1° e 2° ciclo di istruzione; tra queste ricordiamo:

- il portale dedicato alla Matematica, realizzato in collaborazione con l'IRRE E-R e con le Università della Regione, con le quali abbiamo sottoscritto appositi protocolli, che costituisce uno spazio web in cui è possibile reperire informazioni, notizie e proposte didattiche;
- il Progetto 'Bio e-learning', promosso dalla 'Fondazione Golinelli', che coinvolge 19 istituzioni scolastiche in un sistema di formazione misto di *e-learning* e laboratorio riguardante alcune discipline scientifiche (biochimica, biologia molecolare, genetica, macrobiologia);
- l'Intesa con l'IRRE E-R e la Fondazione Aldini Valeriani che ci ha permesso attraverso corsi di formazione, già realizzati, a favore di docenti di discipline scientifiche e tecniche delle nostre scuole, di mettere a punto nuovi strumenti metodologici la cui

efficacia andremo a testare in un nuovo Progetto appena avviato con la collaborazione di alcuni Istituti scolastici secondari di secondo grado, dell'Università di Bologna e di alcune imprese locali.

In tale ambito si inserisce anche il Protocollo di intesa sottoscritto con il Consiglio nazionale delle ricerche - Istituto di Scienze dell'Amosfera e del Clima (CNR-ISAC) che regola la reciproca collaborazione al fine di qualificare l'offerta formativa delle istituzioni scolastiche della Regione, favorire lo sviluppo della ricerca applicata e di base nel campo della fisica dell'atmosfera e del clima, promuovere la diffusione della cultura tecnico-scientifica.

Una prima declinazione di tale collaborazione è stato il Progetto "Dinamica dell'atmosfera", che ha coinvolto studenti e docenti in un processo di ricerca-azione, realizzato prevalentemente attraverso attività di tipo laboratoriale e finalizzato a radicare la percezione di uno studio della realtà che parte dall'osservazione della stessa e che prosegue con l'elaborazione dei dati acquisiti.

Il progetto, oltre a permettere l'acquisizione delle conoscenze scientifiche oggetto della ricerca attraverso un coinvolgimento attivo degli studenti, ha dispiegato un'efficacia altamente formativa, promuovendo lo sviluppo del ragionamento logico e critico.

La presente pubblicazione, che trae spunto dalle attività didattiche realizzate con la collaborazione del CNR-ISAC, vuole essere uno strumento di orientamento alle discipline scientifiche, in quanto si compone di una serie articolata di 'riflessioni' sulla fisica dell'atmosfera ed in generale sull'insegnamento di queste nella scuola.

Il volume, che si avvale del contributo di docenti e ricercatori, è poi arricchito da un repertorio di esperienze svolte in numerose istituzioni scolastiche emiliano-romagnole sostenute da reti territoriali molto attive e collaborative.

Sono sempre più convinta che quanto più difficile si fa il traguardo da raggiungere, tanto più diventa necessario potenziare la politica di concertazione fra istituzioni e territorio, perché ciascuno possa fare la propria parte e sentirsi in qualche misura artefice dello sviluppo del proprio Paese.

Presentazione

Franco Prodi – Direttore dell'Istituto di Scienze dell'atmosfera e del clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Mondo della scuola e mondo della ricerca non comunicano, almeno non comunicano quanto dovrebbero. Che non comunichino è un guaio serio per tutti e due, ma soprattutto per la ricerca. È la ricerca che ha bisogno di vocazioni motivate, e le motivazioni serie nascono negli anni della formazione, della scuola e dagli stimoli che i giovani ricevono nel momento delle loro scelte.

In particolare il calo mondiale delle iscrizioni nelle facoltà strettamente scientifiche, matematica, fisica, chimica (un calo registrabile in tutto il mondo), rischia di mettere a repentaglio la possibilità dell'umanità stessa di gestire il proprio futuro ed il proprio rapporto con il pianeta che la ospita.

Il problema delle risorse energetiche, il problema della salvaguardia dell'ambiente a livello planetario ed il problema dei cambiamenti climatici sono centrali per la ricerca scientifica e non possono essere affrontati e risolti se non con un impegno qualitativo e quantitativo poderoso, in tutti i paesi, avanzati e non avanzati.

Non abbiamo ancora un modello globale di clima in grado di prevedere i futuri andamenti, e sarà così ancora per parecchi decenni. Non abbiamo un ambiente accettabile e continuiamo a deteriorarlo anche in aree prima integre, sotto l'impulso di un malinteso sviluppo decentrato. Non abbiamo una soluzione accettabile per le risorse energetiche sostitutive del petrolio quando questo comincerà a scarseggiare veramente. Sono sfide intellettuali che dovrebbero essere sentite dai giovani prima di tutto, perché ai giovani di oggi spetterà di risolverle.

Il programma messo a punto nell'ambito del Protocollo di intesa fra CNR-ISAC e Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna ha proprio questo scopo: di fare crescere la sensibilità dei giovani verso la scienza, ed in particolare verso la meteorologia e la fisica dell'atmosfera, che della salvaguardia ambientale e dei cambiamenti climatici sono il basamento insostituibile.

Abbiamo disegnato un coinvolgimento dei giovani attorno alla misura dei parametri meteorologici, ma anche disponendo campionamenti di aerosol per la definizione della qualità dell'aria. I giovani hanno potuto così vedere l'utilità delle loro azioni e dei loro contributi ed hanno toccato con mano la validità dei risultati.

Con la serie di conferenze, sugli argomenti di grande attualità scientifica, seguite

tutte con grande attenzione, i giovani sono entrati in contatto con i ricercatori che hanno sì esposto le loro ricerche, ma anche esposto se stessi come modelli di scelta seria di vita dedicata alla comprensione dei fenomeni e dei problemi.

Mi auguro che questa esperienza che ha già dimostrato di dare frutti immediati, possa darne anche nel tempo lungo, portando alla maturazione le scelte dei giovani verso la ricerca.

Introduzione

LA NATURA DELLA RICERCA SCIENTIFICA OVVERO DELL'ESSERE APPASSIONATAMENTE CURIOSI

Stefano Versari

Introdurre una pubblicazione sulla didattica delle scienze dell'ambiente, ed in particolare dell'atmosfera, chiede innanzitutto una seppur breve ripuntualizzazione dei 'fondamentali', anche a rischio di una certa ovvietà. Intendiamoci dunque sui termini, che è questione quanto meno centrale in un testo che si offre come contributo per una didattica e che dunque concerne l'insegnamento.

Scienza e tecnica sono termini fra loro in stretta correlazione ma distinti e dunque da intendersi nel senso di ciò che rappresentano¹. La funzione specifica e primaria della scienza è l'acquisizione di conoscenza e dunque la ricerca della comprensione organica e sistematica dei fenomeni. La scienza, in altre parole, è ricerca della verità di ciò che la realtà ci propone ovvero ricerca della corrispondenza tra la nostra asserzione e la realtà. La verità dunque, non la certezza, è obiettivo degno di essere perseguito dalla scienza.

La tecnica è invece l'insieme di strumenti che, utilizzati con procedimenti specifici, consentono di realizzare processi e prodotti. Meta della tecnica è perciò fare qualcosa, è costruire. Evidenti le connessioni: la scienza non può perseguire il suo obiettivo di ricerca della conoscenza senza l'ausilio di tecniche sempre più sofisticate. E la tecnica, a sua volta, trae impulso dinamico dalle acquisizioni scientifiche, di cui è in sostanza strumento per una loro declinazione operativa.

La scienza, dicevamo, è ricerca della verità di ciò che la realtà ci propone. È evidente che non è possibile una ricerca se non si è animati dal desiderio di scoprire, sostenuti dal bisogno ontologico di sapere, in altre parole, se non si è appassionatamente curiosi:

¹ Sull'argomento è disponibile una sterminata messe di contributi; ci si riferisce qui in particolare a: E. Agazzi, *Il bene, il male e la scienza – Le dimensioni etiche dell'impresa scientifico-tecnologica,* Rusconi, Milano, 1992; K. R. Popper, *Congetture e confutazioni – Lo sviluppo della conoscenza scientifica*, Fabbri, Bergamo, 1996.

"Non ho particolari talenti, sono soltanto appassionatamente curioso" così scrive nel 1952 Albert Einstein². In termini pressoché analoghi si esprime Victor Weisskopf: "In quale senso l'universo ha senso? Nel senso che si sente un senso. Ogni vero scienziato intuisce un senso, consciamente o inconsciamente. Se così non fosse, non andrebbe avanti con quel fervore, così comune tra gli scienziati, nella sua ricerca di qualche cosa che egli chiama la verità... La scienza è curiosità, scoprire cose, chiedersi perché. Perché è così? Indubbiamente la scienza è l'opposto del nozionismo"³.

Possiamo dire, con Gregorio di Nissa, che *solo lo stupore conosce* nel senso che la ricerca scientifica è accesa da una curiosità determinata dall'attrattiva che la realtà esercita sul soggetto⁴; la ricerca scientifica, in altri termini, nasce dal porre al centro la persona umana ed il suo bisogno connaturato di dare risposta ai quesiti che la realtà pone. Una recente indagine evidenzia che proprio la *curiosità* (associata all'*altruismo* ed alla *saggezza*) è ciò che i giovani percepiscono essere la caratteristica prima dello scienziato, che viene visto come figura che svolge una delle professioni maggiormente importanti per la società⁵.

Il carattere inferiore della scienza?

Curiosità, stupore, ricerca del *perché* sono dunque i fondamenti della ricerca scientifica. Tuttavia questa, in una sorta di dissociazione schizofrenica, viene diversamente percepita rispetto agli scienziati che la svolgono, la cui valutazione da parte dei giovani, abbiamo visto, è sostanzialmente positiva. Altra cosa è la percezione della scienza. L'opposizione al positivismo e più in generale allo scientismo tardo ottocentesco – opposizione peraltro più che motivata da molteplici utilizzi dis-umani della scienza e della tecnica nel XX secolo⁶ – e la confusione fra scienza e tecnica ha prodotto, lo scorso secolo, non pochi errori di prospettiva; fino alla nascita di veri e propri movimenti antiscientifici, diffusi un po' ovunque nel mondo, che attribuiscono alle scoperte della scienza le responsabilità di sempre più raffinate tecnologie di guerra e di sviluppo *insostenibile*, causa di vere e proprie emergenze planetarie. Invece, come aveva intuito Papa Giovanni Paolo II, "l'uomo può perire per effetto della tecnica che egli stesso sviluppa, non della verità che scopre mediante la ricerca scientifica", a dire che l'uso della scienza (cioè la tecnica) non è più scienza e le tecniche di morte non sono peccato

² A. Einstein, *Pensieri di un uomo curioso*, Mondadori, Milano, 2004, p.34.

³ V. Weisskopf, *Il privilegio di essere un fisico*, Jaca Book, Milano, 1994, pp. 54-55.

⁴ M. Bersanelli, M. Gargantini, Solo lo stupore conosce, l'avventura della ricerca scientifica, Rizzoli, Milano, 2003.

⁵ CNR-IRPPS, Le risorse umane nella scienza, aprile 2004, pp. 68-70.

⁶ A. Huxley, *Scienza*, *libertà e pace*, Medusa, Milano, 2002 (I ed. 1946).

originale della tecnica, ed ancor meno della scienza, quanto piuttosto problema culturale di scelta fra, appunto, tecniche di vita o tecniche di morte⁷.

In altre parole, la confusione fra i termini scienza e tecnica e l'errata imputazione a responsabilità della scienza e della tecnica (e non piuttosto a chi opera le scelte) della produzione di tecnologie che si sono rivelate dannose per l'uomo, ha prodotto una sorte di *pensiero nano antiscientifico*⁸, un pensiero, cioè, senza contenuti, mutuato da effetti negativi, acquisito senza il lume della ragione critica, non soggetto a confutazione. Un pensiero irrazionale, dunque, tuttavia, ampiamente *globalizzato* ed assunto a diffuso sentire comune.

Alla sua diffusione non è estraneo, in Italia, il neoidealismo di Croce e Gentile che, in opposizione al positivismo ed allo scientismo, ha determinato un diffuso convincimento circa il presunto carattere inferiore delle discipline scientifiche rispetto a quelle umanistiche, quasi che le une fossero distinte e distanti dalle altre e dunque inconciliabili.

È quanto osserva Karl Popper, nel confutare le tesi di E. Grassi, laddove scrive:

"... riconosco che le scienze naturali rischiano di reprimere, anziché favorire, l'accrescimento intellettuale, se vengono insegnate come tecnologie (lo stesso vale probabilmente per la pittura e per la poesia); e che dovrebbero essere trattate (al pari di queste arti) come conquiste umane, come grandi avventure dell'intelletto, come capitoli della storia delle idee o della creazione dei miti e della loro critica ... Alla possibilità, o necessità di un tale approccio umanistico alla scienza, Grassi non accenna; al contrario, egli sembra ritenere che la soluzione stia nell'esplicito riconoscimento dell'inferiore carattere tecnologico delle scienze naturali – in altre parole, nel fare che queste stiano al loro posto..." ...

Da questo punto di vista, sono ancora da approfondire alcuni effetti sociali della riforma di Giovanni Gentile¹⁰ del 1923 – che si tradusse, per certi aspetti, nella espunzione della dignità culturale della *techne* dalla scuola italiana –, ed ancor più gli effetti di un pensiero diffuso che ha dissociato l'unità naturale fra *theoria* e *techne*, affermando una sorte di primogenitura della prima sulla seconda¹¹. Esemplare, da questo punto di vista, il pensiero di Benedetto Croce, *stroncato* nel 1905 da Giovanni Papini con queste parole: "... *la distinzione tra il teorico e il pratico. Il Croce ha un sacro orrore*,

Medusa, Milano, 2002.

⁷ A. Zichichi, *Tra fede e scienza, da Giovanni Paolo II a Benedetto XVI*, Il Saggiatore, Milano 2005.

⁸ Il termine è mutuato da: H. Vahramian, *Superpartes, il pensiero nano al tempo della globalizzazione*,

⁹ K. R. Popper, cit., pp. 641-642.

¹⁰ Ci si riferisce qui ad un aspetto dalle conseguenze negative della riforma Gentile, che pure rappresentò complessivamente una riforma idealista di alto spessore culturale che "esprimeva lo spirito umano. Aveva un'anima", come affermava il pedagogista Aldo Agazzi nell'ultima intervista rilasciata: R. Alberghetti, Nessuno è cretino, Edizioni Progetto, Bergamo, 2003, p. 39.

¹¹ G. Bertagna, *Alternanza tra scuola e lavoro. Sfide culturali e pedagogiche,* in G. Bertagna (a cura), *Alternanza scuola lavoro. Ipotesi, modelli, strumenti dopo la riforma Moratti*, Cisem, Franco Angeli, Milano 2003, pp. 22-41.

tutto filosofico, per ciò che serve all'azione: ciò ch'è utile a qualcosa è ai suoi occhi indegno, inferiore, trascurabile, colpevole. 'La tecnica è per l'azione – egli dice – e non per la ricerca della verità' come se per agire non bisognasse procurarsi previsioni vere! La logica matematica 'si riduce' tutt'al più, 'a render più facile la comunicazione della scienza e la scoperta degli errori' come se questi non fossero appunto gli unici e più importanti suoi scopi e non siano perciò distrutte tutte le critiche che esso gli muove!" ¹².

Il percepito della scienza: la fiducia smarrita

"...canteremo il vibrante fervore notturno degli arsenali e dei cantieri incendiati da violente lune elettriche; le stazioni ingorde, divoratrici di serpi che fumano; le officine appese alle nuvole pei contorti fili dei loro fumi; i ponti simili a ginnasti giganti che scavalcano i fiumi, balenanti al sole con un luccichio di coltelli; i piroscafi avventurosi che fiutano l' orizzonte, le locomotive dall'ampio petto, che scalpitano sulle rotaie come enormi cavalli d'acciaio imbrigliati di tubi, e il volo scivolante degli aereoplani, la cui elica garrisce al vento come una bandiera e sembra applaudire come una folla entusiasta...". Un inno, sebbene esasperato e foriero di tragiche conseguenze, alla tecnologia che rinnova la società: è il 20 febbraio 1909 e così si presenta, sul quotidiano parigino Le Figaro, il Manifesto dei Futuristi di Filippo Tommaso Marinetti.

Ben altro il 'percepito' nella società odierna: "Gli scienziati di oggi non sono più limitati soltanto dalle leggi della natura, come in passato, ma anche dalle leggi (e dagli atteggiamenti) degli uomini" (N. Augustine). Come a dire che è terminata l'epoca (estremizzata), conseguente al positivismo ed allo scientismo, in cui, quando parlava la scienza, i cittadini si toglievano il cappello e ascoltavano il Verbo senza fiatare¹³. L'epoca della fiducia incondizionata verso la scienza, la tecnica, le nuove scoperte. Una fiducia letteralmente demolita, nell'immaginario collettivo, con il terrore della guerra nucleare, con il DDT, il Talidomide, Seveso, Chernobyl, Bopal. È l'immagine della scienza frankesteiniana, che pure talune ricerche ritengono essere minoritaria ¹⁴. Un esempio ¹⁵: nel 2000 lo Science Museum di Londra ha condotto un'indagine di mercato finalizzata ad una propria campagna promozionale, dalla quale proprio la parola science è risultata elemento maggiormente negativo per l'impatto con i destinatari della campagna.

Stiamo parlando di problemi tutto sommato astratti? Al contrario, stiamo trattando di temi che ci toccano da vicino oramai quotidianamente. La percezione di una *scienza*

¹² G. Papini, Stroncature, Vallecchi, Firenze, 1942, p. 128.

G. Carrada, Comunicare la scienza, kit di sopravvivenza per ricercatori, quaderni MdS, luglio 2005.

¹⁴ CNR-IRPPS, cit., pp. 43. ¹⁵ G. Carrada, cit., p. 22.

frankesteiniana, pericolosa, associata ad una diffusa cultura egoistica, porta, quando va bene, al "fate pure, ma non nel mio giardino". Si spiega così anche il proliferare di conflitti con cui viene accolta in Italia ogni ipotesi di grande innovazione tecnologica; indipendentemente da valutazioni di merito, costituiscono un esempio di questo la radicale opposizione che accompagna il progetto Mose di Venezia, la TAV, il ponte sullo stretto di Messina, la variante di valico, la costruzione di nuove centrali elettriche, di siti di stoccaggio dei rifiuti, di inceneritori, di re-gasificatori e potremmo proseguire nell'elencazione. Si è dunque passati dall'idea di 'sviluppo comunque', degli anni cinquanta e sessanta, che non considerava tutti i fattori della realtà su cui si andava ad intervenire, all'idea di 'sviluppo sostenibile' che considera i fattori della realtà per rendere lo sviluppo compatibile con l'interesse dell'uomo; per approdare oggi all'idea insensata di uno 'sviluppo etereo', astratto, di cui si possa beneficiare senza doverne assumere i rischi, gli effetti, le responsabilità.

Crisi di fiducia, dunque, e non, come si era pensato a partire dagli anni ottanta fino a tempi recentissimi, un problema di *public understanding of science*. Ovvero, la crisi del rapporto tra scienza e società non è determinata dalla non-conoscenza della scienza e dei suoi meccanismi da parte della società stessa ma, appunto, da specifiche circostanze che hanno generato una sorta di sfiducia e timore latente nei confronti della scienza¹⁶; a questo, nel nostro Paese, si assommano gli effetti di una cultura idealista più spesso antiscientifica.

La crisi delle vocazioni scientifiche

La crisi di fiducia nei confronti della scienza e della tecnica ha come effetto il disinteresse dei giovani verso la scienza ed il conseguente 'crollo' delle vocazioni scientifiche cioè la disaffezione a percorsi universitari orientati alle discipline scientifiche. La situazione è preoccupante¹⁷. Nell'arco temporale di cinquanta anni, gli iscritti alle facoltà scientifiche sono passati dal 16,1% dell'a.a. 1951/52 al 10,3% dell'a.a 2000/01 (tab. 1).

¹⁶ CNR-IRPPS, cit., pp. 35-36.

¹⁷ Ci si riferisce in particolare a: CNR-IRPPS, Le risorse umane nella scienza, cit.; T. Mariano Longo, Scienze, un mito in declino? La crisi delle facoltà scientifiche: Italia, Francia ed uno sguardo internazionale, in "Le scienze naturali nella scuola", numero speciale, estate 2003; Observa, La crisi delle vocazioni scientifiche e le sue motivazioni, aprile 2004; Observa, Annuario scienza e società 2005, Ergon edizioni, Vicenza, 2004; E. Pedrazzi, La crisi delle vocazioni scientifiche in Italia, Conferenza nazionale permanente Presidi Facoltà di Scienze e Tecnologie, Villa Mondragone, 13 ottobre 2004.

Tab. 1 - Iscritti ai corsi di laurea ad orientamento scientifico, valori assoluti e percentuale sul totale degli iscritti, A.A. 1951/52 – 2000/01

	1951/52	1961/62	1971/72	1981/82	1986/87	1991/92	1996/97	2000/01
Totale iscritti ai Corsi di Laurea	221.850	280.580	750.293	1.001.570	1.064.481	1.452.669	1.694.433	1.687.237
Gruppo Scientifico	35.889	37.632	105.338	133.331	130.919	169.966	183.518	173.610
Gruppo Medico	34.078	25.165	98.148	168.403	114.543	78.875	72.107	101.535
Gruppo Ingegneria	27.923	31.690	82.823	87.073	96.237	165.434	198.873	212.119
Gruppo Agrario	6.991	4.815	13.882	40.469	33.508	31.323	39.803	42.017
Tot. "Scienza"	104.881	99.302	300.191	429.276	375.207	445.598	494.301	529.281
	1951/52	1961/62	1971/72	1981/82	1986/87	1991/92	1996/97	2000/01
% Gruppo Scientifico	16,2	13,4	14,0	13,3	12,3	11,7	10,8	10,3
% Gruppo Medico	15,4	9,0	13,0	16,8	10,8	5,4	4,5	6,0
% Gruppo Ingegneria	12,6	11,3	11,0	8,7	9,0	11,4	11,7	12,6
% Gruppo Agrario	3,1	1,7	1,8	4,0	3,1	2,2	2,3	2,5
% Tot. "Scienza"	47,3	35,4	40,0	42,9	35,2	30,7	29,2	31,4

Fonte: Conferenza nazionale dei presidi delle Facoltà di scienze e tecnologie, 2004.

L'andamento delle immatricolazioni nell'ambito del gruppo delle lauree scientifiche è rilevabile dalla tabella e dal grafico successivi (tab. 2 e fig. 1) che evidenziano fra l'altro, nel periodo 1989/90-2003/04, una riduzione del 58% degli iscritti alle facoltà di matematica; del 39% degli iscritti alle facoltà di Fisica; del 18% degli iscritti alla facoltà di Chimica. È il 'crollo' delle cosiddette *scienze dure*, cui compete la formazione degli scienziati di base e dei docenti delle materie scientifiche fondamentali¹⁸.

Tab. 2 - Evoluzione degli immatricolati in alcuni corsi di laurea scientifici

	1989	1991	1993	1994	1995	1996	1998	2000	2002	2003
	1990	1992	1994	1995	1996	1997	1999	2001	2003	2004
Matematica	4.396	4.173	4.581	3.635	3.255	2.579	1.921	1.611	1.740	1.848
Fisica	3.216	3.228	3.283	3.559	3.145	2.698	1.299	1.428	2.018	1.974
Scienze dell'informazione	5.295	4.868	4.166	3.350	3.795	3.325	5.603	4.562	8.543	7.861
Scienze biologiche	7.777	7.772	10.674	10.463	10.224	7.708	6.788	7.159	8.958	10.238
Scienze naturali	2.137	2.453	3.206	3.007	2.824	2.802	2.038	1.455	2.689	2.646
Scienze geologiche	3.717	3.583	2.975	2.647	2.569	2.162	1.850	1.293	1.394	1.563
Biotecnologie			48	129	362	568	680	1.394	4.180	4.126
Chimica	2.274	2.116	2.484	2.111	2.569	2.162	XX	1.293	1.702	1.869

Fonte: Conferenza nazionale dei presidi delle Facoltà di scienze e tecnologie, 2004.

¹⁸ Un dato positivo viene però dalle immatricolazioni dell'anno accademico 2005/06, che vedono a livello nazionale un aumento, rispetto all'anno accademico precedente, del 37,7% in chimica (classe 021), del 2,6% in fisica (classe 025) e dell'11,5% in matematica (classe 032). Fonte MIUR-URST Ufficio di statistica.

00/01

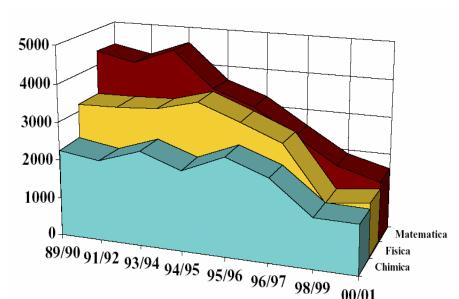


Fig. 1 - Andamento delle immatricolazioni nelle facoltà di chimica, fisica e matematica. a.a. 1989/90 - 2000/01

Fonte: MIUR-URST, Ufficio di statistica, 2004.

La crisi delle vocazioni scientifiche è comune a quasi tutti i Paesi industrializzati¹⁹. In Olanda, per esempio, nel decennio 1990-2000 gli iscritti alle facoltà di fisica si sono ridotti di oltre il 60%; in Francia la riduzione è stata di quasi il 50%. Negli Stati Uniti, poi, il problema era sentito già dalla seconda metà degli anni ottanta²⁰. L'Italia è comunque nella media OCSE (8,9% di laureati in discipline scientifiche sul totale dei laureati) e precede Paesi quali gli Stati Uniti (8,3%) ed il Giappone (8,0%)²¹. La crisi delle lauree nelle discipline scientifiche non riguarda tutti i Paesi. "È un disamore che non esiste nei Paesi in via di sviluppo. Cinesi e Indiani, ad esempio, mostrano un enorme entusiasmo verso la scienza e la tecnologia. Questo problema direi di stanchezza è invece tipico dei Paesi più sviluppati, in particolare in Europa. Quasi ci fosse una man-

¹⁹ E. Pedrazzi, cit..

²⁰ E. Vesentini, La cultura scientifica, in S. Vertone (a cura), La cultura degli italiani, il Mulino, Bolo-

²¹ OCŜE, Education at a glance, OECD Indicators 2004. I dati si riferiscono al 2002 e considerano quali facoltà scientifiche: Agraria, Chimica e Biologia, Fisica, Matematica e Statistica.

canza di chiarezza nella direzione in cui gli individui vogliono andare. Come mostra anche una recente indagine, i giovani che fanno meglio nella scienza vengono ormai dai Paesi in via di sviluppo" (Carlo Rubbia)²².

La situazione in Emilia-Romagna

In Emilia-Romagna l'andamento delle immatricolazioni nelle facoltà scientifiche di chimica, fisica e matematica rispecchia, con un trend ulteriormente negativo, il dato nazionale. Come risulta dalla tab. 3, le quattro università statali della regione hanno visto nel periodo che va dall'a.a. 1993/94 a quello 2004/05, una riduzione delle immatricolazioni del 48% in chimica, del 39% in fisica e del 62% in matematica. Raffrontando la situazione con quella nazionale si evidenzia che il 'calo' nelle facoltà di fisica e matematica è in linea con il dato nazionale; è invece marcato il crollo nelle facoltà di chimica della regione, di entità (-48%) vicina al doppio rispetto al dato nazionale (-25%). Pare corretto ipotizzare che al calo maggiormente marcato di immatricolazioni nelle facoltà di chimica della regione non sia estranea la crisi, negli anni novanta, di quelle che erano le maggiori *holding* chimiche del Paese (Gruppi Enichem e Ferruzzi) con il conseguente ridimensionamento, quando non la dismissione, di molteplici siti produttivi, diversi dei quali collocati sul territorio regionale, in particolare nelle province di Ferrara e Ravenna, od in aree (Mantova) prossime al territorio regionale.

Complessivamente la diminuzione di immatricolazioni per le facoltà di chimica, fisica e matematica nel periodo preso in esame risulta, a livello regionale, pari al 51%; superiore di sei punti percentuali al calo di immatricolazioni a livello nazionale (pari al 45%).

Tab. 3 - Andamento delle immatricolazioni nelle universi	sità statali dell'Emilia-Romagna (Universi-
tà di Bologna, di Ferrara, di Modena e Reggio Emilia, di	i Parma) e confronto con il dato nazionale

	Università s	statali dell'Emi	lia-Romagna	Italia		
	a.a. 1993/94	a.a. 2004/05	Variazione %	a.a. 1993/94	a.a. 2004/05	Variazione %
Chimica	482	252	-48%	2.484	1.869	-25%
Fisica	284	174	-39%	3.283	1.974	-40%
Matematica	417	158	-62%	4.561	1.848	-60%
Totale	1.183	584	-51%	10.348	5.691	-45%

Fonte: elaborazioni dell'autore su dati delle Università di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Parma, 2005, e della Conferenza nazionale dei presidi delle Facoltà di scienze e tecnologie, 2004.

²² Intervista di D. Zappalà al Premio Nobel Carlo Rubbia, presidente dell'Enea. "Avvenire", 18 gennaio 2005, p.25.

Ulteriori interessanti riflessioni sulla situazione derivano dai risultati dell'indagine OCSE-PISA 2003²³. Nelle competenze in matematica, il punteggio conseguito a livello italiano (466 punti) ci pone al 26° posto (rispetto ai 29 Paesi OCSE partecipanti all'indagine), seguiti da Grecia, Turchia e Messico, con 84 punti in meno del *top* (Hong Kong con 550 punti) e ben al di sotto anche della media OCSE (500 punti). Per quanto concerne invece le competenze in scienze, il punteggio conseguito a livello italiano (486 punti) ci pone al 22° posto, con 62 punti in meno del *top* (Finlandia con 548 punti) e, ad esempio, a -25 punti dalla Francia e -16 punti dalla Germania; al di sotto anche della media OCSE (500).

Questi dati negativi hanno indotto taluni a stabilire correlazioni dirette tra il livello medio insufficiente di competenze dei nostri studenti in matematica e scienze (ma non solo, come evidenzia la medesima indagine con riferimento alle competenze in lettura e *problem-solving*) e la crisi delle vocazioni scientifiche universitarie. L'ipotesi non appare logica se si esaminano i dati disaggregati forniti dall'indagine in esame. Infatti, prendendo in considerazione i dati riferiti al Nord-est, le competenze in matematica salgono a 511 punti (ben 11 punti sopra la media internazionale) e quelle in scienze a 533 punti (punteggio molto migliore, ad esempio, di Francia e Germania); si tratta in entrambi i casi di punteggi assai prossimi a quelli dei Paesi *top* ²⁴. Ne consegue che, ove vi fosse una correlazione diretta fra incapacità della scuola di fornire competenze in matematica e scienze e 'calo' del numero di studenti immatricolati nelle facoltà scientifiche, il Nord-est, avendo ottimi 'risultati' nella graduatoria delle competenze in matematica e scienze, dovrebbe avere un numero di iscritti superiore alla media nazionale; situazione questa che, abbiamo visto, non si realizza nella realtà.

Insomma, una prova in più, seppure ve ne fosse stata la necessità, del fatto che la crisi di 'scelta' delle lauree scientifiche ha cause molteplici fra loro diversificate.

I perché e gli effetti della 'crisi'

Ci siamo soffermati sulla crisi di fiducia verso la scienza, introducendo l'idea di un *pensiero nano antiscientifico*, che costituisce una sorta di *condizione al contorno* del fenomeno della crisi di vocazioni scientifiche. Quest'ultima può essere ricondotta a tre

²³ http://www.pisa.oecd.org. Per il dato italiano si veda anche una sintesi, curata dall'Invalsi, dei risultati PISA 2003 con riferimento al livello di competenza dei quindicenni italiani in matematica, letteratura, scienze e *problem solving* in http://archivio.invalsi.it/ricerche-internazionali.

²⁴ Il dato positivo esposto appare tuttavia meritevole di ulteriori approfondimenti scientifici che ne consentano la coniugazione con le indicazioni provenienti da altre diverse indagini; a questo proposito, meno incoraggiante è che oramai da diversi anni nelle scuole dell'Emilia-Romagna, per quanto concerne le prove di matematica negli esami di licenza media, circa il 50% di studenti si assesti nella fascia mediobassa (sufficiente-insufficiente). Cfr. AA.VV., *Una scuola alla prova - Rapporto regionale 2005 sul sistema di istruzione e formazione in Emilia-Romagna*, Tecnodid, Napoli 2005, p. 261.

motivazioni di carattere generale²⁵. In primo luogo, una diffusa percezione negativa delle carriere scientifiche, determinata in Italia dalla inadeguata remunerazione dei ricercatori, così come dalle barriere burocratiche nell'accesso ai finanziamenti per la R&S, dalle limitate possibilità di carriera²⁶. In secondo luogo, l'immagine della scienza come di una religione per pochi adepti iniziati, difficilmente comunicabile ed ancor meno comprensibile. In terzo luogo, la non adeguata capacità della scuola di motivare e stimolare i ragazzi allo studio della scienza, con insegnamenti che vengono percepiti come 'lontani' dalla realtà²⁷. Non mancano infine fattori esogeni particolari, ancora da approfondire, che paiono avere contribuito in questo ultimo decennio alla crisi delle vocazioni scientifiche in Italia, ad esempio: le modalità di avvio della riforma delle lauree triennali; la moltiplicazione di corsi di laurea che in più casi si sono rivelati essere fonti di *dispersione di talenti*, oltreché di risorse economiche; una perdurante distanza dell'Università dall'area della ricerca didattica; la diffusa autoreferenzialità delle università e degli enti pubblici di ricerca²⁸.

"Siamo molto preoccupati per il futuro di tutta la scienza. I prossimi geni della fisica non saranno italiani o non lavoreranno in Italia. Oggi i nostri ricercatori che vanno in pensione non vengono sostituiti dai giovani. Fra cinque-dieci anni se la situazione non cambia avremo soltanto dei nonnini nei laboratori. L'invecchiamento delle scuole di ricerca è un fatto indiscutibile. Con il tempo comporta perdita di competitività. I giovani disertano le facoltà scientifiche anche perché si sentono tagliati fuori da qualsiasi futuro. E questo quadro li dissuade anche dall'intraprendere lo studio delle materie scientifiche al liceo. Si instaura un circuito infernale che farà compiere passi indietro al Paese" (Nicola Cabibbo)²⁹.

A questa situazione di crisi si aggiunge poi il fenomeno della fuga di 'cervelli' (*brain drain*) inteso come trasferimento inverso di tecnologie, ovvero da un Paese tecnologicamente meno avanzato, ad uno più avanzato³⁰. Ebbene, nel 2001 i ricercatori e professionisti italiani ad alta qualificazione che lavorano negli USA sono 1496, occupando così il quinto posto della graduatoria dei ricercatori stranieri presenti negli Stati Uniti. In Europa un ricercatore su tre progetta uno spostamento all'estero e solo uno su dieci prevede di ritornare in patria. La migrazione di 'cervelli', negli altri Paesi UE, è

²⁵ Observa, *La crisi delle vocazioni scientifiche ecc.*, cit., pp.29-31.

²⁶ E. Pedrazzi, cit.; Intervista a Carlo Rubbia, cit.; S. Avveduto, *Brain drain: emigration flows of qualified scientists*, International conference: education, research, migration: the european policy in the context of globalization, December 5th, 2003 (http://www.uniroma1.it/ internazionale/relazioni/conferenza_51203).

 ²⁷ CNR-IRPPS, cit., p. 40.
 ²⁸ Confindustria, *La ricerca e l'innovazione in Italia*, ottobre 2003.

²⁹ Intervista di L. Dell'Aglio al professore Nicola Cabibbo, ordinario di Fisica alla Sapienza di Roma, presidente della Pontificia Accademia delle Scienze. Avvenire, 16 gennaio 2005, p. 21.

³⁰ S. Avveduto, M.C. Brandi, E. Todisco (a cura), *Le migrazioni qualificate tra mobilità e brain drain*, Studi Emigrazione, n. 156, Cser, Roma, 2004; S. Avveduto, cit..

controbilanciata da un significativo numero annuo di 'cervelli' in entrata, che equilibra sostanzialmente lo scambio; questo non accade per l'Italia, dove annualmente entrano meno del 10% di 'cervelli' rispetto a quanti ne escono. I ricercatori stranieri individuano quali aspetti negativi della loro esperienza italiana le difficoltà burocratiche ed i livelli di retribuzione. In sostanza, in Italia si è in presenza di un ulteriore depauperamento delle già insufficienti professionalità nelle aree scientifiche.

Tutto ciò produce difficoltà a fare fronte alle richieste delle imprese di ricercatori e tecnici con alta qualificazione scientifica. Riduce la disponibilità di professionalità scientifiche per il sistema nazionale di istruzione e formazione e per le università ad indirizzo scientifico, che ne risultano indebolite. Determina una gravissima dispersione di 'talenti' scientifici.

In ultima analisi, si impoverisce il capitale umano del nostro Paese, determinando la perdita di competitività del sistema-Italia³¹. È quanto evidenziato, ad esempio, dal *World Economic Forum* che annualmente pubblica il GCI (Global Competitiveness Report), indice di competitività internazionale³². Ebbene, l'Italia è oramai in costante annuale fase di calo nella graduatoria: nel 2004 è scivolata al 47° posto (dal 43° del 2003). Il GCI è determinato da un mix di tre indici, fra i quali figura il *tecnology index*. Questo indice ci colloca nel 2004 al 50° posto, dopo tutti i Paesi europei e, ad esempio, dopo Messico, Romania, Jamaica, Cile. In sostanza, l'Italia rappresenta oramai una *economia non-core*, dove la crescita economica è legata a tecnologie sviluppate all'estero e la competitività economica dipende dalla qualità delle istituzioni e dell'ambiente macroeconomico, piuttosto che dal grado di tecnologia.

Gli obiettivi della Comunità Europea

La situazione è efficacemente riassunta dal Commissario europeo per la scienza e la ricerca, Potocnik con l'affermazione "L'Europa della conoscenza si deve svegliare" Con questo intento l'Unione Europea, nel quadro del Consiglio europeo di Lisbona del marzo 2000, ha definito sedici indicatori destinati a valutare i sistemi di istruzione e formazione in Europa; fra questi figurano la matematica e le scienze: "Una solida formazione nella matematica, che dà accesso a competenze di analisi, di logica e di ragionamento numerico, è alla base di ogni programma scolastico. (...) La scienza sviluppa negli studenti le capacità di analisi, di investigazione e di sperimentazione: fa-

³¹ G. Vittadini (a cura di), *Capitale umano, la ricchezza dell'Europa*, Guerini e associati, Milano, 2004; MIUR, *Lo sviluppo del capitale umano per la coesione sociale e la competitività nella UE*, Milano, 27 ottobre 2003.

³² http://www.weforum.org; si veda inoltre: Ministero per l'innovazione e le tecnologie - centro studi, *Sintesi world competitiveness report 2004*, ottobre 2004.

³³ http://cordis.europa.eu.int/press-service/it/home.html.

coltà indispensabili per il progresso tecnologico "34. Il Consiglio dell'U.E. ha declinato il mandato del Consiglio di Lisbona stabilendo, fra l'altro, che "l'U.E. deve potere formare un numero adeguato di scienziati specializzati per diventare l'economia basata sui saperi più dinamica e competitiva del mondo (...) Pertanto, il totale dei laureati in matematica, scienze e tecnologie nell'Unione Europea dovrebbe aumentare del 15% entro il 2010 e al contempo dovrebbe diminuire lo squilibrio tra i sessi" 35.

L'obiettivo di attrarre più studenti agli studi scientifici e tecnici è stato articolato in un programma di lavoro che si prefigge di "1 - Stimolare l'interesse precoce nei confronti della matematica, della scienza e della tecnologia. 2 - Motivare maggiormente i giovani affinché scelgano studi e carriere nel campo della matematica, della scienza e della tecnologia, in particolare carriere nella ricerca e discipline scientifiche nelle quali il personale qualificato scarseggia in una prospettiva a breve e medio termine, specialmente mediante strategie nuove di orientamento e consulenza scolastica e professionale.

3 - Migliorare l'equilibrio tra i sessi per quanto riguarda le persone che apprendono materie matematiche, scientifiche e tecnologiche. 4 - Garantire un numero sufficiente di insegnanti qualificati di matematica e di materie scientifiche e tecniche "³⁶.

Il Consiglio Europeo ha poi definito una metodologia per valutare annualmente le performance dei diversi Paesi dell'U.E. così da poterle paragonare con gli obiettivi prefissati. Dal quadro di valutazione dell'innovazione in Europa del 2004³⁷ risulta che l'indice SII (Summary Innovation Index), vede l'Italia a 0,31, con l'U.E. attestata in media a 0,44; nel 2003 il SII era 0,31 per l'Italia e 0,42 per l'U.E. In entrambi gli anni l'Italia figura nel quadrante recessione; un segnale positivo viene però dalla crescita nel 2004 del 1,4% (rispetto al 2001) di laureati in discipline tecnico-scientifiche³⁸.

Che fare?

Abbiamo visto come l'immagine della scienza e della tecnologia sia deteriorata e che una molteplice serie di cause determini una vera e propria emorragia di vocazioni scientifiche. Abbiamo anche evidenziato come tutto ciò sia fra l'altro causa di perdita di competitività per il sistema Italia. È una situazione per certi aspetti paradossale: nel momento in cui è massima la sensibilità verso i temi della tutela dell'ambiente, è mi-

³⁴ Relazione europea sulla qualità dell'istruzione scolastica, *Sedici indicatori di qualità*, gruppo di lavoro 'indicatori di qualità', maggio 2000.

³⁵ Relazione del Consiglio (Istruzione) al Consiglio europeo, *Gli obiettivi futuri e concreti dei sistemi di istruzione e di formazione*, Bruxelles, 14.2.2001 (16.02) n. doc. 5980/01 educ 23.

Relazione della Commissione del 31 gennaio 2001, Gli obiettivi concreti futuri del sistema d'istruzione, COM (2001)59 def, modificata dalle conclusioni successive del Consiglio del 2001 e 2002.
37 Quadro di valutazione dell'innovazione in Europa 2004, Bruxelles, 02.12.2004.

³⁸ Per la progressione degli obiettivi prefissati dal Consiglio di Lisbona si veda: *Progress toward the Lisbon objectives in education and training*, 2005 report, Bruxelles, 22.3.2005, SEC (2005) 419.

nima la comprensione che la sicurezza ambientale richiede sempre maggiori professionalità in campo scientifico.

Che fare allora?³⁹ Costruire le condizioni perché si realizzi, nei fatti, una diversa immagine dello scienziato italiano, che oggi gode di buona considerazione ma "guadagna poco e non trova facilmente lavoro anche perché in Italia si fa poca ricerca". Accrescere la cultura della fiducia, critica e non incondizionata, verso la scienza, attraverso l'accesso e la condivisione dei risultati, stimolando il dibattito scientifico e la sua comunicazione pubblica, a partire dalla scuola e coinvolgendo di pari passo le università e la società. Rinnovare la capacità della scuola di promuovere un sapere scientifico e tecnologico ad elevata valenza formativa: evitando di sostituire con l'intuizione i necessari prerequisiti tecnici, scientifici e matematici; rafforzando l'uso della didattica delle dimostrazioni; favorendo la semplicità espositiva, il rigore scientifico e rifuggendo da ogni accademismo⁴⁰.

Per realizzare questi obiettivi è necessario l'apporto di tutti i soggetti, pubblici e privati, in grado di offrire il proprio contributo positivo. A questo fine, in coerenza con gli obiettivi dell'U.E., il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, con la collaborazione della Conferenza Nazionale dei Presidi delle Facoltà di Scienze e di Confindustria, ha predisposto un progetto nazionale denominato 'Progetto Lauree Scientifiche, Le Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali delle Università della Regione Emilia-Romagna, d'intesa con l'Ufficio Scolastico Regionale, vi hanno aderito predisponendo una serie di sotto-progetti locali⁴² per l'orientamento preuniversitario degli studenti e la formazione degli insegnanti relativamente a Chimica, Fisica, Matematica e Scienza dei Materiali (Università di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Parma). In totale 13 progetti a livello regionale per realizzare corsi sperimentali di laboratorio per studenti delle scuole secondarie di secondo grado; corsi di formazione per insegnanti di scienze; esperienze dimostrative e conferenze, visite di studenti ai laboratori universitari. Allo scopo di coordinare le attività necessarie alla realizzazione in ambito regionale del progetto 'Lauree Scientifiche', la Direzione Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale ha costituito un Coordinamento Regionale, composto da rappresentanti dell'Ufficio Scolastico Regionale, delle Università di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio e Parma e di Confindustria Emilia-Romagna⁴³. Nell'a.s. 2005/06, primo anno di attivazione del Progetto Lauree Scientifiche, sono state coinvolte direttamente circa 100 scuole della regione.

³⁹ CNR-IRPPS, cit., p. 48-52

⁴⁰ F. Ciampolini, Verso un 'sapere tecnologico' ad elevata valenza formativa, in "Innovazione educativa", n.1-2, marzo 2004, pp.38-41.

Il progetto è reperibile sul sito www.istruzione.it.

⁴² Nota USR Emilia-Romagna prot. 16290 del 18 ottobre 2005.

⁴³ Decreto direttoriale n. 630 del 22 dicembre 2005.

Con il medesimo obiettivo di promuovere la cultura scientifica e tecnologica, l'Ufficio Scolastico Regionale ha promosso una serie di progetti, con la collaborazione di istituzioni diverse⁴⁴. Sono inoltre molteplici le iniziative didattiche promosse dalle istituzioni scolastiche, singole ed in rete (alcune delle quali vengono presentate in questo volume). Tutto ciò contribuisce a delineare il quadro di una scuola operosa e consapevole della gravità del problema ed al contempo della necessità di avviare sul territorio regionale una serie articolata di iniziative mirate alla promozione della cultura scientifica e tecnica. Iniziative che potranno sortire effetti tanto più positivi, quanto più sapranno porre al centro il soggetto che apprende e dunque la promozione della persona, il cui contributo è essenziale per quanto concerne la ricerca scientifica e la creazione e lo sviluppo della tecnologia. Chi crea innovazione, chi svolge una attività di ricerca, chi individua la soluzione ai problemi è sempre la persona animata da uno sguardo positivo sulla realtà; per questo sarebbe un errore imperdonabile che la lettura dei 'dati' che le indagini ci forniscono, stante la situazione di criticità del sistema-Italia che evidenziano, ingenerasse uno sconforto annichilente. Viceversa è proprio dal fattore umano che è necessario ripartire e dalla capacità di trasmettere ai nostri ragazzi l'importanza di giocare il proprio contributo personale in un lavoro comune, facendo loro sperimentare la percezione di uno scopo condiviso: contribuire al bene della collettività 45.

⁴⁴ Alcune delle esperienze promosse dall'Ufficio Scolastico Regionale sono descritte da L. Stellacci nella presentazione di questo volume.

⁴⁵ P. Cappelletti, N. Sabatini, M. Salerno, C. Sozzi, *Investimento in capitale umano e sviluppo tecnologico*, in G. Vittadini (a cura), cit., pp. 105-126.

CAPITOLO 1

DIDATTICA DELLE SCIENZE DELL'AMBIENTE E DELL'ATMOSFERA

LE DISCIPLINE SCIENTIFICHE NELLA LEGGE 53/2003 E NELLE INDICAZIONI NAZIONALI

Gigliola Puppi

Riferimenti normativi

La riforma del sistema scolastico¹ prevede che i giovani, avendo frequentato qualsiasi Liceo, siano stati – tra le altre – posti nella condizione di²:

- avere gli strumenti culturali e metodologici per porsi con atteggiamento razionale e critico di fronte alla realtà, ai suoi fenomeni ed ai problemi;
- riconoscere, nei diversi campi disciplinari studiati, i criteri scientifici di affidabilità delle conoscenze e delle conclusioni che vi afferiscono; distinguere il valore conoscitivo delle diverse scienze in relazione ai loro diversi metodi di indagine e individuare in esse, dove ci siano, le matrici classiche dei procedimenti e la loro evoluzione attraverso il pensiero moderno e contemporaneo;
- comprendere il tipo di indagine propria delle discipline scientifiche, la modellizzazione dei fenomeni, la convalida sperimentale del modello, l'interpretazione dei dati sperimentali;
- collocare il pensiero matematico e scientifico nei grandi temi dello sviluppo della storia delle idee e della cultura, nella storia delle scoperte scientifiche e delle invenzioni tecnologiche".

Tra gli obiettivi generali del processo formativo posto in essere troviamo inoltre³:

- Ricerca dell'unità della cultura. Ogni percorso liceale non mira ad una semplice collazione, ancorché sistematica, di 'saperi'. La sua ambizione è piuttosto di trasformare, grazie alla mediazione educativa e didattica dei docenti, i 'saperi' in 'sapere' e le 'singole discipline' in 'cultura' (...).
- Promozione dell'interdisciplinarità. Se è utile ordinare il sapere per discipline, non è meno utile ricordare l'impossibilità di affrontare una disciplina a prescindere dalle altre (...). L'abitudine a trasferire strumenti e schemi concettuali da un contesto

¹ Decreto Legislativo n. 226 del 17 ottobre 2005 - Norme generali e livelli essenziali delle prestazioni relativi al secondo ciclo del sistema educativo di istruzione e formazione, a norma dell'articolo 2 della legge 28 marzo 2003, n. 53; allegato B; allegato C.

² Allegato B: 'Profilo educativo, culturale e professionale dello studente a conclusione del secondo ciclo del sistema educativo di istruzione e di formazione per il sistema dei licei'.

³ Allegato C: 'Indicazioni nazionali per i piani di studio personalizzati dei percorsi liceali'.

30 CAPITOLO 1

disciplinare ad un altro (...), il riconoscimento della complessità dei metodi e dei concetti (...) diventano, quindi, una costante dell'intenzionalità formativa.

- Avvaloramento della storicità. È importante quanto illuminante cogliere gli eventi storici di genesi e di evoluzione di qualsiasi ambito disciplinare. I contenuti e i metodi di ogni disciplina si arricchiscono, infatti, di senso e di motivazione quando sono posti all'interno di uno sfondo storico e sociale che ne giustifichi e contestualizzi la nascita, lo scopo e lo sviluppo.

Per quanto concerne gli obiettivi specifici di apprendimento infine, essi sono ordinati per discipline. È peraltro ricordato che⁴:

- (...) L'ordine epistemologico di presentazione delle conoscenze e delle abilità che costituiscono gli obiettivi specifici di apprendimento non va confuso con il loro ordine di svolgimento psicologico, didattico ed organizzativo (...).
- (...) Le tabelle degli obiettivi specifici di apprendimento hanno lo scopo di indicare con la maggior chiarezza e precisione possibile i livelli essenziali di prestazione che le scuole pubbliche della Repubblica sono tenute in generale ad assicurare ai cittadini per mantenere l'unità del sistema educativo nazionale di istruzione e di formazione, per impedire la frammentazione e la polarizzazione del sistema e, soprattutto, per consentire ai ragazzi la possibilità di maturare in tutte le dimensioni tracciate nel Profilo educativo, culturale e professionale. Non hanno, perciò, alcuna pretesa validità per i casi singoli, siano essi le singole istituzioni scolastiche o, a maggior ragione, i singoli allievi. È compito esclusivo di ogni scuola autonoma e dei docenti, infatti, nel concreto della propria storia e del proprio territorio, assumersi la libertà di mediare, interpretare, ordinare, distribuire ed organizzare gli obiettivi specifici di apprendimento negli obiettivi formativi, negli standard di apprendimento, nei contenuti, nei metodi e nelle verifiche delle Unità di Apprendimento, considerando, da un lato, le capacità complessive di ogni studente che devono essere sviluppate al massimo grado possibile e, dall'altro, le teorie pedagogiche e le pratiche didattiche più adatte a trasformarle in competenze personali (...).

Queste premesse ci consentono di meglio comprendere la filosofia alla base dell'estensione degli Obiettivi specifici di apprendimento – OSA – per le Scienze. Se da una parte, infatti, la scientificità delle conoscenze, l'acquisizione di uno spirito critico, la padronanza dei metodi sono considerati obiettivi formativi essenziali, gli obiettivi specifici di apprendimento non sono che uno strumento per il conseguimento degli obiettivi formativi stessi, e la mediazione dell'insegnante un nodo centrale per la compiuta realizzazione della riforma.

Si comprende pertanto come la stesura degli OSA sia avvenuta necessariamente in forma disciplinare, nell'idea che in questo modo ciascuna materia potesse esprimere più

⁴ Allegato C, cit.

compiutamente i suoi contenuti e i suoi metodi. A questo riguardo le *'Scienze'* pongono tuttavia qualche problema supplementare. Esse, infatti, comprendono una serie di discipline, distinte per contenuti, metodologie e problematiche, che vanno dalla Fisica alla Chimica, alla Biologia, alle Scienze della Terra. Mentre tuttavia lo status della Fisica come disciplina a sé stante sembra sufficientemente accettato, e tanto nelle ipotesi di Obiettivi Specifici di Apprendimento che di quadri orari dei nuovi licei trova uno spazio proprio e definito, le altre discipline sono per lo più mescolate assieme in un unico calderone con il nome di Scienze Naturali. Ciò comporta problemi non facili non solo per la collocazione dignitosa dei tempi da dedicare alle varie materie, ma anche per la formazione degli insegnanti⁵.

I criteri per la formulazione degli OSA di Scienze

Gli Obiettivi in quanto tali devono indicare le idee e i contenuti essenziali fondanti di un'area culturale che devono essere posseduti da una persona colta e responsabile che esca da qualunque liceo. Quello che lo studente apprende nel corso del liceo gli dovrà essere sufficiente per tutta la sua vita di persona colta e cittadino responsabile. L'*imprinting* ricevuto dovrà cioè garantire all'ormai non più studente la capacità di autoaggiornarsi e saper valutare quanto la scienza e la vita vanno via via proponendogli. In quest'ottica formativa risultano centrali gli aspetti epistemologici delle discipline, e lo sviluppo dello spirito critico, per poter discernere le domande a cui può rispondere la scienza – o il metodo scientifico – e quali risposte abbiano valore scientifico.

Gli OSA non possono essere interpretati come programmi analitici, e la loro applicazione dovrà tener conto delle finalità specifiche di ciascun liceo e dei margini di autonomia dei singoli istituti. In particolare, secondo il tipo di liceo, gli argomenti potranno essere sviluppati con maggiore o minore livello di approfondimento, o potranno essere integrati in percorsi trasversali e attività sperimentali. Tuttavia le scienze sono un *corpus* organico di conoscenze; non si poteva pertanto non elencare, tra le conoscenze, tutti gli elementi fondanti e gli argomenti essenziali delle diverse discipline, anche se in qualche tipologia di liceo il quadro orario non sembra adeguato a raggiungere gli obiettivi previsti. In tali circostanze la capacità del docente di collegare e quindi sintetizzare più concetti e contenuti sarà più che mai preziosa. Dovendo fare delle scelte, andrebbe piuttosto evitata la rincorsa alle ultime scoperte, all'illustrazione delle teorie più in voga, se non nella misura in cui sia possibile vagliarle criticamente; viene spontaneo ricordare quanto diceva C.S. Lewis, "Quello che è alla moda è destinato ad essere fuori moda per sempre". Naturalmente anche le teorie di moda possono consolidarsi in teorie classiche e/o fondanti, ma non è l'ultima scoperta, o l'ultima teoria, criterio di verità.

⁵ G. Puppi, Le scienze nel sistema dei licei, 'Emmeciquadro', Aprile 2005, pp. 97-103.

32 CAPITOLO 1

Ulteriore criterio nell'estensione degli OSA è stato quello della continuità dell'apprendimento delle varie discipline lungo, ove possibile, tutto l'arco del percorso formativo; non è infatti pensabile che il modo e la qualità dell'apprendimento siano gli stessi per un ragazzo di 14 o di 18 anni; sembrava quindi importante fornire al docente una possibilità più immediata di riprendere argomenti già trattati, ricollegandoli alle nuove conoscenze che si vanno acquisendo.

Gli aspetti storici, filosofici, etici e metodologici non sono sempre esplicitati, anche se 'immanenti', in quanto dovrebbero essere pensati come percorsi trasversali.

In armonia con l'obiettivo che gli studenti conseguano 'gli strumenti culturali e metodologici per porsi di fronte alla realtà, ai suoi fenomeni ed ai problemi che la investono
con atteggiamento cauto, razionale e critico', negli OSA si è cercato di evidenziare per
quanto possibile il valore formativo della conoscenza scientifica del mondo naturale. L'esempio che amo di più, e quindi porto sempre, è quello della 'Sistematica', per il quale
tema le abilità da conseguire possono essere: a) comprendere la classificazione come metodo di ordinamento razionale della diversità dei viventi, riconoscendone i modelli morfologici e funzionali; b) utilizzare i criteri di classificazione per identificare animali e vegetali noti o sconosciuti consolidando le proprie capacità di osservazione e catalogazione;
c) individuare caratteristiche comuni a tutti gli esseri viventi e apprezzare la molteplicità
delle forme viventi sapendone cogliere il rispettivo ruolo e il valore nell'ambiente; d) apprezzare le relazioni tra i modelli morfologici e funzionali dei viventi e la loro storia adattativa ed evolutiva. Si capisce che in questo caso non si tratta semplicemente di memorizzare nomi, o magari anche gerarchie, ma affinare le capacità di osservazione e di razionalizzazione, eventualmente comprendendo un ordine già sotteso ad un sistema (filogenesi).

Valore formativo della conoscenza scientifica e uso del laboratorio

Secondo una corrente definizione, le scienze sperimentali sono finalizzate a dare una spiegazione ai fenomeni del mondo in cui viviamo attraverso l'osservazione e l'esecuzione di esperimenti di laboratorio, che servono da punto di partenza per l'elaborazione di modelli teorici o come verifica di ipotesi teoriche. Personalmente sono cresciuta, come studentessa universitaria, in un'aula in cui era scritto a caratteri cubitali 'La dottrina illumina l'esperienza; l'esperienza collauda la dottrina' e tuttora lo considero un buon ammonimento. Le due cose sono necessarie e importanti tutte e due. Spesso capita di trovarsi di fronte, agli esami universitari, studenti che privilegiano, quando non assolutizzano, il libro, e richiesti di fare esempi concreti, tratti dalla loro quotidiana esperienza – in botanica dovrebbe pur essere facile – si trovano in palesi difficoltà.

D'altra parte la pratica di laboratorio, avulsa da un'adeguata comprensione delle teorie a monte e delle implicazioni a valle, rischia di diventare un banale gioco manuale, o peggio, di essere fraintesa come scienza di per sé. Gli OSA pertanto fanno riferimenti limitatissimi ad attività di laboratorio, per le quali si vorrebbe piuttosto lasciare spazio all'iniziativa dei docenti (comunque subordinata alle disponibilità di attrezzature della singola scuola) e alle possibilità di collaborazione con le società scientifiche e gli atenei del territorio.

Le specificità dei singoli licei

Un aspetto interessante emerso durante le attività per la stesura degli OSA è stato la possibilità di condividere largamente gli OSA stessi tra le varie tipologie di liceo, introducendo tuttavia alcuni elementi di caratterizzazione e proporre percorsi di approfondimento differenziati, da sviluppare anche in modo interdisciplinare. Nella stesura definitiva queste proposte sono state in gran parte omesse; possono del resto essere opportunamente lasciate all'autonomia dei singoli istituti e alla libertà e creatività dei docenti.

Come esempio di linee che erano emerse, e risultate generalmente condivise, per i licei a denominazione non scientifica o tecnologica, e che potrebbero essere riprese tra le attività facoltative o sviluppate come percorsi trasversali, ritengo opportuno riferirmi alla Biologia.

Nei licei classico, delle scienze umane e linguistico potrebbero ad esempio essere sviluppati percorsi interdisciplinari relativi alla visione della natura e del rapporto uomo natura nei classici (v. per esempio il giardino come luogo simbolico, ma anche come luogo reale, popolato di organismi viventi), e all'impatto delle conoscenze scientifiche sull'idea di uomo. Nel liceo musicale e coreutico potrebbero essere utilmente proposti approfondimenti di anatomia (muscolatura degli arti, organi della fonazione). Ancora più significativi i percorsi possibili per i licei artistico ed economico. Nel liceo artistico da una parte potrebbero essere particolarmente approfonditi l'aspetto delle forme della natura, in quanto oggetto di riproduzione e fonte di ispirazione, e l'analisi del paesaggio, dall'altra proposti temi di tipo 'tecnologico', relativi ai materiali di interesse artistico, alle loro caratteristiche e rischi di deterioramento o alle tecnologie per il restauro. Nel liceo economico potrebbero essere particolarmente approfondite le tematiche relative alle risorse biologiche in quanto risorse rinnovabili, alle nuove fonti di materiali, alla conservazione delle risorse naturali e allo sviluppo sostenibile (per non parlare delle corrispondenti tematiche relative alle risorse geo-mineralogiche).

Il quinto anno

L'ultimo aspetto su cui desidero richiamare l'attenzione è la possibilità di usare una parte consistente del quinto anno del liceo allo scopo di orientare gli studenti verso i successivi studi universitari, e integrare le loro conoscenze in modo da consentire loro un più agevole inserimento negli studi prescelti. La tentazione potrebbe essere quella di

34 CAPITOLO 1

ridurre questa parte della formazione a una preparazione ai test di ingresso ai corsi di laurea a numero chiuso più ambiti. Senza precludere questa possibilità, sarebbe tuttavia auspicabile che l'opportunità fosse sfruttata piuttosto per tutti quegli approfondimenti e percorsi trasversali di sintesi che fossero stati sacrificati nei bienni precedenti, e, perché no, mettere riparo alla presente crisi delle 'vocazioni scientifiche'. In questo sforzo i vari corsi di laurea interessati e le diverse società scientifiche vorranno certamente essere a fianco degli insegnanti delle scuole secondarie, costruendo assieme percorsi ed esperienze.

EDUCAZIONE AMBIENTALE E METODI PER EVITARE IL RISCHIO DI 'INQUINAMENTO CULTURALE'

Filippo Ciampolini

Confrontandomi con il titolo di questo 'quaderno', a cui mi è stato chiesto di collaborare, il primo impulso è stato quello di rifiutare l'invito, non potendomi io considerare un ricercatore esperto dell'ambiente e dell'atmosfera in particolare. Poi ho riflettuto, chiedendomi come – da cultore della Ricerca Metodologico-Disciplinare (RMD), ove ho invece lunga militanza, volta a tentare di migliorare il modo di insegnare e di apprendere le discipline scientifiche e tecniche (soprattutto nella secondaria di secondo grado) – avrei potuto dare comunque un contributo in proposito. Ho concluso che la cosa poteva essere fatta orientando il contributo stesso sui modi per evitare taluni rischi connessi alle materie di insegnamento che si occupano di ambiente. Tali rischi – che in ambito scientifico e tecnico corrono un po' tutte le materie che trattano di argomenti oggettivamente 'difficili' se riferiti alle giovani menti di allievi dei primi anni delle scuola secondaria di secondo grado – diventano ancor più gravi per la natura stessa delle discipline ambientali, soprattutto se non si tiene sufficiente conto della assai precaria situazione in cui versa l'insegnamento delle materie scientifiche e tecniche in genere, nella scuola di oggi.

Premessa

Prima di addentrarmi in considerazioni più strettamente attinenti alla didattica relativa all'ambiente, ritengo opportuno svolgere una premessa atta a motivare il taglio che ho scelto per questo mio intervento. In questa logica devo innanzitutto precisare il significato che intendo attribuire al termine 'inquinamento culturale' usato nel titolo di questa nota. Si tratta di un'azione negativa a causa della quale lo studio di una disciplina che in teoria ha un elevato potenziale formativo, in realtà non riesce a dare un valido contributo in tal senso allo studente e si traduce invece in un addestramento del medesimo e, nei casi più gravi, neppure in quello. Nelle materie scientifiche e ancor più in quelle tecniche, uno studente semplicemente addestrato è uno studente che ha imparato ad applicare in pratica delle regole che gli consentono di fare senza troppo capire il perchè di quelle regole; uno studente formato ha invece una consapevolezza profonda del suo sapere; una consapevolezza che, nel progredire del proprio cammino di apprendimento, diventa sempre più esigente, al punto di frenarlo nell'acquisizione di nuovo sapere, il che talvolta lo fa apparire meno pronto e di intelligenza meno vivace di chi

36 CAPITOLO 1

invece sta solamente addestrandosi. Per questo occorre andare molto cauti nel valutare gli alunni: fin dalla scuola primaria, ove bambini che alzano troppo frequentemente la mano (dando l'impressione di essere molto svegli), rivisti dieci anni più tardi, mostrano chiari i segni di un sapere superficiale nel quale si sono troppo a lungo allenati.

A determinare un'azione inquinante nei confronti di un apprendimento che da formativo degrada in addestrativo, possono concorrere molte cause, alcune imputabili allo studente (la poca voglia di studiare, ad esempio), alcune riconducibili al docente (più o meno valido, come sempre può accadere in qualsiasi professione praticata da numeri elevati di persone), altre infine determinate da *condizioni esterne* in cui docente e discente si trovano a dover operare senza alcuna responsabilità sulle medesime, perché si tratta di condizioni imposte da altri. È soprattutto su queste ultime che desidero soffermarmi, perché sono cause in cui il singolo soggetto (docente o discente che sia) può spesso fare poco, e perché non di rado queste cause riescono a mettere in crisi anche docenti molto bravi e studenti, almeno potenzialmente, pure bravi.

Allo stato attuale la scuola italiana sta vivendo uno di questi condizionamenti, con forte componente esterna, che tende a degradare la valenza formativa di un po' tutte le materie di insegnamento e che si rivela di particolare gravità nei confronti dell'insegnamento scientifico e tecnico nella secondaria di secondo grado. Numerosi sono i segnali che denotano in proposito una situazione veramente preoccupante. Eccone alcuni: la fuga degli studenti (ma meglio sarebbe dire, delle famiglie) dagli Istituti Tecnici verso i Licei; la fuga dei maturati (anche provenienti da Licei Scientifici) da Corsi di laurea di grande tradizione, ma soprattutto di grande importanza per l'avvenire del nostro Paese (Matematica, Fisica, Chimica ecc.); non ancora la fuga da Corsi di laurea a impronta tecnologica (Ingegneria, ad esempio), ma al suo posto la constatazione delle enormi difficoltà che troppi studenti incontrano al loro interno (causa prima della dilatazione di lauree, teoricamente triennali, ma ormai di fatto quinquennali per la maggior parte degli studenti); le *classifiche scolastiche europee* che vedono l'Italia relegata in prossimità del fanalino di coda, ecc. Al di là dei segnali suddetti, che si prestano a interpretazioni di vario tipo (non essendo il più delle volte una sola la causa di ciascuno dei guai lamentati), resta la constatazione, riconosciuta dalla stragrande maggioranza dei docenti, del progressivo degrado della qualità che caratterizza l'apprendimento medio dei nostri studenti, un degrado che riduce ogni anno di più la valenza formativa delle discipline insegnate. Un degrado iniziato molti decenni fa, proseguito poi con sistematici incrementi verso il basso fino a raggiungere gli attuali livelli, francamente inaccettabili. Un degrado che induce alcuni docenti (per fortuna non tutti) a colpevolizzare i Colleghi che hanno insegnato in precedenza ai loro allievi: così non è infrequente ascoltare universitari che criticano severamente la scuola secondaria di secondo grado e, analogamente, docenti di questo ordine di scuole che si lamentano del lavoro svolto dai Colleghi della scuola secondaria di primo grado, ecc. Questo scarica-barile, prima che ingeneroso, è ingiusto in quanto frutto di una analisi superficiale e istintiva: una analisi più obiettiva (che richiederebbe tempi e spazi più ampi) ci porterebbe a riconoscere che nessuno è in grado di scagliare la prima pietra in quanto le colpe risultano ampiamente circolari e coinvolgono non solo l'intero sistema formativo (dalla scuola primaria all'università) ma anche la società nel suo complesso (famiglie comprese). In sostanza siamo tutti un po' vittime (come cittadini) e un po' colpevoli (come componenti di categorie che potrebbero far sentire il loro peso ed offrire il loro contributo educativo) del fatto che la nostra scuola al momento attuale non è quella che un Paese come il nostro, di grandissime tradizioni non solo umanistiche ma anche scientifiche e tecniche, dovrebbe avere; un Paese che al momento attuale ancora si annovera (ma per quanto ancora potrà continuare a farlo se il degrado continua?) fra le prime potenze industriali del mondo.

Termino qui questa premessa, precisando che l'avere indicato, alla base dell'attuale situazione, una circolarità di colpe che hanno radici lontane, non deve interpretarsi come invito ad innescare un approfondimento atto a stabilire chi è più colpevole e chi lo è meno; ma piuttosto come un invito a coloro che avvertono la gravità della situazione e di conseguenza l'urgenza di un'inversione di tendenza, a cercare di determinare tale inversione tutti insieme appassionatamente 'uniti' nell'impegno (il che non esclude che si possa esserlo anche nella curiosità). Problema certamente non facile, ma che avrà una probabilità tanto più grande di venire risolto in tempi ragionevolmente brevi, quanto più l'impegno dei singoli sarà sostenuto da quella umiltà che spontaneamente deriva dal sentirsi, almeno in parte, responsabili dei guai che stiamo attraversando.

Come invertire la tendenza negativa che ha determinato l'attuale situazione di degrado formativo, con particolare riferimento alle materie scientifiche e tecniche

Passo ora ad esprimere alcuni miei convincimenti in ordine all'argomento in questione, naturalmente munito anch'io della necessaria umiltà, dal momento che non mi escludo affatto da quella circolarità che ho citato¹. Si tratta di idee ampiamente discusse con numerosi ricercatori nell'ambito della RMD ed anche con molte migliaia di docenti, coinvolti negli ultimi dieci anni nella RMD stessa, tramite numerosi seminari sull'intero territorio nazionale. So quindi che queste idee sono largamente condivise da molti, ma, come ricercatore, so anche che questo non autorizza a pensare che tutti deb-

¹ Completo questa mia 'confessione' precisando che la lunga mia militanza nei dintorni della Scuola mi ha portato talvolta a dialogare col 'potere centrale' della Scuola italiana (ad esempio, negli anni dal 1990 al 1997 in cui sono stato Presidente dell'allora IRRSAE Emilia-Romagna, oggi IRRE). Oggi penso a talune occasioni che non dettero i frutti che allora si potevano sperare; mancò da parte mia una sufficiente chiarezza di idee? o mancò una sufficiente determinazione nel sostenerle? Non so. Col senno di poi rimane comunque un po' di rimpianto, ma mi consolo pensando che non ero comunque il *potere*, ma solo un *dialogante* con il medesimo.

bano condividerle: l'umiltà, di cui sopra, ha quindi un motivo in più per sussistere. Il lettore prenda dunque quanto sto per dire come un invito a discuterne, non come una lezione da apprendere.

Chiunque voglia invertire una tendenza negativa, così radicata come quella di cui stiamo discutendo, deve innanzitutto selezionare nel negativo ciò che è più negativo ed occuparsi prioritariamente di quello, rimandando a tempi migliori (quando i guai grossi siano stati rimediati) un'attenzione adeguata anche ai mali minori. Questi ultimi, tra l'altro, essendo almeno in parte dipendenti da quelli maggiori, finiscono spesso per scomparire quasi automaticamente, quando i maggiori stessi risultino eliminati o quantomeno attenuati. Questa banale osservazione non varrebbe nemmeno la pena di essere fatta, se non dovessimo onestamente riconoscere che nella circolarità di colpe di cui si è detto, trova posto anche un certo tipo di finanziamenti a pioggia, ove in epoca di vacche grasse (o quasi... penso a circa una decina di anni fa) il più importante e il meno importante erano spesso confusi in un parallelismo invero poco edificante, che ci ha distratto dal concentrarci su quel degrado che già allora appariva preoccupante. Oggi il problema è meno appariscente in quanto, essendo nel frattempo le vacche diventate magrissime, i finanziamenti di qualsiasi tipo tendono a scomparire e in prossimità dello zero subentra da parte delle scuole una rassegnazione che non fa più tanto attenzione a questioni del genere. Comunque, poiché qualche soldo ancora si investe, occorre investirlo bene, e quindi la selezione del più negativo diventa, se possibile, ancora più importante. Chiediamoci dunque: quale è attualmente il più negativo dei risultati ottenuti dalla nostra scuola con i propri studenti, nel settore scientifico e scientifico-tecnico (e probabilmente non solo in quello)?

A una domanda del genere non ho alcun dubbio a rispondere: l'enorme *carenza logico-linguistica* che caratterizza l'impreparazione di troppi nostri giovani. Tale risposta esprime il convincimento, maturato sul campo², che la principale causa delle difficoltà che lo studente incontra nello studio delle materie scientifiche e tecniche sia da individuare nella carenza suddetta. È una carenza che mina alla base ogni tipo di studio successivo (umanistico e scientifico), cosicché può annoverarsi fra le principali cause della *dispersione scolastica* in generale. Nel caso specifico della materie scientifico-tecniche essa risulta ancora più grave perché troppo spesso 'tollerata' (soprattutto negli Istituti Tecnici e Professionali, ma anche nei Licei il malanno sta da tempo diffondendosi), soprattutto sul versante 'linguistico', (ma il danno si propaga poi inevitabilmente anche a quello più strettamente 'logico') ove mai come oggi è risultata nei fatti così diffusa la falsa idea che la lingua italiana abbia poco a che vedere con la matematica, con la fisica ecc. Questa tolleranza, nata nei livelli di scuola precedenti, continua purtroppo assai

² Fra 2000 e 3000 le ore fin qui direttamente trascorse in aula dallo scrivente in sperimentazioni svolte in collaborazione con scuole prevalentemente secondarie di secondo grado, sull'intero territorio nazionale.

spesso, anche nella secondaria, non di rado giustificata da una sorta di impotenza che i docenti dichiarano nei confronti di un malanno così grave che andrebbe curato precocemente. Un malanno di fronte a cui la scuola secondaria di secondo grado ha alzato di fatto, quasi ovunque, la bandiera bianca, rassegnandosi ad accettarlo, semmai delegando agli altri ordini di scuola che la precedono il compito di occuparsene (ma ormai il fenomeno è troppo grave perché tali scuole possano da sole risolverlo!). I docenti, in grande maggioranza, hanno però imparato, questo sì, a difendere il proprio sistema nervoso da questo malanno. Ciò è dimostrato da varie tendenze oggi evidenti più o meno in tutti i tipi di scuole – in non pochi casi, perfino all'Università ove il malanno continua ad essere presente in dosi massicce -: il sempre minore utilizzo delle interrogazioni orali (le più idonee ad accertare la suddetta carenza) nei confronti delle prove scritte; la forte riduzione di domande rivolte a definizioni, a dimostrazioni (e più in generale alla teoria) falsamente compensata da un esagerato impiego dell'esercizio (che, quando torna numericamente, dà spesso all'allievo l'errata sensazione di aver 'capito' ciò che talvolta è solo frutto di un prolungato allenamento 'meccanico'); l'uso eccessivo, che rischia di diventare sempre più generalizzato, di compiti scritti a risposte chiuse (i famosi 'quiz'), ecc. Dico questo con molta comprensione nei confronti dei docenti e senza volere colpevolizzare nessuno, ben consapevole, tra l'altro, che neppure io, che in questa nota mi sto assumendo il compito ingrato di rigirare il dito nella piaga, ho un passato didattico del tutto immune da errori di questo tipo. Con onestà pari alla comprensione, devo però sottolineare che questo tipo di 'difesa' (che definirei 'personale' di noi docenti) non è neutra, nel senso che non lascia inalterato il malanno; al contrario contribuisce a peggiorarlo continuamente. Se infatti, come docente, interrogo oralmente sempre di meno, se accetto che i miei allievi (che non ne hanno capito l'importanza) continuino a rifiutare le definizioni che ritengono inutili e indigeste, se nella conoscenza della teoria mi accontento (perchè so benissimo che cosa accadrebbe se premessi il piede sull'acceleratore) e mi rifugio sempre più nel beato esercizio che non mi pone grossi problemi (magari anche perchè talvolta me lo corregge il computer), allora il mio allievo 'medio' si allenerà sempre di meno in quelle attività di studio e di ripasso che possono migliorare le sue capacità logico-linguistiche. È dunque accettando una dinamica di questo tipo che si finisce per scoprire perché il livello medio dei nostri allievi peggiora di anno in anno.

A questo punto, avendo indicato le carenze di tipo logico-linguistico come la principale causa *scolastica* dell'attuale degrado (altre, non trascurabili, ve ne sono, ma provengono più dall'esterno che non dall'interno della Scuola), è presumibile che il lettore di questa nota si aspetti dal sottoscritto l'indicazione delle *metodologie scolastiche* più efficaci per combattere le carenze stesse. Mi limito a dire l'ovvio, e cioè che occorre intanto trovare il modo di poter fare esattamente l'opposto di ciò che sopra è stato citato come un insieme di cause che alimentano il malanno: quindi interrogare oralmente

molto di più di quanto attualmente si fa, dare molto più peso alla teoria (definizioni comprese), non esagerare con i compiti scritti e soprattutto non alimentare la credenza che il modo migliore per insegnare sia quello 'per esercizi', attribuendo ad essi una funzione quasi esclusiva che un po' alla volta porta a sostituire, quasi per intero, l'esercizio alla teoria. Ma se è ovvio, per chi abbia maturato sul campo gli stessi miei convincimenti, suggerire questi comportamenti, non lo è altrettanto rendere tali comportamenti compatibili con le energie dei docenti e con i pesanti vincoli che la routine scolastica quotidiana loro impone. Servono dunque proposte innovative e metodologie adeguate, tali da rendere praticabile ciò che a prima vista appare molto difficile a realizzarsi da parte della Scuola.

In proposito molto lavoro, frutto di un'attenta e sperimentata RMD, è già stato fatto e si continua a fare in tale direzione. Ad esempio, è opportuno segnalare che proprio in questo anno scolastico 2005/06 è in corso una verifica sperimentale delle principali metodologie fin qui proposte, in una cinquantina di classi delle scuole secondarie con un coinvolgimento di circa mille studenti, tramite due progetti indipendenti – il primo promosso in Emilia-Romagna dall'Ufficio Scolastico Regionale d'intesa con l'IRRE E-R e con la Fondazione Aldini Valeriani, l'altro promosso in Toscana dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Siena – ma sostanzialmente equivalenti e condotti dal medesimo staff di esperti. Riferire in questa sede, anche solo sommariamente, sulle suddette metodologie sarebbe sicuramente incompatibile con lo spazio concesso a una nota come la presente: ritengo preferibile citare un testo³ che possa introdurre il lettore interessato a metodologie volte a realizzare l'inversione di tendenza di cui stiamo parlando. Se poi il lettore è anche docente di materia scientifica e/o tecnica, e avverte l'esigenza di entrare in contatto con colleghi che già concretamente operano nelle proprie classi nella direzione indicata da questa nota, può richiedere ulteriori informazioni all'indirizzo e-mail indicato⁴.

E la didattica per l'ambiente che c'entra?

Non posso concludere questa nota senza fare almeno un cenno allo stretto legame esistente fra le cose fin qui dette e una didattica volta alle questioni ambientali. In questa nota si è fin qui particolarmente insistito sull'influenza estremamente negativa che una grave incapacità logico-linguistica, assai diffusa fra i nostri studenti, manifesta nel togliere potere formativo a praticamente tutte le discipline proposte dalla Scuola ai nostri giovani. Si è inoltre chiarito come le materie scientifiche e tecniche siano fra quelle ove il danno è maggiore a causa di una *tolleranza* che non pochi docenti delle materie

³ F. Ciampolini, F. Piazzi, *La ricerca metodologico-disciplinare*, Il Mulino, Bologna, 2001.

⁴ La segreteria del progetto in Emilia-Romagna è collocata presso l'IRRE E-R e contattabile all'indirizzo e-mail: mascaro@irreer.it.

suddette manifestano (meglio sarebbe dire, *sono 'costretti' a manifestare*, a causa di condizioni esterne create da altri) soprattutto, ma non esclusivamente, negli Istituti Tecnici e, ancor più, in quelli Professionali.

È a questo punto che posso aggiungere qualche ulteriore osservazione per evidenziare come per le suddette materie e, in modo del tutto particolare, per le suddette materie insegnate nelle suddette scuole, la situazione potrebbe restare grave anche nell'ipotesi ottimistica che in tempi ragionevolmente brevi si riesca a sistemare l'aspetto logico-linguistico associato all'insegnamento scientifico e tecnico. In termini più espliciti possiamo dire che quando siano presenti forti esigenze professionalizzanti in ambito scientifico e tecnico (come appunto accade nelle tipologie di Istituti citate) il risanamento logico-linguistico degli studenti è condizione prioritaria e assolutamente necessaria, ma non sufficiente a garantire, da sola, buoni risultati formativi. Ciò accade per un fatto che non si dice quasi mai apertamente, forse perchè si teme di essere fraintesi e di offendere categorie di docenti di altri settori: le materie scientifiche, e ancor più quelle tecniche, quando vengano proposte ad allievi molto giovani (all'ingresso delle Superiori) risultano per loro assai più difficili di quanto loro appaiano materie di altro tipo. E questo non perché vi siano fra le une e le altre, viste nella loro globalità, oggettive differenze negli ordini di grandezza delle difficoltà intrinseche alle materie stesse, ma perché ben diversa è la gradualità dell'approccio propedeutico che si riesce a garantire alle une e alle altre, così come, ad approccio effettuato, ben diversa è la quantità di tempo che si riesce a rendere disponibile, alle une e alle altre, per l'assimilazione di concetti difficili.

Se si condividono le considerazioni appena svolte, si comprende quanto difficile risulti, ad esempio, l'insegnamento di una materia tecnica di base (meccanica, elettrotecnica, costruzioni, elettronica, ecc.) e talvolta perfino molto più difficile di quelle scientifiche di base (matematica, fisica ecc.), quando l'insegnamento è rivolto a studenti molto giovani (non dimentichiamo che è sempre questa l'ipotesi) e per di più sotto la spinta di pressanti esigenze professionalizzanti. Il pericolo di dover affrontare una vera e propria discontinuità culturale, quale appunto quasi sempre rappresentano le materie tecniche (assai poco 'preparate' da apprendimenti propedeutici negli studi precedenti); la frequente constatazione di mancati appuntamenti fra le materie scientifiche e quelle tecniche, che dalle prime dovrebbero trarre i necessari prerequisiti; il tempo per metabolizzare l'apprendimento, ridotto da quella che potremmo chiamare l'ansia professionalizzante (che obbliga a concentrare talune materie scientifiche troppo a ridosso dell'ingresso alle Superiori e a rendere l'insegnamento di quelle tecniche frettoloso per rispettare programmi resi troppo vasti da una professionalità che si vorrebbe fare raggiungere ai propri allievi): sono tutti fattori che insidiano la didattica, facendole correre seri rischi di degenerazione in addestramento. A tutto ciò si aggiungono (non sempre, ma purtroppo ancor oggi abbastanza spesso) i suggerimenti di un orientamento poco

consapevole, che indirizzano alle scuole tecniche suddette i ragazzi giudicati meno adatti allo studio. Si giunge così al paradosso che ai ragazzi meno attrezzati sotto il profilo del saper studiare, si propongono fin dall'inizio materie che, riferite all'età dei ragazzi stessi, risultano più difficili di quelle proposte, ad esempio in un liceo, ad altri ragazzi scolasticamente meglio attrezzati a cui il liceo stesso propone percorsi scolastici assai più graduali.

In proposito un'idea indubbiamente buona, almeno sulla carta, è l'istituzione dei *Licei tecnologici* che la recente riforma ha introdotto. Per farla diventare buona anche nell'applicazione pratica, realizzando una soddisfacente sintesi fra ciò che di meglio un '*Liceo*' può offrire sul piano concettuale e l'irrinunciabile grande patrimonio di esperienza e di capacità laboratoriale tipica di non pochi Istituti, occorrono però docenti che sappiano raccogliere la sfida che tale istituzione indubbiamente propone. Non sarà un lavoro facile, ma la Scuola potrà farcela se saprà motivare i propri docenti ad essere loro stessi protagonisti di quella ricerca di metodi disciplinari (RMD) che consentirà non solo di insegnare meglio, ma anche più in fretta, per rendere disponibili agli studenti tempi utili a una loro personale riflessione e li sottragga a taluni processi di apprendimento un po' troppo '*meccanici*' e quindi esposti all'*addestramento*, non infrequenti nella Scuola di oggi.

Torniamo alla didattica per l'ambiente per un ultimo ragionamento che in fondo è la vera sintesi di questa memoria. Se le cose dette in questa nota possono trovare consenso, come auspico, per singole materie di insegnamento (matematica, fisica, chimica, meccanica, elettrotecnica, elettronica, costruzioni, ecc.) per le quali è effettivamente alto il rischio che l'addestramento si sostituisca alla formazione, particolarmente quando ci si rivolga a studenti molto giovani e troppo spesso impreparati sotto il profilo logicolinguistico, quanto più dovremo preoccuparci di un insegnamento rivolto all'ambiente, ove la trasversalità disciplinare è la regola ed ove, quindi, si ha a che fare solitamente non con una sola disciplina ma con un complesso di discipline diverse che convergono contemporaneamente su un'unica materia. In tal caso numerosi ed eterogenei sono i prerequisiti che lo studente deve possedere fin dall'inizio dello studio della materia stessa. Si moltiplicano quindi i rischi connessi alle varie discontinuità culturali che si affrontano ogniqualvolta, a livello di prerequisiti, si deve attingere a più di una disciplina diversa; inoltre diventano ancor più problematici gli appuntamenti propedeutici con eventuali materie insegnate in parallelo con quella in questione. La conclusione è che un consiglio che si può dare per l'insegnamento di materie ambientali ad alta trasversalità disciplinare, è quello di collocarle il più avanti possibile nel curriculum scolastico, affinché non accada che prerequisiti essenziali siano usati malamente (nel senso dell'assimilazione da parte dello studente) perchè saranno capiti bene solo in materie successive; il creare debiti di comprensione che saranno saldati nel futuro è uno dei modi più sicuri (è l'esperienza che parla) per andare incontro all'addestramento. Se dunque seguiremo il suggerimento suddetto, la didattica delle scienze dell'ambiente acquisterà una valenza formativa elevatissima proprio perché richiederà un'ottima conoscenza di tante discipline diverse; se così non avverrà e 'anticiperemo' tale didattica ai primi livelli del curriculum delle scuole secondarie di secondo grado, è probabile che finiremo con l'inquinarla culturalmente. Sarebbe, oltre che grave, anche singolare per materie che insegnano tra l'altro a combattere l'inquinamento, seppur di altra natura.

EDUCAZIONE AMBIENTALE: STRUMENTO DI ORIENTAMENTO ALLE DISCIPLINE SCIENTIFICHE

Milena Bertacci

Quale progetto formativo?

Nell'era della globalizzazione la scuola è chiamata a sviluppare attitudini complesse, tra queste, la capacità di mettersi in relazione con il mondo e con le grandi sfide che segnano il nostro tempo.

L'azione educativa non può dunque sottrarsi alla necessità di costruire nei giovani – ma non solo – comportamenti responsabili verso l'Ambiente, patrimonio dell'intera umanità, a partire dai singoli contesti di vita e relazione: dallo spazio dell'aula, a quello della città, fino allo spazio del mondo; un pensare globale, attraverso il nostro agire locale, per un più pieno sviluppo delle identità, delle culture e della cittadinanza.

Si tratta di cogliere il nesso tra il progetto educativo e il percorso di cittadinanza; tra i saperi disciplinari e le competenze evolutive della persona (orientamento, *problem solving*, espressione creativa, relazionalità, attitudine alla scelta e al cambiamento...); tra la formazione umanistica e la formazione scientifica; tra la capacità di radicamento nei contesti territoriali e il delinearsi di un'appartenenza ormai planetaria; tra la centralità del soggetto che apprende e l'integrazione dell'individuo nella comunità scolastica e sociale di riferimento, tra la responsabilità dei singoli e le responsabilità dei sistemi entro cui le persone elaborano i loro scenari di vita e di futuro.

In questo disegno siamo tutti coinvolti. La scuola, forse, è implicata più di altri sistemi in quanto rappresenta ancora un luogo privilegiato per la formazione e la socializzazione delle persone; tuttavia, non può bastare a se stessa, c'è bisogno di un'integrazione solidale tra le diverse agenzie educative e di un'assunzione condivisa del progetto formativo nella sua globalità.

Ne deriva, sul piano operativo, l'opportunità che la ricerca didattica individui quelle situazioni e quelle strategie metodologiche atte a costruire contesti e processi di apprendimento legati a potenzialità esplorative e di connessione tra i diversi punti di vista disciplinari, contesti in cui l'allievo possa costruire un approccio dinamico alla conoscenza elaborando i propri modelli cognitivi come processi attivi di autoregolazione, nel più ampio incontro con la realtà sociale e l'universo ambientale di riferimento.

Se pensiamo a un progetto formativo trasversale, che veda nella complessità ambientale e in un approccio critico e interpretativo il proprio collante, occorre anzitutto

promuovere e maturare un nuovo modo di percepire e organizzare le conoscenze sull'ambiente, non disconoscere più la sua identità sistemica, le sue componenti antropiche e naturali profondamente interconnesse. Si mostrano sempre più superati, infatti, i tradizionali schemi di classificazione e separazione delle discipline, emerge sempre più indispensabile l'esigenza di perseguire un'interconnessione di tutti i campi del sapere. Occorre sviluppare sempre più le potenzialità integrative, le attitudini a coordinare i differenti contributi nella definizione dell'impianto curricolare. Edgar Morin lo propone da anni nelle sue opere - ovvero la necessità di una riforma ecologica del sapere – e lo ha magistralmente sintetizzato nel recente "Saperi necessari all'educazione del futuro". Una conoscenza che non misconosce più le sue possibilità di errore; pertinente, contestualizzata, interconnessa, multidimensionale e complessa; attenta alla condizione umana, oltre che fisica e biologica, al suo divenire 'comunità di destino' tutt'uno con il pianeta terrestre. Una conoscenza che prepari i giovani a prendere decisioni in condizioni di inevitabile incertezza, a circoscrivere e analizzare i rischi; a sviluppare una comprensione solidale tra culture, etnie, religioni, differenti punti di vista; a integrare l'apprendimento con l'assunzione di una nuova etica che promuova consapevolezza e responsabilità. Tenuto conto degli scenari complessi su cui si misureranno i nostri giovani, nella costruzione del progetto formativo bisogna puntare alla costruzione di menti ben fatte, atte a organizzare le conoscenze così da evitare la loro sterile accumulazione.

Le discipline scientifiche possono dare un contributo determinante alla costruzione di 'menti ben fatte' nella misura in cui si sforzano di uscire da un insegnamento ancora troppo spesso di tipo 'formale' e 'narrativo', per assumere piuttosto una logica il più possibile sperimentale e fenomenologica, fondata su una didattica operativa (nel senso anche di sviluppare un pensiero operatorio, sia concreto che astratto), su un utilizzo diffuso dei laboratori, su approcci coinvolgenti che valorizzino i saperi di senso comune di cui i ragazzi sono portatori (nella scuola primaria) e quei concetti strategici senza il cui possesso non riusciamo a capire la realtà del mondo intorno e della vita che si aggrega in tante forme e strutture essenziali (scuola secondaria). Si tratta di porre al centro alcune (poche) esperienze da indagare e mettere i ragazzi in condizioni di cercare le risposte attraverso la graduale costruzione di 'modelli interpretativi', necessariamente parziali e rivedibili, così da favorire competenze progettuali e orientative e l'assunzione di un'etica del rischio in grado di valutare i rischi conseguenti alle varie azioni/scelte possibili.

In questa prospettiva si ritiene che l'educazione ambientale, praticata sempre più diffusamente e con una nuova consapevolezza da parte di tante scuole in ricerca, possa suscitare processi didattici capaci di avvicinare e consolidare non solo l'interesse dei giovani per le discipline scientifiche, ma anche l'assunzione di quegli approcci osservativi e interrogativi che rappresentano la motivazione fondante di una didattica aperta alle scienze.

Il valore orientativo della didattica ambientale

Sempre più le scuole hanno assunto i temi dell'ambiente nel proprio curricolo formativo nella consapevolezza che la via attuale allo sviluppo rischia di pregiudicare le condizioni stesse del nostro futuro. Appare infatti evidente come la scuola, che tra i suoi compiti istituzionali ha quello prioritario della formazione del futuro cittadino, non possa eludere il problema di una rigorosa educazione all'uso corretto dell'ambiente nel quadro più complessivo di una solida formazione culturale e scientifica. I nostri ragazzi vivono le loro esperienze quotidiane in un contesto fortemente incalzato da cambiamenti di ogni tipo: relazionali, comunicativi, culturali, tecnologici, produttivi... Di questa realtà problematica domani saranno protagonisti e continuatori. Il ruolo che nella società futura sapranno svolgere dipenderà molto dalla conoscenza dei problemi e dall'abito mentale che si saranno costruiti a partire dalla scuola.

L'educazione ambientale, intesa quale processo educativo idoneo a sviluppare *nuove conoscenze* non disgiunto dall'assunzione consapevole di *nuovi comportamenti*, appare sempre più un paradigma pedagogico-concettuale-scientifico a cui molte scuole ispirano il proprio slancio progettuale nella costruzione di itinerari laboratoriali e innovativi.

Sullo statuto epistemologico dell'educazione ambientale e sulle sue valenze formative, in questi ultimi anni si è sviluppato un acceso dibattito che ha contribuito a precisare e a mettere a fuoco alcuni aspetti essenziali della riflessione pedagogica a questo riguardo, valorizzando in primo luogo proprio quelle *qualità dinamiche* che sono il denominatore più interessante delle migliori esperienze messe in atto sul territorio nazionale.

Da una ricerca sugli 'indicatori di qualità' presenti in modo più o meno esplicito nei progetti di educazione ambientale risulta che tali fattori ricorrenti ed esemplificativi di un itinerario didattico collegato all'ambiente sono strettamente correlati a quelle strategie inquisitive e sperimentali che sono alla base anche di una didattica delle scienze interessata al successo formativo degli allievi, oltre che alla coerenza concettuale dei contenuti disciplinari.

In questo ambito di riflessioni non possiamo non porci *en passant* il problema, da più parti evidenziato, della fuga dei giovani dalle facoltà di tipo scientifico nel nostro Paese (-43% chimica, -55% fisica, -63% matematica) e domandarci se tale disinteresse non sia in qualche modo connesso ad una demotivazione di fondo che ha a che vedere con *'i modi'* dell'insegnamento scientifico, a partire dai livelli scolastici di base, piuttosto che con il disinteresse per i contenuti scientifici che appaiono invece quanto mai rilevanti – e spesso complessi ma anche appassionanti – nel dibattito e nella realtà contemporanei. Possiamo richiamare alcuni di questi indicatori qualitativi tipici dell'educazione ambientale domandandoci, al contempo, se essi non abbiano anche un'incidenza orientativa sul versante più complessivo della didattica scientifica:

- *la centralità dell'esperienza* (bisogna partire dalle esperienze del soggetto, dalle esperienze compartecipate e condivise in aula, sul terreno, in laboratorio);

- *l'osservazione* (la raccolta dei dati si focalizza su aspetti concreti della realtà 'smontata' e interpretata attraverso l'osservazione e la ricerca);
- *la concretezza e la rilevanza locale* (valore fondamentale del 'vicino', direttamente attingibile ed esperibile);
- *l'innovazione didattico-metodologica* (perseguimento del cambiamento orientato ad una migliore realizzazione degli obiettivi, approfondimento delle opzioni metodologiche);
- *il rapporto scuola-territorio* (interesse per la realtà ambientale circostante, legame con il contesto di riferimento con cui si creano e si mantengono rapporti circolari);
 - la complessità (pensare per variabili, pensare per relazioni e ipotesi);
- *il lavoro sul campo* (raccolta dei dati sul territorio, favorire situazioni e mentalità esplorative ed euristiche);
- *la trasversalità* (approccio sistemico e interdisciplinare, ripensamento dei collegamenti tra le discipline e nell'impianto del curricolo);
- *la ricerca insieme* (i tradizionali ruoli ricercatore, insegnante, alunno lasciano il posto al 'ricercare insieme');
 - il cambiamento (modifica degli stili cognitivi, relazionali e comportamentali);
 - la flessibilità (disponibilità alla messa in discussione dei propri paradigmi);
 - la creazione di reti e parteneriati;
- *la valorizzazione delle differenze* (pluralismo, rispetto della divergenza, un tendere conoscitivo verso l'altro da sé).

La pluralità di strategie che l'educazione ambientale può attivare attiene sia alla dimensione cognitiva sia a quella affettiva/relazionale, in un intreccio inscindibile di richiami, rinforzi e legami. All'interno di queste due macrocoordinate le implicazioni
formative che ne possono derivare sono dunque molteplici; esse muovono da un rinnovato e consapevole 'senso di appartenenza' al proprio ambiente di vita, fino ad attivare
la capacità di 'pensare globalmente', partecipando delle cose del mondo, guardate e riscoperte per interrelazioni e variabili, formulando ipotesi per poi verificarle.

Se agli indicatori processuali e metodologici che abbiamo voluto richiamare si aggiungono alcuni dei più cruciali indicatori qualitativi derivati dal quadro di riferimento teorico dell'educazione ambientale, quali *sviluppo sostenibile, approccio sistemico, conservazione della biodiversità, senso del limite, coerenza pensiero-azione, intreccio esperienza-conoscenza,* ci si accorge di quanto ricco e sfaccettato possa essere il contributo che una didattica dell'ambiente offre alla scuola nei termini di una cultura orientativa. Questo, sia a livello di scelte valoriali (quale idea di sviluppo, di uomo e di cittadino, ecologia profonda, biofilia, autoformazione...), sia riguardo alle scelte didattico-metodologiche (progettualità, collegamento tra sperimentazione e ricerca, innovazione degli approcci (esperienziali, osservativi, scientifico-laboratoriali, sperimentali, cognitivi), coerenza progetto-azione, lavoro a gruppi, nesso scuola-territorio, moduli sperimentali, adozione di ambienti..., sia, infine, sul piano dell'impatto con la realtà e-

sterna e con il contesto tecnologico (rapporto con il mondo del lavoro, l'innovazione, l'orientamento, la formazione professionale, le istituzioni...).

Le migliori sperimentazioni di educazione ambientale realizzate nel folto panorama dell'ultimo decennio si sono sforzate, in modo e grado diverso, di uscire dalle antiche logiche di tipo riproduttivo per caratterizzarsi come *laboratorio di ricerca educativa* e di *progettazione del sapere*, del *saper fare* e del *saper essere*, in una prospettiva di assunzione di consapevolezza e responsabilità, così da stimolare gli allievi ad un approccio diretto e personale con la realtà focalizzato più sulla congruità delle strategie attivate per risolvere un problema dato che non su risposte formali sul piano dei contenuti disciplinari.

Una pluralità di approcci: dall'educazione naturalistica allo sviluppo sostenibile

Attraverso l'educazione ambientale, i docenti si sono impegnati in sperimentazioni con forte valore innovativo, superando spesso difficoltà organizzative e recuperando quella dimensione della 'ricerca' e del 'progetto' che ha per tanti versi anticipato la nuova identità di una scuola saldamente radicata sul territorio e capace di collegarsi ai bisogni ed alle specificità dell'ambiente sociale, culturale ed economico in cui si trova ad operare.

La didattica ambientale ha così avuto in questi anni una grande 'presa' sulle diverse realtà scolastiche. Sono venute configurandosi esperienze e tipologie progettuali realizzative tra loro molto diversificate, che compongono un panorama quanto mai complesso ed articolato. Ci sono esperienze emblematiche ormai in quasi tutte le regioni, laboratori didattici in moltissime scuole, comunità educative in ricerca, ciascuna con una genesi, una storia, uno spessore, una tipicità. Può essere interessante rinvenire nelle esperienze di educazione ambientale alcuni tratti distintivi prevalenti che ne caratterizzano le diverse valenze formative.

Abbiamo 'modelli' che si richiamano a una *forte relazionalità* e che tendono a costruire 'modi di pensare'. I ragazzi sono sollecitati a vivere l'ambiente in termini di eco-socio-sistema, riferendosi non solo agli aspetti naturali (riscoperti, per quanto possibile, in situazione) ma anche a quelli antropici e, in particolare, al sistema di interazioni sociali che si stabiliscono all'interno di ogni classe. Abbiamo poi modelli più improntati sugli aspetti naturalistici, che mirano a strutturare una conoscenza prevalentemente scientifica dell'ambiente (vedi le attività di educazione ambientale condotte in collaborazione tra scuola e Parchi e Centri di educazione ambientale). Troviamo quindi proposte che privilegiano il lavoro sul campo, dove l'ambiente è visto come luogo inesauribile di ricognizioni esplorative. In molti casi la classe o la scuola 'adotta' un bene ambientale, quale luogo capace di suscitare attività concrete, di cui assume la responsabilità. Aspetti cognitivi ed emozionali sono qui strettamente intrecciati e sostengono

un percorso di cambiamento che tende alla *scoperta della complessità ambientale* e a una sorta di *educazione all'incertezza* che da questa necessariamente deriva.

Sempre più l'educazione ambientale si coniuga con un'educazione allo sviluppo sostenibile e con un impegno concreto da parte di molte scuole (soprattutto secondarie), ad affrontare problemi complessi (monitoraggio dell'aria e delle acque, inquinamento, traffico urbano, risparmio energetico, inquinamento, gestione dei rifiuti, educazione al consumo responsabile...), a partire da casi e problemi concreti, mettendosi in gioco in prima persona nell'impostare percorsi di approfondimento scientifico, spesso in collaborazione con altri soggetti del territorio.

C'è dunque chi opta per le 'adozioni' ambientali, chi segue modelli euristici fondati su ipotesi/prova/ricerca, chi imposta approcci più cognitivistici. Qualunque sia la modalità prescelta per progettare e realizzare percorsi didattici, tutte le esperienze migliori segnalano l'opportunità di potenziare negli allievi quelle qualità dinamiche (spirito di iniziativa, capacità di *problem solving*, flessibilità mentale, attitudine alla ricerca di nessi e relazioni, approccio alla complessità, atteggiamento indiziario, disponibilità alla verifica, valorizzazione delle differenze) che consentono di affrontare responsabilmente la dimensione della 'scelta' e del 'cambiamento'.

Favorire competenze evolutive

Può essere molto interessante per una scuola assumere il paradigma ambientale e adottare la metodologia e il processo di Agenda 21 (nella Conferenza di Rio de Janeiro, nel 1992, viene lanciato il programma di Agenda XXI a cui i governi e le amministrazioni devono attenersi promuovendo azioni per lo *sviluppo sostenibile*) come momento didattico/formativo. Infatti, attraverso questo processo la scuola può collegarsi al proprio territorio partecipando alla soluzione dei suoi problemi e alla costruzione dello sviluppo sostenibile; svolgere pienamente il compito istituzionale di promuovere l'apprendimento e la formazione degli allievi come persone autonome, consapevoli e attive; collegare in modo ricorsivo la ricerca con la progettualità, la riflessione con l'azione.

Le ragioni per attivare laboratori di educazione ambientale e avviare processi di Agenda 21 Locale in ambito scolastico sono dunque molteplici e implicanti diversi livelli:

- *educativo-metodologico*: si introducono nuovi strumenti a più dimensioni (educativo-informativo-formativo-partecipativo-operativo) per tradurre in modo integrato, intersettoriale (ambiente, società, economia, istituzioni) ed interdisciplinare, numerosi concetti e obiettivi dell'educazione scientifica e dell'educazione all'ambiente, alla salute, ai consumi, all'interculturalità, ai diritti umani. L'utilizzo di strategie attive offre diverse opportunità sotto l'aspetto esistenziale (identità, percezioni, bisogni, desideri), cognitivo (contenuti e strutture della conoscenza), operativo (progetti, azioni, capacità di agire), metodologico (tecniche, strumenti e relazioni per analizzare, progettare, fare);

- *sociale*: assumendo il paradigma ambientale e la prospettiva della sostenibilità, il mondo della scuola è partecipe e soggetto attivo nell'attuazione di impegni e politiche internazionali per lo sviluppo sostenibile a livello globale, nazionale, regionale e locale. Contribuisce a promuovere presso gli studenti e gli insegnanti (ma anche presso la comunità circostante) un sapere ambientale, una consapevolezza ambientale, una responsabilità ambientale, una competenza ambientale e una cittadinanza ambientale;
- *ambientale*: l'Agenda 21 fornisce poi un'opportunità per conoscere meglio le relazioni tra esseri umani e ambiente, per analizzare le criticità esistenti, fornendo dati e informazioni utili per altri attori, così come per migliorare situazioni critiche e contribuire con nuovi progetti al miglioramento della qualità ambientale dentro la scuola e sul territorio.

L'educazione ambientale/processo di Agenda 21 assume dunque l'obiettivo di promuovere e rendere partecipato il cambiamento verso lo sviluppo sostenibile sviluppando e coltivando le capacità e le creatività umane (competenza evolutiva).

Non è un caso che anche l'Unesco abbia voluto dedicare il decennio 2005-2015 allo sviluppo sostenibile, auspicando il forte coinvolgimento delle politiche educative nel processo di sensibilizzazione e 'coscientizzazione' nei confronti dei problemi ambientali.

Non si ritiene più sufficiente oggi conoscere meglio l'ambiente per comportarsi conseguentemente in modo più responsabile nei suoi confronti. Non si dà un rapporto causale lineare tra conoscenze e comportamenti. Così come ancora non è sufficiente essere consapevoli se poi non si posseggono le competenze e gli strumenti culturali appropriati all'azione responsabile e ponderata e da ultimo, ma non ultimo, se non si è direttamente partecipi dei cambiamenti.

L'educazione ambientale, il suo patrimonio di esperienze e di elaborazioni, pur con i pericoli di residualità o confinamento a disciplina aggiunta, si colloca all'interno delle grandi trasformazioni culturali e scientifiche contemporanee verso un paradigma di complessità (di cui parla Edgar Morin in *Una testa ben fatta*) e di un'ecologia dell'azione che sia costruzione di 'possibili' in un quadro di vincoli e opportunità.

Alcuni cambiamenti paradigmatici intervenuti nell'ultimo decennio nel campo dell'Educazione Ambientale ne fanno quindi uno strumento particolarmente interessante e anticipatore di molte tecniche e metodologie per la promozione dello sviluppo sostenibile, nonché uno strumento di orientamento alla *forma mentis* scientifica:

- da un primato/prevalenza di alcuni momenti del processo formativo (cognizione, emozione, valori, esperienza, ecc.) alla loro feconda interrelazione e codeterminazione;
- da una concezione riproduttivo/nozionistica del sapere alla continua costruzione e riprogettazione dei saperi;
- da una 'EA nicchia tra le discipline' a una 'EA che informa dei propri statuti epistemologici' e metodi l'organizzazione dei saperi, a partire da quelli del versante scientifico;
- da una 'EA per la conservazione della natura' (difensiva e reattiva) a una 'EA per lo sviluppo sostenibile' (preventiva, proattiva).

L'educazione ambientale nel quadro della Convivenza civile

La Legge di riforma n. 53/2003 e il Decreto attuativo n. 59/2004 contenente le Indicazioni sui livelli essenziali di prestazione per la scuola primaria e secondaria di primo grado individuano, tra i saperi irrinunciabili per la Convivenza civile, anche quelle conoscenze fondamentali relative sia all'educazione alla cittadinanza sia all'educazione ambientale che appaiono sempre più competenze strategiche nell'ottica di una formazione integrata e orientativa. Unitario è, infatti, il progetto formativo nella sua globalità, rivolto alla costruzione di percorsi capaci di collegare la dimensione 'disciplinare' a quella più propriamente 'civile', così come unitario è il processo di apprendimento che si fonda sul principio della sintesi e dell'ologramma, dell'interconnessione delle parti con il tutto. Dentro le educazioni (alla cittadinanza, ambientale, stradale, alla salute, alimentare, all'affettività) che scandiscono l'educazione alla Convivenza civile vanno sempre riconosciute le discipline, così come attraverso le discipline non si fa altro che promuovere l'educazione alla Convivenza civile e, attraverso questa, nient'altro che l'unica educazione integrale di ciascuno a cui tutta l'attività scolastica è indirizzata.

Il Progetto educativo mira dunque alla formazione di giovani persone consapevoli dei problemi che caratterizzano il nostro tempo (relativi ad ambiente, integrazione sociale, salvaguardia della salute...) e, quindi, in grado di leggere e di interpretare l'ineliminabile complessità esterna, come anche la personale dimensione affettiva che si esprime nella conoscenza di sé, nell'assunzione di scelte, nella costruzione della propria autonomia, nel cambiamento personale. Anche lo sviluppo di adeguate competenze culturali e disciplinari viene dunque ad essere una condizione (e, insieme, il fine) per lo sviluppo di un progetto integrato di persona in cui le competenze tipiche della *Convivenza civile* divengono il tessuto connettivo della persona e della sua identità.

Se poniamo a fondamento del percorso formativo l'acquisizione di un'identità consapevole – coscienza e conoscenza del sé, capacità di rapportarsi con il contesto circostante, responsabilità nelle scelte quotidiane – il curricolo diventa un insieme ben selezionato di esperienze, cognitive e sociali, disciplinari e progettuali, legate da un processo di interiorizzazione: chi sono, a che cosa appartengo, con chi condivido la mia appartenenza e la mia memoria storica, i miei valori di riferimento, il riconoscimento dell'altro, per quale idea di cittadinanza, di comunità, di progetto esistenziale.

Tra la complessità ambientale – di cui le discipline e i saperi formalizzati divengono una rappresentazione codificata e convenzionale – e la complessità affettiva e sociale esiste un legame primario ed indissolubile, fondato su un processo incessante di interazione e *feed back* che struttura e consolida lo sviluppo individuale. Ciascun individuo, infatti, riceve capillarmente l'influenza del contesto ambientale che agisce su di lui in molti modi diretti ed indiretti, per rispondere ad esso modificandolo, e modificandosi, tramite il prodotto di costruzioni simboliche e, reciprocamente, azioni. Saperi, competenze, pensieri, azioni, comportamenti, emozioni rappresentano il modo attraverso cui

organizziamo e riorganizziamo continuamente la nostra esperienza del mondo, attribuendole senso e significato.

In questa prospettiva l'educazione ambientale può rappresentare un contributo utile sia alla reinterpretazione dei saperi disciplinari, sia al consolidamento dei saperi riconducibili alla Convivenza civile quale asse e collante longitudinale che permea il curricolo formativo.

Una nuova idea di Scienza

L'idea di scienza che il pensiero contemporaneo ci consegna ha rinunciato a una visione apodittica del sapere per privilegiare invece una visione evolutiva e rivedibile del processo scientifico. Le rivoluzioni scientifiche che si sono succedute nel Novecento (relatività, meccanica quantistica...) e la conseguente rottura dei paradigmi epistemologici hanno infatti contribuito ad elaborare un'idea di scienza non più fondata su verità assolute bensì sul valore dell'ipotesi e della messa in discussione delle conoscenze acquisite. Abbiamo una diffusa consapevolezza che quello che oggi scientificamente sappiamo riflette l'intreccio delle interpretazioni, delle problematiche, delle teorie che, generazione dopo generazione, sono state ritenute 'giuste' dal pensiero umano. Sconfitte e successi di opinioni anche contrapposte si sono alternate nel tempo, conflitti tra sistemi teorici diversi sono stati combattuti e vinti per opera delle grandi idee che hanno saputo imporsi ma, soprattutto, per opera della moltitudine di dati raccolti pazientemente, delle osservazioni accurate, dei problemi ben posti, delle sperimentazioni attivate, delle soluzioni parziali che via via si sono composte in interpretazioni più generali le quali saranno a loro volta poste in discussione, in quanto la scienza rivede sistematicamente il suo stesso statuto epistemologico.

Infatti, al giorno d'oggi, risulta contraddittoria ed in evoluzione anche l'immagine che la scienza ha di se stessa: certamente sa di aver rinunciato a rivelare la 'vera verità' sul mondo, ma sa che le sue interpretazioni si costruiscono ragionando su fatti concreti, che seguono le loro regole ancora in parte da scoprire. Nuove idee entrano a far parte di un sapere complessivo che cambia nel tempo, soggetto ad ampie dinamiche interne; i campi disciplinari in evoluzione si sviluppano delineando reti di nuove coerenze, cercando la maggior adeguatezza possibile tra i fenomeni e le loro interpretazioni. Mentre assistiamo all'iper-specializzazione disciplinare, assistiamo al contempo alla delineazione di raccordi sempre più stretti tra le diverse discipline.

La causalità lineare, deterministica, tipica delle spiegazioni scientifiche tradizionali si è scontrata con la necessità di strumenti cognitivi più raffinati per interpretare meglio i fenomeni complessi, per indagare la molteplicità delle relazioni che regolano funzionamenti coordinati. Competenze cognitive e competenze tecniche si intrecciano nella ricerca per collegare in modelli e teorie le osservazioni sperimentali sempre più raffina-

te. È importante vedere l'intreccio delle differenti interpretazioni come un prodotto umano dell'attività di ricerca di conoscenza, come un continuo sforzo di collegare i fatti concreti in reti di ragionamento astratto. Così la scienza tenta sia di comprendere quanto accade intorno, sia di far accadere sperimentalmente nuovi fenomeni che confermino le sue interpretazioni. Se infatti la scienza è capace di interpretazioni adeguate è anche disponibile a cambiarle, fino al punto di impostare nuove ricerche per trovarne di migliori.

Verso una nuova didattica delle Scienze

Non sempre la didattica ha saputo tradurre le nuove visioni della scienza in strategie operative coerenti e stimolanti, in grado di coinvolgere l'interesse dei giovani. Negli ultimi decenni, molte ricerche hanno evidenziato l'inefficacia dell'insegnamento scientifico e ne hanno individuato la causa principale nella lontananza tra le conoscenze scientifiche che vengono insegnate e le concezioni spontanee e le strutture cognitive degli studenti (Grimellini Tomasini e Segrè, 1991).

Altri individuano la causa fondamentale dell'inefficacia dell'insegnamento scientifico tradizionale proprio "nella sua impostazione epistemologica, sostanzialmente ancora tardo ottocentesca, contraddistinta da molteplici aspetti tra loro solidali, quali il dogmatismo, l'enciclopedismo, il riduzionismo, il formalismo e il continuismo. La deriva scientista è approdata a esiti paradossali sul piano pedagogico-didattico, in quanto ha contribuito a sviluppare in molti studenti un'immagine della scienza opposta a quella che ha ispirato i grandi scienziati degli ultimi quattro secoli, ad identificare nella scienza una nuova scolastica o una moderna magia: infatti molte conoscenze scientifiche sono astruse, esoteriche nei loro tecnicismi, risultano incomprensibili ai più e perspicue soltanto a pochi eletti" (Fiorentini, 2001).

Anche l'indagine PISA (Project for international Student Assessment), promossa dall'OCSE sull'apprendimento scientifico nei vari Paesi europei ha evidenziato, per quanto concerne i nostri studenti, risultati significativamente inferiori alla media dei Paesi OCSE. L'indagine era focalizzata su tre assi formativi: il possesso di concetti scientifici necessari per comprendere i fenomeni naturali e i cambiamenti apportati dall'intervento umano, la comprensione di processi scientifici, l'uso di conoscenze scientifiche per comprendere processi e proporre azioni fondate, il sapersi orientare in situazioni e aree di applicazione delle competenze scientifiche, soprattutto in situazioni problematiche concrete e reali. Il punteggio riportato dagli studenti italiani è più basso (478) rispetto alla media OCSE (500) e l'item analysis, relativa ai nostri studenti mostra che le omissioni di risposta sono una delle cause principali del basso punteggio: gli studenti italiani non rispondono prevalentemente a domande a risposta aperta nelle quali è richiesto di argomentare, confrontare, discutere dati e opinioni. Secondo Michela Mayer, coordinatrice dell'indagine, "Non si tratta quindi di mancanze di conoscenze

di base o di mancanza di abitudine ai test (nelle risposte a scelta multipla le medie si avvicinano a quelle internazionali), ma di difficoltà ad applicare le conoscenze scientifiche a situazioni concrete unite da mancanza di abitudine ad esprimere e argomentare la propria opinione utilizzando concetti e processi scientifici".

Da più parti ci si interroga su come tradurre in percorsi e strategie didattiche efficaci gli stimoli provenienti dalle nuove visioni delle scienze consolidatesi negli ultimi decenni. Infatti la disciplina che definiamo Scienze ha una complessità fondativa, concettuale ed epistemologica quanto mai articolata in discipline diverse ciascuna delle quali ha un proprio 'statuto' che via via è venuto storicamente modificandosi per approcci, visioni, letteratura. Gruppi di docenti in ricerca si confrontano su *quale idea di disciplina condividere* e, al contempo, *da quale modello di apprendimento* partire per costruire uno sfondo comune di riferimento, tenuto conto anche dello sviluppo verticale del curricolo scientifico che si rivolge a target scolastici assai diversi.

Un paradigma trasversale tipico del metodo scientifico in cui i docenti protagonisti di esperienze innovative si riconoscono è l'approccio sperimentale fondato sul dubbio e sulla 'certezza dell'incertezza', teso a riscontrare la congruità degli assunti attraverso prove e verifiche, in un'ottica che privilegia una didattica euristica, esplorativa, interrogativa, partecipata. In un contesto scolastico l'approccio scientifico si sviluppa dal gusto di porre domande, da un'osservazione guidata e ragionata della realtà, dal coinvolgimento in piccoli esperimenti congrui con l'età dei ragazzi, dal modo come vengono declinati gli obiettivi specifici della disciplina nella trama dei saperi e delle competenze già elaborati.

Alcuni punti di vista irrinunciabili rispetto al contributo che la didattica delle Scienze può immettere nella formazione dei nostri ragazzi potrebbero essere, in via puramente esemplificativa:

- offrire un approccio problematico alla costruzione della conoscenza;
- portare nel curricolo scientifico la dimensione dell''incertezza', predisponendo in tutti i livelli scolastici contesti, situazioni, esperienze rapportate al reale livello di età;
- sviluppare 'una prudente confidenza con il mondo dei viventi' sollecitando curiosità, interesse, contatto;
- accorgersi dei fenomeni racchiusi nel mondo intorno e provare a riscoprirli attraverso lo sguardo della fisica e delle altre discipline scientifiche;
- stimolare nei ragazzi un orientamento esplorativo e interrogativo sulla realtà, trasformando il 'guardare' in 'vedere';
- potenziare modi di pensare sistemici, probabilistici e procedere a uno sfrondamento 'saggio' dei contenuti;
- sviluppare l'utilizzo dei laboratori e aiutare i ragazzi a porsi domande vere piuttosto che a dare risposte giuste.

Gli studiosi hanno variamente tutti insistito sull'opportunità di rappresentarci la co-

noscenza come un fenomeno dinamico, sistemico, teso a consolidare strutture generative essenziali autocostruite dal soggetto in quanto la conoscenza è, secondo il punto di vista, risoluzione attiva dei problemi (Dewey), costruzione di strutture fondamentali (Bruner), capacità di apprendere ad apprendere (Ausubel), azione interiorizzata (Piaget), apprendimento di concetti e regole gerarchizzate (Gagné).

È ovvio che per sviluppare conoscenza (e competenza), soprattutto nelle discipline scientifiche, così come nell'educazione ambientale, occorre partire dalla costruzione di esperienze significative.

Quello che risulta evidente è il *carattere attivo* sotteso ad ogni rappresentazione dell'universo ambientale in cui ci si muove. L'individuo, e in particolare il ragazzo in età evolutiva, non 'subisce' il calco della realtà fenomenica esterna, ma interpreta dinamicamente quest'ultima elaborandola in schemi cognitivi referenziali.

Ma come avviene, nel contesto formativo scolastico, il passaggio dalla 'lezione' all'esperienza dell'apprendere? Sembra necessario assumere una visione euristica del curricolo, critica e autoriflettente, capace di instaurare una ricerca sulla prassi didattica e sulle teorie sottese alle prassi, sui modi della conoscenza scientifica e sui metodi e sugli approcci implicati, ma anche sui meccanismi della conoscenza comune (osservazione, percezione, rappresentazione, verifica, simbolizzazione, verbalizzazione, concettualizzazione, trasformazione e rielaborazione...), sullo sviluppo dei modelli e delle reti concettuali, sulla ristrutturazione e sul rimodellamento degli schemi cognitivi, con particolare riferimento ai modelli interpretativi propri delle Scienze.

Il curricolo scientifico

La costruzione del curricolo scientifico diventa un processo che sviluppa modi di guardare il mondo, modi che non sono soltanto incuneati dentro un determinato punto di vista disciplinare, ma piuttosto reticolari e sistemici. Si tratta di fare ipotesi, di andarle a verificare, qualche volta si tratta di andare a vedere 'sul campo' che cosa succede, raccogliendo dati e informazioni, privilegiando quei canali fondamentali che sono l'osservazione, la percezione, l'azione, la raccolta di prove e indizi, la verifica diretta.

Per dare concretezza a tante belle postulazioni teoriche e per avviare fin dalle prime classi i processi di responsabilizzazione e di autonomia, bisogna trovare il coraggio di mettere subito 'in situazione' i bambini (parliamo di scuola primaria), facendo emergere pensieri e interpretazioni dalle cose che hanno sotto gli occhi e che possono fare con le mani. L'età degli alunni di scuola primaria suggerisce, infatti, un approccio alle scienze di tipo 'fenomenologico' rivolto a osservare alcuni semplici fenomeni che fanno parte dell'esperienza spontanea degli alunni. Descrivendo queste esperienze il ragazzo supera percezioni ancora soggettive per passare ai primi tentativi di oggettivazione. Oppure – nella scuola secondaria – possiamo abbozzare ipotesi con i ragazzi e

vederne l'evoluzione in laboratorio o direttamente 'sul terreno'. Se l'insegnante è veramente convinto che la realtà dei fatti è obiettivamente complessa, che le semplificazioni didattiche spesso non semplificano affatto tale complessità, che il pensiero dei ragazzi è capace di affrontare problemi 'veri', che l'esperienza maturata ha permesso loro di farsi idee efficaci e radicate su quello che hanno intorno, allora il docente può permettersi di sviluppare un curricolo fondato sui bisogni formativi e sulle capacità di conoscenza della sua classe particolare.

Per acquisire competenze (cioè per saper utilizzare il proprio sapere), servono conoscenze ristrutturate in modo funzionale, non più organizzate in forma di elenco programmatico, bensì raccolte in modo finalizzato, disponibili all'uso contingente. E il curricolo, inteso come percorso cognitivo che si sviluppa e si arricchisce negli anni, può snodarsi in tappe di maggiore o minore efficacia, ma deve tendere all'acquisizione di alcuni (pochi) concetti essenziali e, soprattutto, sviluppare quelle importanti strategie di pensiero che permettano ai ragazzi, divenuti ormai grandi, di proseguire da soli, di interrogarsi sui fenomeni con la possibilità di trovare risposte sempre alla loro portata, ma via via più complesse.

I curricoli di formazione scientifica rimandano, dunque, a *percorsi* molteplici e differenziati che si snodano in un ampio *spazio* culturale, di cui si possano esplorare di volta in volta aspetti (non solo disciplinari) diversi. Ma devono potersi modulare anche su *tempi* differenziati: l'esplorazione e la generazione di nuove conoscenze richiedono sia spinte motivazionali, che portano ad andare avanti rapidamente, sia momenti di sosta, adatti per il ripensamento e la stabilizzazione delle conoscenze.

In questa prospettiva, i docenti sono chiamati ad organizzare, sui vari argomenti, itinerari differenziati, flessibili e comunque non esaustivi, articolati in tappe da percorrere insieme ai ragazzi, misurando su di loro le difficoltà e i tempi necessari. I team di insegnanti condividono la responsabilità nella scelta e nell'intreccio di tali itinerari, adottando metodologie di programmazione non competitive ma solidali; adeguano le loro competenze disciplinari e didattiche ai bisogni di ragazzi che crescono; prefigurano contesti di apprendimento estesi nel tempo, mettendo fin dall'inizio delle basi solide che, in una prospettiva longitudinale, permetteranno di superare difficoltà future. In una prospettiva di sviluppo progressivo, l'insegnamento dovrà stimolare l'acquisizione di competenze, ma anche la voglia di superarle, spingendo sempre un po' più avanti i ragazzi nella loro 'zona prossimale', verso nuove capacità e nuovi approfondimenti. Proprio perché non si tratta di percorsi lineari, fondati sull'assorbimento più o meno duraturo di nozioni, sono importanti i collegamenti tra saperi disciplinari diversi ed è importante valorizzare esperienze di vita e non solo scolastiche. "L'autonomia di pensiero, la coerenza interpretativa e i ragionamenti 'indiziari' sono alla base dell'intero metodo sperimentale: infatti, serve una notevole elasticità mentale per fare collegamenti tra situazioni diverse, per sviluppare metafore più o meno ardite, per trovare regolarità e regole che spiegano e fanno capire fenomeni complicati. Ed ogni vero esperimento scientifico nasce dalla capacità di decontestualizzare un problema, di semplificarlo e schematizzarlo per risolverlo almeno parzialmente, di ricontestualizzare poi la soluzione trovata alla situazione da spiegare" (M. Arcà, 2002).

In questa stagione le scuole stanno cimentandosi nella costruzione di Unità di apprendimento, scelgono i contenuti da svilupparsi in verticale, in modo da declinare gli obiettivi specifici sulle reali esigenze dei propri allievi. Tale lavoro dovrebbe consentire di precisare *come* si affrontano le discipline scientifiche, quali sono gli approcci e i metodi più idonei, come realizzare il passaggio – ritenuto cruciale – dalla centralità della disciplina alla *centralità dell'alunno*, quali *linguaggi e contenuti* privilegiare, quali *gli strumenti* più opportuni per portare i ragazzi a contatto con la realtà per costruire modelli culturali a partire dai problemi osservati, come promuovere una pratica laboratoriale e selezionare metodi attivi e coinvolgenti, atti a suscitare nessi e collegamenti interdisciplinari.

La questione della scelta dei contenuti appare questione delicata vista la scarsità delle ore settimanali. Si ritiene che i contenuti selezionati debbano essere pochi, connessi con una logica sequenziale, accessibili agli studenti; mentre i concetti fondamentali dovranno essere ripresi in tutto il percorso scolastico.

Le Unità di apprendimento dovrebbero esplicitare i modelli scientifici sottesi e i criteri didattici su cui sono costruite, in modo da cogliere come possano tradursi, nell'attività specifica di classe, i diversi elementi positivi riscontrati a livello generale nei documenti ministeriali.

Il cuore della costruzione curricolare si ritrova, quindi, nel compito delle istituzioni scolastiche e dei docenti di "progettare le Unità di apprendimento. Queste partono da obiettivi formativi adatti e significativi per i singoli allievi, definiti anche con i relativi standard di apprendimento, si sviluppano mediante appositi percorsi di metodo e di contenuto e valutano, alla fine, sia il livello delle conoscenze e delle abilità acquisite, sia se e quanto esse abbiano maturato le competenze personali di ciascun allievo" (Indicazioni nazionali per la scuola primaria).

In concreto si tratterà di esemplificare modalità e strategie per realizzare una triangolazione efficace tra gli obiettivi (generali, specifici e formativi) dell'area scientifica che abbia al centro quale vero protagonista il soggetto che apprende, la sua storia e le sue potenzialità.

Il ruolo attivo del soggetto che apprende

Al centro del curricolo (e in particolare nel curricolo scientifico) c'è il soggetto, la persona che costruisce, anzi autocostruisce, il suo percorso di apprendimento. Il grande spostamento nel focus della progettazione curricolare è appunto dalle discipline o dai

saperi al soggetto che quei saperi deve legare e interiorizzare. Dal sapere al modo di costruire il sapere, all'autocostruzione dei processi di conoscenza. In realtà anche in passato c'era la consapevolezza di quanto sia fondamentale che il ragazzo partecipi alla costruzione del suo percorso formativo, perché altrimenti, perdendo il soggetto, perdiamo il vero protagonista dell'avventura educativa. Oggi questa consapevolezza è divenuta pervasiva.

Accanto all'asse portante delle discipline, che restano il fulcro culturale del curricolo, si affianca quello che Lucio Guasti ha chiamato asse o 'criterio antropologico', vale
a dire l'indiscussa centralità del soggetto che apprende. In quanto, scrive il nostro autore "al curricolo tradizionale è mancata l'intenzione di mettere il soggetto nella condizione di essere un protagonista della sua cultura, cioè di imparare a liberare le sue 'energie vitali'. Si è pensato che un buon corso di studi con buoni contenuti fosse, di per
sé, sufficiente a formare un buon allievo. Non è così e la storia dimostra che il cambiamento nella direzione del protagonismo del soggetto è diventato un nuovo imperativo categorico della formazione".

Sia l'educazione ambientale, sia l'educazione scientifica tendono a riconoscere il ruolo centrale dell'esperienza nella costruzione del sapere e delle competenze.

Oggi il concetto di apprendimento appare nella sua reale natura di processo che coinvolge il soggetto e le sue esperienze. Di fronte alla certezza che una persona nel corso della vita non potrà che accostarsi a una porzione molto limitata dello scibile, è sempre più aperta la questione di quali siano i reali bisogni formativi per il presente e il futuro. Si tratta, in ogni caso, di imparare a imparare lungo l'arco dell'intera vita e tutti gli studiosi insistono sull'opportunità di rappresentare l'apprendimento come un fenomeno dinamico, sistemico, reticolare, che si sviluppa a partire da esperienze significative. Di grande importanza è dunque costruire ambienti educativi nei quali siano curate la dimensione laboratoriale e l'esplorazione della realtà ambientale, come spazi emblematici dove è possibile porsi domande legittime, guardare le cose con occhi nuovi, avanzare ipotesi, percorrere vie inesplorate. In questo senso, in ambito scolastico, è decisivo porre gli studenti a contatto con problemi di realtà che favoriscano il confronto con l'incertezza e la complessità, due dimensioni tipiche sia dell'educazione ambientale come delle discipline scientifiche, dove l'obiettivo prioritario non è solo l'acquisizione di conoscenze, ma anche la capacità di costruire (e ricostruire continuamente) un sapere in grado di far interagire dinamicamente il soggetto con il proprio ambiente di vita e di produrre (e sostenere) tangibili trasformazioni nella relazione uomo-ambiente.

Ecco allora la necessità di attivare *spazi-laboratorio* per la didattica delle scienze e dell'ambiente, così come testimoniato in tante positive esperienze scolastiche realizzate in questi anni per rinnovare la didattica e la ricerca disciplinare. D'altronde anche le recenti *Raccomandazioni* suggeriscono con forza l'opportunità di impostare il progetto formativo attraverso il sistematico utilizzo dei laboratori. Tra questi, al laboratorio

scientifico si riconosce una funzione fondamentale per fare dello studio delle scienze un momento di apprendimento sperimentale nel quale ad una conoscenza formale si accompagna, prima o dopo dipende dalla situazione specifica, una verifica o una dimostrazione pratica che consenta al fanciullo di percepire concretamente le dinamiche fondamentali dello studio scientifico e, soprattutto, di organizzare il proprio apprendimento attraverso un metodo scientifico reale che dall'osservazione della realtà, attraverso la descrizione e la raccolta dei dati, passi alla verifica attraverso opportune tecniche di indagine.

È un approccio che riconosce al soggetto che apprende una centralità e una multidimensionalità distintive e comporta la necessità di comunicare l'esperienza e condividerne la rielaborazione culturale. Quest'ultimo aspetto, in particolare, presuppone un ambiente sociale di riferimento e un circuito comunicativo. Proprio qui può inserirsi con efficacia un contesto educativo adeguato, caratterizzato da strategie di trasversalità e approccio sistemico, clima relazionale positivo (per pensare, esprimere, ascoltare, riflettere insieme), elementi di discontinuità, creatività e scoperta, approcci euristici fondati su esplorazione e ricerca, spazi e tempi per porre domande legittime, individuare soluzioni probabili, tentare la formalizzazione di concetti essenziali.

Disciplinarità/Interdisciplinarità

L'educazione ambientale tende a individuare nuovi rapporti tra campi disciplinari differenti privilegiando l'ottica interdisciplinare, in quanto nell'ambiente convivono i saperi sfaccettati che strutturano le diverse conoscenze disciplinari. L'ambiente sta alle discipline strettamente, come abbiamo visto, ed è in grado di suscitare un approccio particolarmente dinamico alla costruzione dei saperi, possiede inoltre una trasversalità più ampia, più ricca, rispetto ad altri punti di vista.

Poiché la conoscenza si organizza attraverso strategie che sono sempre dinamiche, l'ambiente ha una forza d'urto del tutto speciale e la immette dentro il curricolo – in particolare nel curricolo scientifico – diventandone un vero e proprio collante. Il laboratorio ambientale privilegia anche la dimensione dell'orientamento: orientamento del sè, orientamento dentro le discipline, orientamento nei contesti di vita, orientamento sul fare, orientamento al mondo del lavoro, sul modello di sviluppo, orientamento alla cittadinanza, secondo i vari livelli di età in cui si colloca l'azione formativa. Lavorare nell'ottica laboratoriale significa costruire azioni concrete e positive per l'ambiente. Tutto ciò suggerisce indirettamente un messaggio molto efficace al ragazzo in formazione, vale a dire che "si può intervenire sul mondo perché la nostra azione individuale non va perduta". Lavorare poi nell'ottica interdisciplinare può addirittura contribuire ad esaltare la specificità del contributo delle discipline scientifiche nel consolidamento di una buona formazione cognitiva.

Sino ai primi decenni del secolo scorso esisteva una separazione netta tra cultura umanistica e scientifica: le scienze esatte erano quelle fisiche e naturali, perché si attribuiva solo ai fenomeni che esse indagavano il preminente carattere della ricorrenza degli eventi, sul quale fondare le verità delle leggi scientifiche. Questo paradigma è entrato in crisi con l'affacciarsi degli studi e delle ricerche psicologiche e sociali, che hanno individuato una corrispondenza tra le dinamiche psicologiche della conoscenza del soggetto e il quadro dei saperi, come prodotti del processo conoscitivo dell'uomo. Si è riconosciuto che sia la conoscenza dell'uomo che il quadro dei fenomeni naturali sono esprimibili attraverso un processo dinamico che si svolge nel tempo, con momenti di consolidamento (strutturazioni) e cambiamento (trasformazioni), e unisce sempre più profondamente il soggetto che conosce e il mondo già conosciuto o da conoscere. Dalla fine degli anni '60, questa nuova concezione scientifica e culturale, tesa a scoprire relazioni significative tra discipline un tempo separate, ha trovato conferma nelle nuove visioni epistemologiche (Popper, Khun, Feverabend, Lakatos) e nelle rivoluzionarie teorie proposte nell'ambito della fisica e della biologia (Monod, Medawar, Prigogine), che hanno contribuito in modo determinante a rompere il tradizionale isolamento delle discipline e a costruire "concezioni organizzatrici che permettono di articolare i domini disciplinari in un sistema teorico comune" (Morin).

In questo contesto l'interdisciplinarità è diventata uno strumento interpretativo e metodologico irrinunciabile in campo educativo e ambientale, in quanto tale strumento stimola la capacità di osservazione dei fenomeni, la lettura sistemica delle variabili e dei processi interagenti, la problematizzazione dei processi osservati, l'individuazione di soluzioni possibili, l'esplicitazione dei modelli teorici adottati, la verifica e la trasferibilità dei metodi conoscitivi da un campo disciplinare all'altro, la costruzione di reti cognitive pertinenti, l'elaborazione di un pensiero evolutivo e critico, elementi strettamente costitutivi del sapere scientifico.

Bibliografia

AA.VV., La sostenibilità si può fare, VAS, Germania, 2005.

AA.VV., Quaderni di Pracatinat, Regione Piemonte, Torino.

- E. Aquilini, *I bambini e le definizioni scientifiche*, in "La chimica nella scuola", 5, 2002.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze. Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Bollati Boringhieri, Torino, 1995.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare scienze*, Bollati Boringhieri, Torino, 2000.
- G. Bateson, Mente e natura, Adelphi, Milano, 1984.
- G. Bateson, Verso una ecologia della mente, Adelphi, Milano, 1984.

- M. Bertacci, Ecologia Uomo, natura, mondo della produzione, Tecnodid, Napoli, 1992.
- M. Bertacci, Fare ecologia nella scuola elementare, Giunti-Lisciani, Teramo, 1989.
- M. Bertacci (a cura di), *L'educazione ambientale nella scuola dell'autonomia*, Cappelli, Bologna, 2000.
- M. Bertacci (a cura di), *Una scuola per l'ambiente*, Cappelli, Bologna, 2002.
- M. Bertacci (a cura di), *Una rete di scuole per lo sviluppo sostenibile*, Quaderni IN-FEA Emilia-Romagna, Bologna, 2004.
- P. Bonfante, F. Frabboni, L. Guerra, C. Sorlini, *Manuale di educazione ambientale*, Laterza, Bari, 1993.
- G. Calcherutti, A. Crippa, Oltre la solitudine nella scuola, F. Angeli, Milano, 1997.
- M. Callari Galli, F. Cambi, M. Ceruti, Formare alla complessità, prospettive dell'educazione nelle società globali, Carocci, Roma, 2003.
- V. Cogliati Dezza (a cura di), Un mondo tutto attaccato, Franco Angeli, Milano, 1994.
- C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo di scienze*?, in F. Cambi, *L'arcipelago dei saperi*, Le Monnier, Firenze, 2001.
- F. Frabboni, G. L. Zucchini, L'ambiente come alfabeto, La Nuova Italia, Firenze, 1985.
- M. Gagliardi, N. Grimellini Tomasini, B. Pecorari, *L'educazione alla conoscenza scientifica: un percorso che viene da lontano*, in "La fisica nella scuola", XXXII, 3, 1999.
- H. Gardner, La realtà inventata, Feltrinelli, Milano, 1988.
- F. Gattini, D. Salvatori (a cura di), *Schede per l'ambiente*, IRRSAE Toscana, Le Monnier, 1991.
- N. Grimellini Tomasini, G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze, 1991.
- ISFOL, R. Ammassari, M. T. Palleschi, *Educazione Ambientale: gli indicatori di quali- tà*, Franco Angeli, Milano, 1991.
- B. Losito, M. Mayer (a cura di), *Educazione ambientale: una sfida per l'innovazione, rapporto nazionale Ensi*, Frascati, Cede, 1995.
- M. Mayer, La competenza scientifica e funzionale nella scuola italiana: risultati dell'indagine PISA dell'OCSE, Le Scienze naturali nella scuola, Bollettino ANISN-XI, 2002.
- M. Mayer (a cura di), *Qualità della scuola ed ecosostenibilità*, Franco Angeli, Milano, 2003.
- M. Mayer (a cura di), *Una scuola per l'ambiente. Risultati di una ricerca promossa dall'OCSE*, "I Quaderni di Villa Falconieri", n.18, Frascati, Cede.
- C. Marchi Trevisi (a cura di), *Educazione ambientale e area di progetto*, IRRSAE Emilia-Romagna, M.P.I., Editcomp, Bologna, 1994.
- H. Maturana, F. Varela, L'albero della conoscenza, Garzanti, Milano, 1987.

- E. Morin, La vita della vita, Feltrinelli, Milano, 1987.
- E. Morin, *Il pensiero ecologico*, Hopefulmonster, Firenze, 1988.
- E. Morin, I sette saperi necessari all'educazione del futuro, R. Cortina, Milano, 2001.
- F. Olmi, *Contro la disattenzione del metodo*, in Didatticamente-La voce delle SSIS, 1, 2005, Ed. ETS, Pisa.
- E. Roletto, *Ripensare la natura dell'insegnamento scientifico*, Gruppo di didattica della chimica, Università di Torino, 1999.
- R. Semeraro, *Educazione ambientale, ecologia, istruzione,* Franco Angeli, Milano, 1988.
- G. Zanarini, *Immagini del sapere e formazione scientifica*, in "La fisica nella scuola", XXXV, 4, 1992.

PER UNA DISCUSSIONE SULL'INSEGNAMENTO DELLE SCIENZE OGGI IN ITALIA

Villi Demaldè

Premessa

Questo scritto intende fornire alcuni spunti di riflessione ed elementi di discussione sul complesso tema dell'insegnamento delle scienze, senza la pretesa di svilupparli in modo organico o ancor meno di esaurirli. L'esperienza di insegnamento svolta in ambito scientifico – e la conseguente riflessione – ha portato ad individuare alcuni punti chiavi e snodi fondamentali, offerti come contributo ad un dibattito.

La natura della scienza e il suo insegnamento

"La scienza è curiosità, scoprire cose e chiedersi perché. Perché è così? Indubbiamente la scienza è l'opposto del nozionismo. La scienza pone le domande del perché e del come, e pertanto è un processo di formulazione di domande, non di acquisizione di informazioni. Dobbiamo sempre cominciare formulando domande, non dando risposte. Dobbiamo creare interesse per le cose, per i fenomeni e per i processi. (...) Per prima cosa si deve creare uno stato mentale che brama la conoscenza, l'interesse e la meraviglia. (...) Poi dobbiamo aiutare i ragazzi a trovare la conoscenza, dando suggerimenti, guidandoli, suscitando domande (...)".

Il brano di Viktor Weisskopf descrive una visione della scienza e del suo insegnamento estremamente suggestivi. In controtendenza rispetto ad una pubblicistica e ad una divulgazione largamente diffuse, incentrate su una visione parcellizzata e utilitaristica della scienza come qualcosa destinato agli *addetti ai lavori* e di cui il grande pubblico non può conoscere se non le sue conclusioni, spesso banalizzate, o le sue applicazioni, Weisskopf sottolinea lo stretto legame tra l'attività scientifica – e quindi il suo insegnamento e gli aspetti strutturali della personalità umana – e quindi anche dell'alunno. In particolare egli evidenzia quella *curiosità* che si esprime già nel bambino attraverso gli innumerevoli 'perché...?' che egli formula, e che è un'autentica *sete di conoscenza*. In tale visione, la scienza, intesa in senso lato, è risposta a tale esigenza.

¹ V. Weisskopkf, *Il privilegio di essere un fisico*, Jaca Book, Milano, 1994.

Se la situazione fosse semplicemente quella appena descritta, nessun problema di motivazione si dovrebbe porre a chi insegna una qualsiasi disciplina scientifica e a chi la deve apprendere. La realtà, purtroppo, è in genere ben diversa, e spesso lo studio delle materie scientifiche – la matematica, la fisica, la chimica, la biologia, le scienze della Terra – è vissuto faticosamente sia dai docenti sia dai discenti. Un senso di estraneità, quando non addirittura di inutilità, ne accompagna l'insegnamento e l'apprendimento. E ciò appare tanto più paradossale se si pensa alla considerazione di cui gode in generale la scienza nella nostra società, al gran numero di riviste e di trasmissioni televisive ad essa dedicate; tali elementi vanno poi di pari passo – in un ulteriore paradosso – con il crollo di iscrizioni che si registra ormai in quasi tutte le facoltà scientifiche italiane.

Le ragioni per studiare le scienze: 'Fatti non foste a viver come bruti...'

Il problema della *motivazione* diviene così un fattore determinante l'efficacia dell'azione dell'insegnante. 'Perché studiare le materie scientifiche?' diviene allora una domanda che, se non è formulata in termini sterilmente polemici o pregiudizialmente scettici, può guidare l'azione del docente e sostenere l'impegno dello studente. Con essa occorre confrontarsi in maniera leale, accettando la sfida che essa lancia a chiunque voglia o debba farsi carico del difficile compito dell'insegnamento. Non sono possibili, qui, facili scorciatoie, tanto più che gli studenti d'oggi non sono in genere disposti – giustamente! – ad accettare imposizioni immotivate. Occorre, in altri termini, che l'insegnante risponda innanzitutto *per se stesso* alla domanda posta, avendo ben chiare le ragioni profonde e quindi l'utilità per i propri alunni di ciò che insegna e di come lo insegna, non in senso generico ma pertinente al loro vissuto. Del resto, una simile domanda se la può e se la deve porre ogni docente, qualsiasi disciplina egli insegni.

Le risposte possibili sono molteplici, ma possono essere per lo più raccolte in alcune tipologie: a) le conoscenze scientifiche fanno parte del bagaglio culturale di base (la più generica delle tre), b) queste conoscenze servono per la prosecuzione degli studi, c) queste conoscenze servono per la professione. Tali risposte sono sostanzialmente tutte vere, ma il più delle volte non 'intercettano' l'interesse dei ragazzi e sono comunque lontane dal loro *presente*, inteso molto prosaicamente come la lezione in classe, l'attività di laboratorio, lo studio a casa. Esse tendono, infatti, a individuare la ragione dell'impegno richiesto in qualcosa che è collocato in un futuro non ben definito. Occorre invece che la ragione per cui si studia sia legata all'oggi dell'alunno, alla sua esperienza di persona in crescita. Illuminante a riguardo è quanto afferma il matematico Carlo Felice Manara: "Se pensiamo che valga la pena di insegnare la scienza perché serve, perché oggi non se ne può fare a meno, siamo in un'ottica positivista-strumentalista, nella quale l'obiettivo resterà quello di far apprendere un sapere, che è fondamentalmente un complesso di conoscenze organizzato in giudizi; peggio ancora

si mirerà soprattutto ad una saper fare. (...) Se concepiamo invece l'insegnamento scientifico come educativo, non si può che avere chiara consapevolezza dell'istanza originaria della scienza come desiderio di conoscenza, avventura della ragione alla ricerca di un significato e di un senso. (...) Fare scienza non è applicare solo la ragione deduttiva, considerata la sorgente massima di certezza, bensì mettere in moto la ragione nella sua globalità. (...) Lo scienziato è colui che mira ad allargare la propria conoscenza vera al di là della semplice verità immediata e vuole usare a questo scopo la propria razionalità nelle forme più adeguate che l'oggetto stesso da conoscere richiede"².

La ragione adeguata per lo studio, delle discipline scientifiche come di qualunque altra forma di sapere, non può allora che essere di carattere educativo, se per educazione intendiamo l'introduzione del giovane alla realtà tutta. Introduzione che, per essere veramente tale, deve essere pienamente ragionevole, deve essere cioè attuata secondo la totalità dei fattori che costituiscono la realtà stessa. Poiché la realtà di cui ci è dato fare esperienza è anche quella fisica, materiale – ciò che è misurabile, quantificabile, descrivibile secondo i metodi propri della scienza – non la si può quindi conoscere in modo conforme alla ragione, che è esigenza di spiegazione totale, se non utilizzando anche i concetti e i metodi propri delle discipline scientifiche. Alcuni esempi. Per capire perché il bicarbonato fa passare i bruciori di stomaco, o perché il ferro arrugginisce all'aria umida, occorre usare i concetti e gli strumenti della chimica; per capire il perché un chiodo per potersi piantare deve avere la punta, mentre con le racchette ai piedi non si affonda nella neve, o ancora perché per fare bollire prima l'acqua nella pentola la si debba coprire, occorre la fisica; per capire come il latte inacidisce, o il succo d'uva fermenta per dare il vino, occorre la biologia. Lo studio delle scienze risponde quindi ad un'esigenza originaria della persona, che è quella della conoscenza, secondo i celebri versi di Dante: "Considerate la vostra semenza: / fatti non foste a viver come bruti, / ma per seguir virtute e canoscenza"³.

Valenze educative, culturali e didattiche dell'insegnamento delle scienze

Didattica delle scienze ed educazione

Se l'insegnamento/apprendimento delle scienze rientra a pieno titolo in un più generale percorso educativo, di formazione globale della persona, qual è il suo *specifico*? Quali atteggiamenti e attitudini tende a sviluppare nel giovane? Indicandoli per sommi capi, essi si possono così riassumere.

Attenzione alla realtà, riconoscimento del suo valore: solo se la realtà, tutto ciò che esiste – i fiori, le stelle, gli alberi e gli animali, i sassi e i microbi, l'aria e l'acqua – ha

² C. F. Manara, *Parlare di scienza o fare scienza? - Atti del I Convegno nazionale SEED*, Ce.Se.D., Milano, 1995.

³ D. Alighieri, *Inferno*, Canto XXVI, 118-120.

un valore in sé, indipendentemente dall'uso che se ne può fare, può valere la pena impegnare tempo ed energie per studiarla, per conoscerla.

Realismo in campo scientifico: la realtà ci appare sorprendentemente ricca (si pensi alla fisica subatomica, o alla complessità dei viventi), quasi sfuggente ai diversi tentativi di incasellarla in comodi schemi, ma allo stesso tempo si offre, si potrebbe dire si concede, alla nostra conoscenza. Il metodo, però, cioè la strada attraverso cui tale conoscenza si acquisisce, è imposta dall'oggetto. Non si può pensare di conoscere un qualsiasi fenomeno se non accettando che sia il fenomeno stesso a stabilire i modi attraverso cui possiamo giungere alla sua conoscenza.

Prevalenza del dato: nel metodo scientifico un passaggio fondamentale è quello della verifica sperimentale, in cui – semplificando ma rispettando la natura di tale metodo – l'ultima parola spetta al risultato, al dato inteso come risposta che il fenomeno o l'oggetto studiato dà quando è opportunamente interrogato dallo sperimentatore. In questo procedimento sono le teorie, le idee a doversi piegare ai fatti, e non viceversa. Teorie geniali, o semplicemente necessarie per una spiegazione razionale del mondo alla luce di quanto già conosciuto e accettato – si pensi al calorico o all'etere in fisica, al flogisto per spiegare la combustione o alla teoria della forza vitale agli albori della chimica organica – sono state abbandonate perché smentite dai fatti, cioè dai dati sperimentali. Da questo punto di vista il metodo scientifico è il contrario dell'ideologia, che pretende al contrario di piegare, anche con la violenza, i fatti alle idee. La scienza insegna invece a essere leali con il dato dell'esperienza.

Educazione alla critica: un'istruzione scientifica, correttamente intesa e praticata, è un'ottima palestra per formare i giovani ad un sano senso critico, alla buona abitudine di interrogarsi sul perché delle cose e a paragonare le affermazioni ascoltate con la realtà, a iniziare da quella particolare realtà che ciascuno di noi è nei confronti di se stesso.

La didattica delle scienze: un esempio

Se finora si è affrontato in termini generali il problema dell'insegnamento delle scienze, occorre a questo punto entrare nello specifico delle singole discipline. La didattica di ogni disciplina, scientifica o meno, è infatti determinata dalla natura della disciplina stessa, cioè dalla struttura del particolare sapere o, più precisamente, della particolare "tradizione di ricerca che si esercita su un oggetto e che circoscrive una comunità scientifica". Gli esempi che qui sono riportati sono riferiti in modo particolare alla chimica, ma possono valere anche per la fisica e, mutatis mutandis, anche per discipline più complesse come le scienze biologiche o quelle della Terra, tutte comunque essenziali per lo studio dell'insieme dei problemi legati in qualche modo all'ambiente.

⁴ E. Rigotti, *Il linguaggio nella didattica delle discipline*, in: *Il linguaggio nella didattica delle discipline scientifiche. Approfondimenti*, Ce.se.d., Milano, 1994.

La natura della chimica

La chimica è una disciplina sperimentale. Ciò significa che l'indagine chimica segue il metodo scientifico, in cui un ruolo centrale – seppure non unico – è giocato dall'esperimento. In ciò la chimica è simile ad altre scienze sperimentali, in particolare alla fisica, al punto che il grande Ernest Rutherford la considerava una sorta di branca della fisica. La chimica ricorre a tutta una serie di grandezze di natura fisica quali la densità, i punti di fusione e di ebollizione ecc., per caratterizzare le sostanze e per evidenziarne le trasformazioni. Queste grandezze *macroscopiche* sono la somma o la media delle corrispondenti grandezze su scala microscopica, cioè molecolare, che non sono direttamente accessibili. Questo duplice livello (macro e microscopico) a cui il chimico si trova ad operare può rendere conto della maggiore difficoltà ad astrarre che si incontra in chimica rispetto a quanto avviene, ad esempio in fisica, in cui – specie in campi come la meccanica o la termodinamica – il livello microscopico può essere ignorato senza pregiudicare con ciò la descrizione e la comprensione del fenomeno in esame.

Le leggi formulate come quelle di Lavoisier, Proust, Dalton, Gay-Lussac, Avogadro, Faraday ecc., sono leggi *empiriche*, cioè generalizzazioni di regolarità e correlazioni osservate nei dati sperimentali, formulate in termini matematici. In ciò la chimica è accomunabile ad altre discipline, in particolare alla fisica.

L'uso di modelli, quali ad esempio quello di sostanza pura, di elemento, di radicale, che pure esiste anche in chimica, evidenzia un'importante differenza con quanto avviene ad esempio in fisica, in cui si tende in genere ad adottare un modello del sistema in esame ab initio, sul quale impostare poi il lavoro sperimentale (si pensi alla dinamica del cosiddetto punto materiale, alla descrizione del moto di un pendolo attraverso il cosiddetto pendolo semplice ecc.). La chimica, al contrario, individua in genere un modello come estrapolazione di un certo comportamento reale. Ciò dipende dalla difficoltà di individuare gli aspetti fondamentali di fenomeni che, studiati a livello macroscopico, avvengono sempre, in realtà, su scala microscopica. In chimica, quindi, aspetti teorici e pratici sono intimamente connessi ed interdipendenti, non solo per le applicazioni che trovano le conoscenze teoriche, ma per il ruolo che gli aspetti pratici e operativi hanno nella definizione stessa dei concetti chimici basilari. Tale consapevolezza era presente già al suo costituirsi come scienza sul finire del XVIII secolo. Nel 1795, il chimico francese Antoine François Fourcroy, collaboratore del grande Lavoisier, nella Chimie scriveva: "La divisione [...] in chimica teorica e chimica pratica, ammessa da diversi autori, è falsa e dannosa. Non vi è autentica chimica senza la riunione delle due. È impossibile trovare una teoria chimica senza fare delle esperienze, così come è impossibile fare della pratica chimica senza trarne dei risultati, l'insieme dei quali costituisce autenticamente la teoria. Separare ed isolare queste due branche vorrebbe dire far ricorso alla immaginazione e alla invenzione nella creazione della dottrina, e, di conseguenza, introdurre nella scienza i romanzi e le finzioni; ciò vorrebbe dire ridurre

coloro che si occupano di esperienze alle condizioni di manovali, mentre essi sono i veri sostegni, i veri creatori della chimica, la quale senza i loro lavori non può né sussistere né perfezionarsi". Il brano citato mostra l'importanza del rapporto tra pratica e teoria chimica secondo uno dei protagonisti di questa scienza in quel tempo.

Un esempio di questo stretto rapporto sono le *definizioni operative* di cui la chimica, specie ai suoi inizi, è ricca. La definizione di sostanza pura deriva così, per estrapolazione, dall'applicazione delle tecniche di separazione: è sostanza pura un materiale non più separabile in altri componenti mediante queste tecniche (decantazione, filtrazione, centrifugazione, distillazione). Quella di elemento, formulata da Boyle nel 1661, deriva invece dall'uso delle reazioni di decomposizione: un elemento è una sostanza pura non decomponibile mediante tali reazioni. È da notare che in questo modo, prima che si sviluppasse la moderna teoria atomica, il carattere di elemento era attribuito ad una sostanza solo in maniera provvisoria. Ancora nel 1802, infatti, si sosteneva che "Il chimico è ben lungi dal pretendere ch'essi [gli elementi] siano assolutamente semplici e quindi non formati d'elementi più semplici, e questi pure d'altri elementi più semplici ancora. Egli vuol dire solamente che in tutte le esperienze della chimica questi corpi si comportano come semplici, non si alterano, cioè non si decompongono, si conservano identici".

Sviluppo storico, dimensioni costitutive e percorsi didattici

La chimica, come del resto le altre scienze, si è sviluppata secondo un percorso in cui ogni nuova scoperta ha approfondito quelle precedenti e ha aperto la strada a ulteriori conquiste. In questo senso, ogni concetto non ha tanto significato per se stesso, o per le sue implicazioni pratiche, quanto piuttosto all'interno del cammino di conoscenza compiuto dagli scienziati: il percorso concettuale di una scienza si costruisce sul suo percorso storico. Lo sviluppo storico di ciascuna scienza è, allo stesso tempo, uno sviluppo di fatti: risultati sperimentali, spesso inattesi, hanno segnato svolte cruciali nello sviluppo teorico.

Le due dimensioni, quella storica e quella sperimentale, sono tra loro inscindibilmente unite, perché ogni scienza procede attraverso una serie di domande, le cui risposte aprono ad altre domande che a loro volta portano a nuove scoperte, in un processo
che non conosce fine. Ciò accade nel tempo, in un certo contesto, che è influenzato da
ciò che avviene in tutto l'ambito scientifico e lo influenza a sua volta. Parlare di sviluppo storico, quindi, non significa aggiungere un elemento in più allo sviluppo della
scienza in sé e per sé, citare nomi di scienziati e date di scoperte, ma descriverlo nell'unico modo adeguato, che è quello che tiene conto di tutte le dimensioni di quel particolare sapere, così come esso si è andato costituendo. Quello che si prende in esame,
in altri termini, è lo sviluppo *storico* di una scienza *sperimentale*.

⁵ A. F. Fourcroy, *Chimie*, 1795, cit in: A. Di Meo, *Storia della chimica*, Newton, Roma, 1994.

⁶ V. Dandolo, Fondamenti della scienza chimico-fisica, Napoli 1802, cit. in: L. Paoloni, Le trame concettuali delle discipline scientifiche, La Nuova Italia, Firenze, 1985.

Volendo individuare un possibile criterio didattico per un percorso di studio, occorre osservare che quello descritto è l'unico criterio inerente la natura stessa della disciplina; ogni altro criterio adottato, infatti, sia esso basato sulla semplificazione dei concetti, sull'addestramento operativo in laboratorio, sullo svolgimento di calcoli, sulla semplice memorizzazione dei contenuti, sarà necessariamente esterno, estraneo alla disciplina stessa. Tenendo presenti le dimensioni costitutive della chimica, quella storica e quella sperimentale, è possibile invece costruire dei percorsi didattici ad esempio per la chimica di base che siano efficaci per lo studio della disciplina e adeguati alla capacità di comprensione degli studenti. Essi permettono di affrontare i diversi argomenti sia nel significato specifico (teorico, pratico o applicativo), sia per il loro valore culturale e scientifico. Un esempio di questo approccio riguarda le cosiddette leggi classiche della chimica, cioè quella di Lavoisier sulla conservazione della massa, quella di Proust sulle proporzioni costanti e quella di Dalton sulle proporzioni multiple. Esse, in molti testi di chimica 'moderni', fino a non molti anni fa, venivano ignorate, in quanto ritenute direttamente derivanti dalla natura atomica della materia, mentre, in realtà, hanno portato gli scienziati all'idea di atomo come ente che mantiene la sua identità in una reazione. Dal punto di vista didattico, lo studio di queste leggi consente di introdurre in modo graduale, non forzato e accessibile agli studenti, la teoria atomica come ipotesi esplicativa delle evidenze sperimentali che si andavano accumulando tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo, sottolineando allo stesso tempo il ruolo dei modelli nella chimica. In questo caso, il percorso storico può efficacemente diventare anche un percorso didattico.

Dimensione sperimentale e pratica del laboratorio

Parlando di dimensione sperimentale il pensiero va immediatamente all'attività di laboratorio. Ciò è sostanzialmente corretto, se si pensa che già nel 1928, quindi all'indomani della riforma Gentile, R. Olivieri scriveva: "La chimica è scienza sperimentale e non si insegna proficuamente se non col sussidio dell'esperienza (...) perché, ripeto, la chimica o si insegna sperimentalmente o non si insegna".

Il lavoro sperimentale inizia prima di entrare nel laboratorio vero e proprio e si conclude dopo il termine della attività pratica. Nell'esperimento è in gioco infatti una sintesi di teoria e realizzazione pratico-strumentale. Infatti, un'attività di laboratorio che non si voglia ridurre a momento slegato dal resto del lavoro, deve comprendere questi fasi:

- inquadramento dell'aspetto concettuale generale entro cui si collocano le leggi generali;
- elaborazione di un possibile procedimento sperimentale;
- individuazione dei parametri da osservare o misurare;

⁷ R. Olivieri, *L'insegnamento della chimica*, in "Annali dell'istruzione media", 4, 1928.

- esecuzione delle prove (osservazioni o misure);
- elaborazione dei risultati;
- relazione sul lavoro svolto, secondo uno schema non puramente descrittivo, ma logico (come racconto di un'esperienza).

Questo percorso, che è unico, può però essere declinato in vari modi, e mantiene la sua valenza culturale e didattica anche se, per ragioni di tempo o di opportunità, se ne compia solo una parte, purché ciò avvenga nell'ambito di quella che abbiamo chiamato dimensione sperimentale. Il laboratorio può quindi essere svolto secondo diverse modalità, che sono riconducibili a tre tipologie di approccio.

- 1. Illustrativo o applicativo: l'attività di laboratorio, svolta sia dal docente che dagli alunni, risulta impostata come esemplificazione di fenomeni, applicazione o 'verifica' di leggi e teorie, già illustrati e spiegati in classe; i ragazzi possono così 'vedere' e 'toccare' la realtà dei fenomeni che hanno studiato.
- 2. Problematico: il momento del laboratorio, anche svolto dal docente, si colloca all'inizio di un tema o argomento, suscitando un 'problema', cioè fornendo spunti e suggerimenti per domande su cui impostare il successivo sviluppo teorico.
- 3. Inserito all'interno dello sviluppo del discorso: il momento del laboratorio è quello in cui, dopo aver delineato il problema da affrontare, si imposta un esperimento tale da poter fornire risposte alle domande emerse, che a loro volta potranno aprire nuove questioni e così via.

Questa classificazione non è però una graduatoria di merito; all'interno dell'unico approccio – quello sperimentale – ognuno di questi momenti può avere una ragione d'essere ed una utilità notevole. Ciò che conta è il rapporto che il momento del laboratorio ha con lo sviluppo degli argomenti, anche se esso svolge solo alcune parti del metodo delineato. Il laboratorio può perciò, legittimamente, avere sia un intendimento dimostrativo, che deduttivo che, ancora, induttivo.

La dimensione sperimentale, tuttavia, non si esaurisce nell'attività di laboratorio vera e propria. Essa infatti può e deve essere sempre presente in un percorso didattico che voglia rispettare, come detto in precedenza, la natura e la genesi del sapere scientifico. Essa può ad esempio essere colta anche dalla lettura di un articolo scientifico, magari di qualche scienziato del passato, e dal tentativo di ripetere un esperimento storico. Quello del laboratorio diventa così uno spazio metodologico in cui si progetta l'attività e si ripercorre lo sviluppo che la disciplina ha avuto nel tempo, rivisitando l'esperienza dei maestri nel passato. È in ogni caso importante partire da una domanda con cui 'interrogare' il particolare aspetto della realtà, perché, come scrive Rosalind Driver, "Finché le osservazioni non servono a rispondere a una domanda posta con chiarezza è possibile che i ragazzi non registrino accuratamente quello che vedono 8".

⁸ R. Driver, L'allievo come scienziato, Zanichelli, Bologna, 1988.

Il ruolo e la responsabilità del docente

Se uno dei poli tra cui può scoccare la scintilla dell'interesse e dell'impegno è l'utilità – riconosciuta – per il ragazzo di studiare le discipline scientifiche come occasione e possibilità di incontrare, scoprire e capire ciò che lo circonda, l'altro è la posizione del docente: una dinamica positiva può scattare negli alunni se è presente e operante nell'insegnante. È l'interesse che egli trasmette nel comunicare un certo contenuto, prima ancora che il contenuto stesso, che suscita interesse anche nell'interlocutore. Occorre quindi che il docente abbia un'*ipotesi personale positiva* con cui entrare in classe a parlare di atomi, di batteri o di clima; questa è, normalmente, la condizione per cui lo studio di una materia scientifica – ma anche ogni altra – può essere un'affascinante avventura di scoperta. Può essere, e non in ogni caso è, perché non si deve mai dimenticare che è ad una libertà in azione – quella dell'allievo – che ci si rivolge.

Questo percorso di incontro e di scoperta della realtà è bene riassunto nell'espressione del matematico Hans Freundenthal *reinvenzione guidata*⁹. Non si tratta qui di reinventare la scienza o i contenuti delle discipline, ma il *fare scienza*, cioè il modo con cui ci si pone davanti ai contenuti. Si tratta in altre parole di guidare lo studente a scoprire e ad acquisire in modo personale i concetti e i fondamenti (logici e metodologici) delle disciplina che si insegna. Se l'attenzione è posta sullo studente e sul cammino che egli compie per apprendere, non sull'obiettivo da raggiungere, l'insegnamento non è la comunicazione di contenuti perché questi si accumulino, o vengano ripetuti con le parole dell'insegnante, ma la proposta di un percorso in cui essi vengono man mano scoperti, e i punti chiave delle discipline sono compresi e man mano inseriti in un orizzonte via via più ampio, fino a comprenderne il significato.

La condizione necessaria perché ciò si realizzi è che esista e sia riconosciuto da docente e discenti un vero da comunicare, anche nella sua accezione provvisoria e in divenire di verità scientifica, un frammento di conoscenza autentica della realtà che li possa convincere che *ne vale la pena*.

⁹ H. Freundenthal, *Ripensando l'educazione matematica*, La Scuola, Brescia, 1994.

IL SENTIERO DELL'ATMOSFERA: MONTE CIMONE

Paolo Bonasoni, Paolo Cristofanelli

Introduzione

Il mondo della ricerca, e nel nostro caso quello riguardante lo studio della fisica e della chimica dell'atmosfera, ha come scopo principale quello di cercare risposte a problematiche scientifiche ed ambientali sempre più complesse. Esso, tuttavia, non si sottrae al compito di stimolare la riflessione e la discussione su temi legati all'ambiente, ed in particolare all'inquinamento ed al clima. In questo ambito esiste un particolare impegno affinché l'evidenza sperimentale acquisita e le indicazioni derivanti dall'applicazione di modelli previsionali sempre più attendibili possano raggiungere anche il mondo della scuola, dell'università ed in generale quello della educazione ambientale. A ciò cerca di contribuire anche l'ISAC - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ed in questo ambito l'attività di ricerca svolta a Monte Cimone, nell'Appennino modenese, non si sottrae a quello che benissimo esprime il concetto legato alle aule del territorio. Queste aule, che divengono luoghi didattici per lo studio delle scienze, sono per noi i laboratori ove prende corpo la ricerca legata allo studio dell'Atmosfera, del Clima e dell'Inquinamento. Ciò esprime una valenza didattica multidisciplinare ed interdisciplinare, in cui gli studenti sono chiamati a superare i confini delle singole materie stimolando il ragionamento sia ai fini dello studio personale che della comunicazione con gli altri. Proprio in questo ambito l'attività di ricerca scientifica che coinvolge la Stazione di Ricerca di Monte Cimone ha suscitato negli anni scorsi l'interesse di diverse scuole, desiderose di conoscere 'dove e come nascono' le misure per studiare l'inquinamento ed il clima, misure strettamente connesse ai modelli previsionali utilizzati nello studio dei cambiamenti climatici e per favorire scelte adeguate nelle strategie mirate ad arginare l'inquinamento atmosferico.

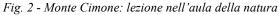
Ecco perchè è nato il 'Sentiero dell'Atmosfera'. Esso costituisce un itinerario didattico-ambientale che, percorrendo le pendici nord-ovest del Monte Cimone, introduce ai 'segreti' dell'atmosfera e del clima che cambia. Questo avviene grazie a dieci punti informativi disseminati lungo il Sentiero ed alla possibilità di visitare sulla vetta, a 2.165 metri di quota, la Stazione di Ricerca Scientifica 'Ottavio Vittori' del Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Osservatorio Meteo del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare CAMM – Monte Cimone. Il Sentiero è stato ufficialmente inaugurato il 20

giugno 2004, preceduto dal convegno 'Quattro passi nel clima che cambia' tenutosi il giorno precedente alla Rocca di Sestola (Mo).

Il Sentiero dell'Atmosfera non è tuttavia solo una non difficile arrampicata in alta quota. Esso è nato per permettere agli studenti di allargare i propri orizzonti conoscitivi frequentando questa *aula del territorio* in modo da divenire sempre più consapevoli che l'atmosfera è un bene comune che tutti sono chiamati a salvaguardare. Questa iniziativa può inoltre essere di aiuto agli studenti stessi per una scelta più consapevole, relativa al futuro orientamento scolastico ed universitario nell'ambito delle discipline scientifiche.

I primi passi del Sentiero dell'Atmosfera

Durante una delle visite alla Stazione di Ricerca a Monte Cimone, gli studenti di un Istituto superiore di Modena rimasero colpiti, oltre che dal paesaggio, dal fatto che non riuscivano a riconoscere dall'alto la città della pianura da cui essi provenivano, perchè resa praticamente invisibile dall'atmosfera che la ricopriva, tutt'altro che 'pulita'. Avevano raggiunto la vetta del monte curiosi di scoprire come si misura lo stato di salute dell'atmosfera o dove e come vengono misurati quei gas e quei composti che contribuiscono a definire lo stato del clima, ma la loro attenzione fu innanzitutto rivolta a capire cosa si respirava laggiù, in pianura, ove l'inquinamento era così diffuso. Questa riflessione fu la prima grande lezione, non scritta sui testi scolastici, che 'il maestro Cimone' aveva impartito ai ragazzi.





Nacque così l'idea di creare un itinerario didattico che, muovendo i primi passi in classe, introducesse alla conoscenza dell'atmosfera, della sua fragilità e dei problemi ad essa correlati e rendesse possibile far conoscere (una volta arrivati sulla vetta), in che modo e con quali strumenti *nascono* le misure per studiare il clima e l'atmosfera.

In questo modo è nato 'Il Sentiero dell'Atmosfera': nel silenzio della Montagna e lontano dall'inquinamento della burocrazia, grazie all'impegno ed alla collaborazione di CNR, Parco del Frignano, Aeronautica Militare, Associazione Vecchia Filanda, ARPA e Regione Emilia-Romagna.

Gli aspetti didattici

L'attività didattica svolta in questo ambito è rivolta a classi di ogni ordine e grado, anche se oltre il 70% degli studenti che hanno partecipato all'iniziativa frequentano le scuole superiori. Questa attività non ha la presunzione di essere un corso esaustivo o specialistico sui temi dell'inquinamento e del clima. Infatti, si può ad esempio accennare alla riduzione di visibilità che l'inquinamento provoca in atmosfera, parlando dell'attenuazione dovuta ai processi di *scattering* ed assorbimento prodotti da un'atmosfera contenente elevate concentrazioni di gas e particelle inquinanti, lasciando agli insegnanti la possibilità di approfondire le tematiche che ritengono più adeguate al programma che svolgono.

Incontrando i ragazzi in classe, si vuole innanzitutto presentare loro come l'Atmosfera che circonda la Terra (in proporzione spessa e fragile come la buccia che circonda la mela) manifesti seri problemi a causa delle crescenti emissioni antropiche di sostanze inquinanti e climalteranti. Proprio le informazioni su queste sostanze, misurate nel Laboratorio a Monte Cimone, concretizzano l'attività didattica in questa particolare *aula del territorio*. Un'opportunità veramente unica: entrare in un Laboratorio ad oltre 2000 metri di quota per conoscere gli strumenti, i sensori e gli analizzatori utilizzati per lo studio del clima cercando di comprendere i principi scientifici su cui si basano le misure, oltre agli aspetti legati all'acquisizione, trasmissione ed elaborazione dei dati.

Come si è detto, l'attività didattica da noi svolta sul Sentiero dell'Atmosfera, vuole accompagnare studenti ed insegnanti nei primi passi di un percorso che deve portare chi lo percorre alla consapevolezza, come diceva Ottavio Vittori (illustre studioso dell'atmosfera, carissimo nostro collega e maestro a cui è intitolato il Laboratorio CNR di Monte Cimone), che "la ricerca non è un'attività alla quale dedicare parte della giornata, quanto piuttosto un modo di vivere". Ecco, questo modo di vivere deve oggi più che mai essere fatto proprio sopratutto da questi studenti e dalle giovani generazioni, chiamate nel concreto a difendere quel bene prezioso che è l'atmosfera e l'ambiente che ci circonda.

Se in termini di ricerca scientifica la Stazione di Ricerca nel suo complesso è in

funzione 365 giorni l'anno, la parte didattica che coinvolge le scuole è purtroppo, fino ad ora, limitata al periodo che va dalla tarda primavera all'inizio dell'autunno, quando il Sentiero dell'Atmosfera è percorribile in sicurezza. Può inoltre succedere che, in caso di maltempo, anche durante questo periodo si sia impossibilitati a percorrere il Sentiero e ad accedere ai laboratori per le visite. Sebbene a prima vista ciò possa apparire come un aspetto negativo, tuttavia può aiutarci a riflettere sul fatto che in montagna esiste ancora un ben definito primato della natura sull'uomo, il quale non può pretendere sempre ed ad ogni costo il dominio su di essa.

Un ultimo aspetto didattico rilevante: alle classi che hanno percorso il Sentiero dell'Atmosfera è data la possibilità di presentare in un apposito convegno quanto hanno studiato ed elaborato a scuola, partendo dagli spunti che l'itinerario didattico ha fornito agli studenti ed ai loro professori. Il primo di questi appuntamenti si è tenuto il 14 aprile di quest'anno a Bologna, presso l'Area di Ricerca del CNR, nell'ambito della XV Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica (promossa dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca), durante la quale i laboratori e gli istituti di ricerca hanno aperto le porte ai visitatori ed alle scuole. In quell'occasione gli studenti degli Istituti tecnici industriali 'Belluzzi' di Bologna e 'Fermi' di Modena e dell'Istituto di istruzione superiore Calvi di Finale Emilia (Mo) hanno presentato i loro lavori di classe, chiamati così ad essere non più spettatori passivi, ma relatori di un convegno, con tutto quello che questo comporta. A questo appuntamento i ragazzi sono arrivati con presentazioni curate e sicuramente originali, che nulla avevano da invidiare a quelle dei relatori che li avevano preceduti. Queste loro comunicazioni hanno testimoniato che i temi riguardanti l'ambiente e l'atmosfera, sia a scala 'locale' che 'globale', non sono rimasti lettera morta sui libri di scuola ma, anche grazie a Monte Cimone ed al suo Sentiero, sono entrati in loro come '... un modo di vivere'.

La ricerca scientifica ad alta quota: l'esperienza di Monte Cimone

Con i suoi 2.165 metri s.l.m., Monte Cimone costituisce il 'cocuzzolo' più alto dell'Appennino settentrionale, ben visibile quindi da tantissimi luoghi, fatte salve le condizioni meteorologiche e d'inquinamento atmosferico. Infatti, la cappa di smog che noi contribuiamo a generare e che sempre più frequentemente ricopre la vasta pianura padana ci nasconde spesso questa cartolina della natura. Se in simili giornate ci trovassimo invece proprio sulla vetta di Monte Cimone, sarebbe molto più semplice scorgere le Alpi che si stagliano all'orizzonte sopra l'inquinata pianura, che non le principali città che la popolano, facili da individuare quando il vento si porta via nubi ed inquinamento. Un accurato studio, eseguito nel secolo scorso dall'Ing. Galassini del Politecnico di Torino per disegnare il Grande Orizzonte del Monte Cimone, riportava che dalla vetta sono visibili i 4/10 del territorio nazionale, potendo scorgere il Monviso e le Alpi

svizzere, oltre alle montagne dell'Istria, della Corsica o dell'Appennino centrale. A quei tempi l'atmosfera godeva ancora di una salute sufficientemente buona e l'inquinamento era molto contenuto. Oggi questa atmosfera inquinata, di cui tanto si parla e che raccogliendo le emissioni di inquinanti diviene responsabile del cambiamento del clima, questa atmosfera che vanta un'infinità di nemici, trova un inaspettato alleato nel Monte Cimone.



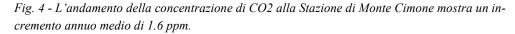
Fig. 3 - La Stazione di Ricerca 'Ottavio Vittori' durante l'inverno sul Monte Cimone

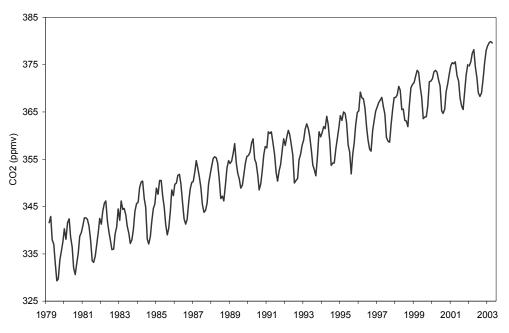
Infatti, sulla vetta di questa montagna esiste, a fianco dello storico Osservatorio del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, la Stazione di Ricerca 'Ottavio Vittori' del CNR - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, in cui si 'misura il polso del clima e lo stato di salute dell'atmosfera'. Questo avviene anche grazie a programmi di monitoraggio svolti in collaborazione con il Laboratorio di Radiochimica Ambientale dell'Università di Bologna, la Facoltà di Scienze Ambientali dell'Università di Urbino, l'istituto *Joint Researche Centre* di Ispra. Queste ricerche svolte in alta quota permettono di valutare il grado di estensione dell'inquinamento atmosferico su ampie regioni spaziali, contribuendo a fornire un quadro della composizione atmosferica a scala globale, al fine di migliorare la comprensione degli effetti dell'inquinamento. Ovviamente ciò non sarebbe possibile se le misure di composti atmosferici fossero eseguite in vicinanza di sorgenti d'inquinamento, quali le aree urbane ed industriali o in aree influenzate direttamente da queste emissioni.

L'attività del laboratorio serve quindi a valutare lo *stato di salute* dell'atmosfera in condizioni di fondo e per migliorare la conoscenza di fenomeni che possono influenzarne le caratteristiche chimico-fisiche e quindi i suoi cambiamenti nel tempo. Infatti, gli inquinanti che sono trasportati in atmosfera sono spesso soggetti a trasformazioni chimiche in grado di produrre altri inquinanti, definiti inquinanti secondari. Quindi, nei processi d'inquinamento atmosferico la complessità della meteorologia si combina con quella della chimica dell'atmosfera, facendo sì che sostanze inquinanti possano essere trasportate attraverso i confini delle singole nazioni, raggiungendo aree molto lontane dai luoghi di emissione. Questo ci porta a riflettere come in questo campo non esistono confini politici od amministrativi.

Buona parte di questi processi hanno luogo in libera troposfera, quella parte di atmosfera al di sopra dei 1000-1500 metri di quota e quindi al di sopra dello strato limite planetario, quello strato in cui spesso rimane confinata una grossa parte degli inquinanti emessi nelle aree urbane ed industriali. Per questo motivo, attività di monitoraggio inerenti ai cambiamenti della composizione dell'atmosfera richiedono misure effettuate al di sopra dello strato limite planetario e quindi lontano da fonti locali di inquinamento. Questa prerogativa è propria delle stazioni poste in alta quota, come la Stazione di Monte Cimone e di altre simili stazioni in Europa: Jungfraujoch - Svizzera, Zugspitze -Germania, Puy du Dome - Francia, Izaña - Spagna, Beo Moussala - Bulgaria e Sonnblick - Austria. La maggioranza di queste stazioni partecipa al programma Global Atmospheric Watch (GAW) del World Meteorological Organization (WMO), deputato al controllo dello stato di salute dell'atmosfera terrestre. In quest'ottica le misure eseguite presso la stazione di Monte Cimone assumono una particolare importanza. Infatti, tale sito di misura rappresenta una piattaforma ideale ed unica in Italia per monitorare e studiare le condizioni di fondo della troposfera a sud delle Alpi e della Pianura Padana. È proprio in troposfera, quello strato di atmosfera al di sotto dei 12-15 km di quota in cui la temperatura diminuisce mediamente di circa 6-7°C per chilometro e che contiene i 3/4 della massa atmosferica e quasi tutto il vapor d'acqua e gli aerosol, che hanno luogo i principali fenomeni atmosferici.

Grazie alle misure eseguite sin dagli anni '60 presso le stazioni di alta montagna, si è potuto ottenere una descrizione accurata dell'incremento globale delle concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera. Vale così la pena ricordare che le misure di CO₂, eseguite dal 1979 dall'Aeronautica Militare proprio sul Monte Cimone, costituiscono la serie storica più lunga disponibile oggi in Europa. Esse mostrano inequivocabilmente (vedi fig. 4) un aumento annuale di circa 1.6 ppm (parti per milione) della concentrazione di quello che è considerato il principale tra i gas serra.





L'utilità di questi studi

L'attività sperimentale della Stazione permette l'acquisizione di dati che non rimangono confinati nell'ambito delle singole Istituzioni che ne curano le misure. Essi sono resi disponibili alla comunità scientifica nazionale ed internazionale nell'ambito di progetti di ricerca e mediante il loro inserimento in appositi data-base. Come già accennato, dal 1979 le misure di CO₂ eseguite dall'Aeronautica Militare sono parte del programma GAW-WMO. Questo programma include anche le misure di ozono superficiale eseguite dal CNR sul Monte Cimone, una delle 80 stazioni nel mondo che partecipa al *World Data Centre for Greenhouse Gases - WDCG*G. La collaborazione con le altre stazioni d'alta quota per misure atmosferiche in condizioni di fondo avviene nell'ambito di progetti internazionali e nazionali che nell'ultimo decennio risultano essere oltre una quindicina (Votalp, TOR-2, Votalp II, Minatroc, Quilt, Staccato, Polpo, Aerocarb, Temis, Soge, Accent, ASI, Inrm, Motap, Ozomont, EV-K2-CNR, Ozomont2). Dagli studi condotti anche sulla base delle misure eseguite in queste stazioni,

così come dall'analisi delle serie storiche di questi dati, deriva un chiaro messaggio diretto ai governi Nazionali, all'Unione Europea ed agli altri Organismi internazionali, perché diano attuazione a quegli investimenti necessari affinché tali preziose attività possano proseguire nel futuro.

L'attività sperimentale eseguita presso la Stazione di Monte Cimone e le analisi condotte, tese a migliorare la conoscenza dei processi atmosferici e climatici del pianeta, riguardano molteplici studi, tra cui:

- formazione e trasporto su media e lunga distanza di sostanze inquinanti, spesso provenienti dalla Pianura padana e dall'Europa continentale; in questo ambito svolge un ruolo particolare l'ozono che, prodotto come *inquinante secondario* in aree urbane ed industriali ove elevate sono le emissioni di inquinanti primari (ossidi di azoto ed i-drocarburi), può essere poi trasportato in quota e raggiungere distanze ragguardevoli, spingendosi fino ad aree che si pensavano estranee a simili fenomeni;
- osservazioni e studi del bilancio del carbonio su scala regionale; sistema di osservazione dei cambiamenti climatici mediante l'analisi di misure continuative di gas climalteranti e responsabili dell'effetto serra; questa attività permette, tra l'altro, di valutare il rispetto in ambito europeo dei protocolli di Montreal e Kyoto inerenti le misure da adottare per fronteggiare i fenomeni di riscaldamento globale dell'atmosfera e della riduzione dello strato di ozono stratosferico (buco dell'ozono); infatti, oltre trenta diverse specie di questi gas tra cui CFC, HCFC, HALON (distruggono l'ozono stratosferico, produzione e consumo sono regolate dal Protocollo di Montreal), CO₂, HFC, PFC, SF6, CH4 (sono potenti gas serra, le emissioni sono controllate dal Protocollo di Kyoto) sono monitorate, in collaborazione con l'Università di Urbino, con sofisticati sistemi alle stazioni di Monte Cimone, Jungfraujoch, Mace Head e Ny Alesund;
- studio dei processi chimico-fisici che caratterizzano l'interazione tra aerosol minerale ed i composti presenti in libera troposfera; particolare interesse è rivolto alla presenza in troposfera di sabbia proveniente dal Sahara e di particelle ultrafini dovute all'inquinamento antropico, ivi compreso il 'black carbon';
- influenza degli scambi stratosfera-troposfera sui processi di trasporto e sulle capacità ossidative dell'atmosfera; un'accurata indagine pluriennale ha permesso di definire un attendibile assetto per l'area del Mediterraneo nord-orientale, riguardo al trasportato in troposfera di elevate concentrazioni di ozono provenienti dalla stratosfera (quella parte di atmosfera compresa fra i 12 ed i 50 km di quota, dove l'ozono viene naturalmente prodotto e svolge la sua indispensabile funzione di scudo alla radiazione ultravioletta più nociva, proteggendo così la vita del Pianeta Terra);
- osservazioni del contenuto colonnare atmosferico di ozono e biossido di azoto eseguite con uno spettrometro DOAS UV-Vis; queste consentono anche un'attività di confronto e validazione dei valori di concentrazione troposferica di NO₂ ottenuti da misure eseguite mediante sensori installati su satelliti, ad esempio ERS-2-GOME.

Come funziona la Stazione

La Stazione GAW di Monte Cimone è ospitata nelle strutture del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Presso l'Osservatorio Meteo dell'Aeronautica ha sede la stazione meteorologica ove, a seguito delle misure eseguite, sono giornalmente preparati i bollettini meteo; adiacente ad essa si trova il laboratorio per la misura in continuo della concentrazione di CO₂ atmosferica, laboratorio che soddisfa i più rigorosi standard internazionali di qualità. La Stazione di ricerca CNR 'O. Vittori', posta nelle vicinanze dell'Osservatorio Meteo, si sviluppa su due piani ove trovano posto quattro laboratori oltre ad una sala calcolo ed un terrazzo attrezzato per attività sperimentali. La Stazione dispone inoltre di sei posti letto che permettono di ospitare attività nell'ambito di campagne di misura nazionali od internazionali.

Tutti i laboratori soddisfano elevatissimi standard di qualità per le misure, per la sicurezza del personale e della strumentazione. Per quest'ultimo aspetto sono utilizzati tra l'altro: gabbie di Faraday, scaricatori a gas, trasformatori di isolamento, etc. La tecnologia studiata dal CNR appositamente per questo sito di misura (ove la temperatura può scendere sotto i -20 °C ed il vento soffiare ad oltre i 180 km/h) permette il funzionamento per 365 giorni l'anno, 24 ore su 24, della strumentazione e quindi delle attività di ricerca.

I sistemi da cui viene aspirata l'aria esterna, poi distribuita ai vari analizzatori per misurare la concentrazione dei diversi composti atmosferici, sono stati progettati in ambito CNR tenendo conto delle avverse condizioni meteo presenti, ivi compresa l'anomala formazione di ghiaccio durante i mesi invernali. Anche il software di gestione degli strumenti e di acquisizione dei dati è stato, fino ad ora, appositamente sviluppato dal CNR. La strumentazione lavora normalmente in modo automatico, sfruttando il collegamento satellitare a banda larga della Regione Emilia-Romagna (denominato Lepida), che permette in qualsiasi istante al personale tecnico/scientifico sia il controllo remoto della strumentazione, sia il regolare trasferimento dei dati presso la sede dell'Istituto ISAC-CNR di Bologna. Parte delle informazioni sono poi messe in rete in tempo reale e consultabili sul sito Internet ISAC-CNR della Stazione 'O. Vittori' all'indirizzo: http://www.isac.cnr.it.

... e per finire, un po' di storia

La vetta ha sempre attratto l'uomo a raggiungerla. Ne è prova la sua frequentazione fin dal periodo neo-eneolitico con il ritrovamento di oggetti litici per la caccia e per l'uso domestico, mentre la presenza dei Romani è testimoniata dal rinvenimento di monete risalenti sia alla Roma imperiale che repubblicana. Anticamente (sec. XIII) il Monte era chiamato 'Alpe de Lona' o 'Alpe de Nona', poi il nome divenne Monte Orientale e infine Monte Cimone, probabilmente ad indicare la spaziosa cima.

La prima ascensione documentata è del 1569 ad opera del Conte Guidinello Montecuccoli. Nel 1655 ne viene per la prima volta misurata l'altezza dai padri Riccioni e Grimaldi: 2.197m sul livello del mare. Nel 1671 è la volta del matematico Geminiano Montanari che per misurarne l'altezza usò, per la prima volta in Italia, il barometro, ripetendo così l'esperimento di Pascal eseguito nel 1648 sul Puy de Dome, in Francia (ove esiste ancor oggi un importante laboratorio per lo studio dell'atmosfera con cui la Stazione di Monte Cimone collabora). Nel 1675 sale in vetta il Duca di Modena, Francesco II d'Este. Nel 1816 il maggiore del Genio Giuseppe Carandini, costruisce sulla vetta una piccola ma robusta piramide atta ad eseguire rilevamenti per la realizzazione di una carta geografica di cui il Duca di Modena gli affidò la direzione. Questa piccola piramide (anticipatrice di quella ideata oltre 150 anni da Ardito Desio sulle pendici dell'Himalaya ad oltre 5.000m di quota) ospitò studiosi e scienziati fino al 1828.

Successivamente (1852) prende corpo il progetto d'innalzare una torre sulla vetta: essa doveva avere una forma piramidale in tre sezioni sovrapposte ma il progetto non fu mai realizzato. Il Parenti, autore del progetto precedente, ed il Tacchini, che istituì un osservatorio nel castello di Sestola nel 1886, riuscirono a convincere il Governo dell'importanza della costruzione di una Torre Osservatorio, ottenendone i finanziamenti necessari. Nel 1879 si costruirono le capanne di servizio e solo nel 1881 si posò la prima pietra della torre che venne terminata nel 1888: aveva forma esagonale, alta 14 metri con un perimetro di 38,40 metri. Purtroppo le potenzialità scientifiche della torre non furono mai sfruttate a fondo, ma la frequentazione della vetta ad opera di scienziati contribuì ugualmente a favorire lo svolgimento di ricerche e studi riguardanti l'atmosfera. Nella torre funzionarono un termoigrografo (strumento per registrare, nel tempo e su una cartina graduata, l'andamento della temperatura e dell'umidità dell'aria) e l'eliofanografo (strumento per registrare le ore di insolazione nell'arco della giornata). La torre iniziò il suo declino dal 1922, quando l'ing. Vaidemari, ultimo tenace studioso, andò in pensione. Nel 1934 fu restaurata dal Genio Civile ed utilizzata anche per esperimenti in campo televisivo. La torre, abbandonata, fu lasciata cadere durante l'ultima guerra. Una quarantina di anni prima fu realizzata ed inaugurata, nel 1908, la chiesetta dedicata alla Beata Vergine delle Nevi la cui festa, che ha luogo il 5 agosto, richiama ancora innumerevoli persone sulla vetta del Cimone.

Verso la fine degli anni trenta fu edificata dall'Aeronautica Militare una casermetta per ospitare i servizi di telecomunicazione e di meteorologia. Il 25 giugno 1939 fu inaugurato ed intitolato a *Gino Romualdi* il rifugio del Club Alpino Italiano, che sostituì le preesistenti capanne di ricovero del Cimone. Il rifugio, distrutto durante la seconda guerra mondiale e ricostruito nel 1947, passò nel 1950 all'Aeronautica, per motivi militari. Nello stesso anno l'Aeronautica istituì il servizio di assistenza radiogoniometrica al volo, per la ricerca della posizione degli aerei e per fornire informazioni meteo. Quattro anni dopo iniziarono gli studi sulla formazione della grandine e nel 1959 si ini-

ziò a studiare la nebbia. Nel 1964 iniziarono i primi studi sull'inquinamento atmosferico da ossido di carbonio con esperienze sulla corrosione di metalli. Nel 1967 si avviarono gli studi sulle piogge acide e nello stesso anno s'insediò il Genio militare dell'Aeronautica Americana. Nel 1979 iniziarono presso l'Osservatorio Meteo Militare le misure di CO₂.

Nel 1981, grazie all'opera del prof. Ottavio Vittori già comandante dell'Osservatorio Meteo del Cimone, direttore della sezione di Bologna dell'Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR di Roma ed in seguito primo direttore dell'Istituto FISBAT-CNR di Bologna, l'Aeronautica Militare ed il CNR stipularono una convenzione che prevedeva l'utilizzo per scopi scientifici da parte del CNR dell'ex-rifugio CAI. Nel 1991 presero l'avvio le prime attività sperimentali del CNR riguardanti misure continuative per lo studio dell'ozono troposferico. Negli anni successivi i locali adibiti a laboratorio furono ristruturati ed il 15 luglio 1998 la Stazione di Ricerca del CNR fu intitolata ad 'Ottavio Vittori'. Da allora, l'attività di ricerca scientifica condotta sul Monte Cimone ha permesso di partecipare e di ottenere finanziamenti nell'ambito di diversi progetti internazionali e nazionali facendo sì che la Stazione, inserita nel Parco Regionale del Frignano, sia annoverata tra le più importanti stazioni d'alta montagna coinvolte nello studio dell'atmosfera.

Conclusioni

Affidiamo le conclusioni di questa presentazione alle parole di Brunella Balestrazzi, un'insegnante che tra i primi ha 'percorso' il Sentiero dell'Atmosfera con i suoi studenti, e che così concludeva il suo intervento al convegno inaugurale di Sestola lo scorso anno: "La scuola può – in modo nuovo e più efficace, perché svolto in prima persona – educare le nuove generazioni a uno stile di vita diverso, più sobrio ma non per questo meno interessante, perché più consapevole e rispettoso dell'ambiente in cui ci muoviamo. In questo modo si possono preparare i giovani a dare risposte efficaci alle sfide ambientali che già ora ci troviamo a vivere e che dobbiamo imparare a gestire nel migliore dei modi, sapendo che tutto ciò in cui ci muoviamo, che respiriamo, che beviamo e che mangiamo ci è stato affidato non come un possesso indiscriminato, ma come un prestito da proteggere, da mantenere e da valorizzare per noi e per chi vivrà sulla terra dopo di noi".

Ecco, questo è l'augurio che noi facciamo a chi, nella scuola ma non solo, percorre il Sentiero dell'Atmosfera per arrivare a visitare questa magnifica *aula del territorio* che è la Stazione di Ricerca sul Monte Cimone. Possa questo cammino didattico invitarci ad essere parte attiva verso l'ambiente che ci circonda, evitando quell'assuefazione che troppe volte si impadronisce di noi.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica per la collaborazione.

Note tecniche sul Sentiero dell'Atmosfera

- Il Sentiero dell'Atmosfera si snoda su sentieri CAI.
- Dislivello: Pian Cavallaro-Monte Cimone 305 m.
- Tempo di percorrenza: 1-1.30 ore.
- Grado di difficoltà: facile, anche se per il dislivello, l'altitudine e le condizioni meteorologiche (che possono cambiare rapidamente) può risultare impegnativo.
 - Periodo: Maggio-Ottobre (dipende in questo caso dall'innevamento in alta quota).
 - Fonti di acqua sul percorso: Rifugio Ninfa (1504 m) e Fontana Bedini (1620)
- A chi si rivolge: a tutti, ma in particolare ad insegnanti e studenti (scuole di ogni ordine e grado) ed a quanti fanno proprio l'impegno per promuovere la salvaguardia dell'Atmosfera e dell'Ambiente che ci circonda

Come arrivare

Da Bologna, Modena o Pistoia arrivare a Sestola (1003 m s.l.m.), quindi seguire le indicazioni per Pian del Falco (1352 m) e Passo del Lupo. A questo punto, due sono le alternative:

- 1) dal vicino Lago della Ninfa, raggiunto il parcheggio, la strada asfaltata per Pian Cavallaro è chiusa da una sbarra, in quanto strada di servizio dell'Aeronautica Militare; si può proseguire il cammino in due modi: (a) seguire il sentiero CAI 441, percorrendo a piedi la strada all'interno dello splendido bosco di faggio, abete e larice fino alla Fontana Bedini (1620 m) e dal successivo tornante, seguire il sentiero CAI 441 sulla sinistra; (b) seguire il sentiero CAI 449 che parte dal Rifugio Forestale della Ninfa (1535 m), posto a pochi minuti dal Lago (risalire il bosco d'abete) e raggiunge Pian Cavallaro attraversando la cresta del Gallo.
- 2) da Passo del Lupo, raggiunto il parcheggio, si può salire a Pian Cavallaro in due modi: (c) con la funivia (verificare l'apertura dell'impianto) e percorrendo a piedi gli ultimi 300 m dall'arrivo della funivia; (d) seguendo il sentiero azzurro segnalato O, verso le 7 Fontane per il Lamaccione, raggiungendo il sentiero CAI 477 che dalle Polle porta a Pian Cavallaro.

Il Percorso

Il punto di partenza è Pian Cavallaro: da qui imboccare il sentiero CAI 449 che, percorrendo le pendici nord-ovest del monte, conduce sulla vetta del Cimone. Il ritorno a Pian Cavallaro avverrà o per il medesimo sentiero, o per il sentiero CAI 441 (in questo tratto chiamato anche 'la direttissima') o per il sentiero CAI 439, proseguendo poi sulla pista da sci del Cimoncino.

Informazioni

http://www.sentieroatmosfera.it/ o Parco Regionale del Frignano: tel. 0536 72134

Bibliografia

- *Il Sentiero dell'Atmosfera* Itinerario geomorfologico, Parco del Frignano. Pubblicazione promossa dal Parco Regionale dell'Alto Appennino Modenese.
- Il Sentiero dell'Atmosfera Quattro passi nel clima che cambia. ATTI del Convegno a cura di P. Bonasoni e D. Rafanelli, 19-20 giugno 2004, Sestola-Monte Cimone, Modena. Supplemento a ARPA Rivista, Anno VII, Luglio Agosto 2004.
- O. Vittori, Scienza di tutti i giorni raccolta di scritti, Ed. Lo Scarabeo, Bologna, 1992.
- C. Balboni, E. Balboni, L. Gherardi, 2000 anni di un 2000 il monte Cimone, Cooperativa E'Scamadul, Sestola, 1989
- A. Galassini, *Il Monte Cimone modenese ed il suo orizzonte*, Milano, Ed. CAI Modena, 1936.
- A. Marchiorri, L'Alto Appennino Modenese, Modena, Ed. CAI Modena, 1995.

UN'ESPERIENZA DI RICERCA SCIENTIFICA NELLA SCUOLA

Pantaleo Palmieri, Stefano Valli¹

Un'idea di scuola

"La scuola deve far sì che un giovane ne esca con una personalità armoniosa e non ridotto a uno specialista".

A. EINSTEIN

È opinione condivisa che l'impianto della scuola liceale, per come è articolato l'insieme delle discipline e per come, all'interno di ciascuna disciplina, i contenuti vengono selezionati, organizzati e scanditi nel tempo, abbia in sé e trasmetta di generazione in generazione il sapere, in termini di conoscenze, competenze e capacità, e insieme un'idea di uomo, di cittadino, di cultura.

Se ne spiega così la lunga 'tenuta': dal 1923 all'anno di grazia corrente, se si guarda al breve periodo; dalla *ratio studiorum* dei gesuiti ad oggi, passando per il modello napoleonico, se ci si pone in prospettiva storica.

È però da avvertire che a determinare la lunga 'tenuta' del modello liceale hanno concorso ragioni che non attengono propriamente all'impianto, la principale delle quali è senz'altro la condivisione sociale del modello stesso.

Una condivisione che ha espletato – impercettibilmente ma inesorabilmente, si direbbe – la sua azione in due diverse direzioni.

La prima: lo studente si è venuto a trovare all'interno di un percorso di studio e di formazione nel quale le attese familiari e sociali coincidevano perfettamente coi modelli educativi formativi e culturali proposti dall'istituzione scolastica, e quindi nelle condizioni migliori per l'apprendimento e per la formazione.

La seconda: trattandosi di modello condiviso, esso è stato sottoposto ad un continuo aggiornamento che, senza mai metterlo in discussione, lo ha piegato alle esigenze di generazioni diverse e lo rende, anno dopo anno, rispondente alle istanze di una società e di un sapere in continua evoluzione.

¹ Questo lavoro è stato concepito in stretta unità di intenti dai due autori. Pantaleo Palmieri ha scritto il primo paragrafo, Stefano Valli i rimanenti.

Tutto questo, naturalmente, là dove (diciamo, in generale, nelle città di provincia) le situazioni socio-ambientali hanno, dove più dove meno, preservato il modello liceale da quella deriva che, negli ultimi tempi, alimenta i lai dei *laudatores temporis acti*, occupa le pagine di cronaca, e da ultimo ha ispirato una narrativa di successo (da Mastrocola a Scurati).

Quest'idea di scuola liceale impronta il Piano dell'offerta formativa (POF) del Liceo Scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' di Forlì e trova espressione nel fatto che Dirigente e Docenti condividono l'impegno di rendere compatibile il regolare svolgimento dei programmi con un insieme di offerte formative e culturali. Senza che mai l'impegno richiesto agli studenti su un fronte, mettiamo quello quotidiano del seguire le lezioni e dello studio individuale, impedisca di aderire alle varie 'offerte'; cioè senza che mai, per esempio, l'aver partecipato a una conferenza li esoneri da un'interrogazione, o, viceversa, che il dover essere interrogati sia ragione per non partecipare alla conferenza. 'Offerte' che, rispondendo o sollecitando gli interessi di ciascuno, concorrono a scoprire un'autentica 'vocazione' (l'orientamento non può nascere se non 'dal' percorso di studi; il resto è fuorviante pubblicità o sterile pedagogismo). Sono quindi promosse (o autorizzate, quando a prendere l'iniziativa sono gli studenti) una serie di attività che aiutino gli studenti a trovare dentro la scuola spazio per esprimere i propri talenti (siano in ambito poetico, o musicale, o teatrale...) o le proprie abilità (si pensi in particolare a quelle informatiche); modalità tutte atte a sviluppare il senso di appartenenza alla scuola (e di conseguenza il rispetto delle regole della vita scolastica) e a rimotivare allo studio. Così come è sollecitata la partecipazione a conferenze, convegni, incontri con personalità del mondo della cultura, progetti di ricerca, ecc.

Le modalità operative, ormai collaudate, sono le seguenti: l'offerta è rivolta a tutti gli interessati (mai alla classe predestinata per volontà dell'insegnante) e si individua di volta un docente responsabile dell'iniziativa. Gli alunni, che liberamente si iscrivono, si assumono tutti gli impegni del caso, a cominciare da quello di non trascurare lo studio individuale, se l'impegno è pomeridiano; a recuperare attraverso gli appunti e l'aiuto dei compagni di classe la lezione persa, se l'impegno è in orario di lezione. Il docente responsabile, o con apposite lezioni o con la distribuzione di materiali propedeutici, si preoccupa di porre gli studenti nelle condizioni di fruire dell'iniziativa, sollecitando contemporaneamente i colleghi a promuoverne o favorirne la 'ricaduta' nelle classi.

Naturalmente settore privilegiato delle 'offerte' è l'ambito scientifico. Una lunga tradizione lega la Scuola all'Associazione culturale 'Nuova Civiltà delle Macchine', il cui Comitato scientifico, da Eduardo Boncinelli, didatta di straordinario fascino, a Umberto Bottazzini, a Vittorio Marchis..., è tra gli 'amici' del Liceo: è cioè tra le personalità la cui attività scientifica è seguita dagli studenti, o che gli studenti 'interpellano', in appositi incontri, sui grandi temi della ricerca scientifica.

All'interno di questa idea di scuola si colloca l'iniziativa che di seguito viene illustrata.

Il progetto 'La dinamica dell'atmosfera'

"...Esiste una passione per la comprensione proprio come esiste una passione per la musica... Senza di essa non ci sarebbero né la matematica né le altre scienze...".

A. Einstein

La passione per la comprensione, che porta ad approfondire discipline come la matematica e la fisica, oggi sembra essere in crisi. Lo testimonia la costante e drastica diminuzione delle iscrizioni alle facoltà scientifiche degli ultimi anni. Noi insegnanti di matematica e fisica di scuola superiore non possiamo eludere il problema; possiamo invece ragionare sull'efficacia della nostra didattica, non per rinunciare a metodologie tradizionali e collaudate dall'esperienza di anni di insegnamento, ma per affiancare ad esse, se possibile, nuovi percorsi formativi adeguati alla mutata fisionomia, intesa come aspettative, motivazioni, modalità d'apprendimento dello studente di oggi.

Ragionando su queste problematiche, nell'ambito dell'intesa in essere fra USR E-R e l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima ISAC-CNR di Bologna, con la collaborazione del dott. Franco Belosi, ricercatore presso ISAC-CNR ed esperto di polveri inquinanti in atmosfera, si è provato a comprendere il punto di vista dello studente che si avvicina al mondo della fisica. Egli si trova davanti a qualcosa di molto complesso, costituito da una grande varietà di formule e di simboli, ma anche di concetti e di significati più o meno espliciti che quei simboli astratti possono avere nella vita reale di tutti i giorni: la sfida che ne deriva può essere raccolta e risultare entusiasmante; oppure può essere respinta perché, in apparenza, troppo ingarbugliata. Non sembrano esserci vie di mezzo. Il problema, dunque, per noi operatori nella scuola, è incoraggiare lo studente a mettersi in gioco, convincerlo che i problemi scientifici che incontra nel suo percorso formativo possono essere affrontati per passione prima ancora che per dovere.

Il progetto 'La dinamica dell'atmosfera', avviato dall'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna e dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, in collaborazione con ARPA di Forlì, e realizzato presso il Liceo scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' di Forlì, è stato pensato per dare una possibile risposta a queste esigenze. L'idea di base era accostare lo studente al mondo della ricerca scientifica, che di solito egli considera lontana e inaccessibile, e favorire così un approccio alla fisica diretto, ravvicinato e coinvolgente; un approccio del tutto nuovo, di cui lo studente non può fare esperienza nella programmazione didattica ordinaria, se non in parte, ma con differenze sostanziali, che si esamineranno in seguito, nelle attività di laboratorio.

Il progetto, dal punto di vista temporale, ha coinvolto due anni scolastici, il 2003/04 e il 2004/05, ed è stato articolato in due fasi: la prima, un ciclo di lezioni di Fisica Am-

bientale, tenutesi nel periodo febbraio-marzo 2004 (tab. 4), è stata rivolta agli studenti e ai docenti delle scuole superiori del territorio; la seconda, un'attività di ricerca sul campionamento del particolato atmosferico PM2.5, coordinata scientificamente dal dott. Franco Belosi, è stata destinata specificatamente ad un gruppo di studenti del Liceo Scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' ed è stata realizzata nel periodo gennaio 2004 - febbraio 2005, con un'interruzione in corrispondenza delle vacanze estive.

Tab. 4 - Prima fase del progetto: ciclo di lezioni di Fisica Ambientale

T:4-1-	1 - 11 -	1:	_		1
Titolo	della	lezione	е	rei	latore

Cosa sono e come si misurano le polveri 'sottili'.

Dott. Franco Belosi (Primo Tecnologo Istituto ISAC-CNR)

Dove finisce ciò che immettiamo nell'aria? Dalla fisica teorica alle applicazioni.

Dott. Francesco Tampieri (Dirigente di Ricerca, Istituto ISAC-CNR)

Che tempo fa? Il problema delle previsioni meteorologiche.

Dott. Andrea Buzzi (Dirigente di Ricerca, Istituto ISAC-CNR)

L'aria che respiriamo a Forlì.

Dott.ssa Carla Nizzoli (ARPA - Sezione Provinciale di Forlì-Cesena)

Il clima e i suoi cambiamenti.

Prof. Franco Prodi (Direttore Istituto ISAC-CNR; Dip. di Fisica-Università di Ferrara)

Il contatto diretto con le motivazioni, i dubbi, gli entusiasmi e le difficoltà dei ragazzi coinvolti nell'esperienza, mi ha permesso di riflettere sull'efficacia didattica e formativa della ricerca intesa come disciplina a sé stante e, quindi, a prescindere dall'oggetto della ricerca stessa; nell'ultima parte si esporranno le conclusioni a cui sono giunto.

Obiettivi della ricerca

Quella svolta dagli studenti del Liceo Scientifico di Forlì è stata un'esperienza di ricerca vera e propria, nel senso che erano reali gli obiettivi scientifici da perseguire, e sono reali i risultati che essa ha prodotto.

È noto che il monitoraggio del PM10 è prassi consolidata da parte degli enti locali preposti alla tutela ambientale, mentre il controllo delle concentrazioni di PM2.5 risulta ancora in una fase iniziale e non è pienamente regolamentato a livello europeo per le attuali incertezze conoscitive. Lo scopo primario della ricerca consisteva nell'offrire un contributo per ridurre tali incertezze ed acquisire dati significativi per il territorio di Forlì. Il dott. Belosi, nel primo incontro con gli studenti nel gennaio 2004, durante il quale ha impartito le prime conoscenze sul problema delle polveri 'sottili' e le nozioni

fisiche utili per la comprensione del fenomeno, ha indicato nel dettaglio gli obiettivi che si volevano raggiungere: determinazione dei livelli di PM2.5 urbano; confronto fra metodologie di campionamento differenti (Agenzia di Protezione Ambientale, EPA, sviluppata negli Stati Uniti e Comitato di Normalizzazione Europeo, CEE, in via di definizione in Europa); stima dell'incidenza sul PM2.5 delle limitazioni al traffico; determinazione di possibili correlazioni tra le concentrazioni di PM2.5 e le condizioni atmosferiche.

Obiettivi semplici nella loro formulazione e di facile comprensione per tutti gli studenti partecipanti. Eravamo solo agli inizi dell'esperienza, ma già un punto era chiaro a tutti: la peculiarità della ricerca non sta solo nella definizione del problema scientifico o nella complessità delle ipotesi avanzate, quanto nella metodologia più opportuna da adottare in relazione al problema, alle ipotesi e ai vincoli oggettivi in cui ci si trova ad operare (strumentazione adeguata, per esempio); le prime questioni da affrontare, infatti, erano:

- stabilire quali azioni concrete si dovessero intraprendere;
- fissarne la scansione cronologica;
- reperire gli strumenti necessari per metterle in atto;
- acquisire confidenza con la strumentazione;
- assegnare a ciascuno il proprio ruolo operativo.

Strumentazione e materiali

Per misurare le concentrazioni di polveri 'sottili' sono stati impiegati due campionatori di particolato atmosferico PM2.5, basati su due differenti metodologie di prelievo; una americana (EPA), che prevede una duplice separazione dimensionale del particolato, con un primo taglio a 10 μ m e il taglio finale a 2.5 μ m, ed ha una portata di campionamento pari a 1 m³/h (24 m³ al giorno); l'altra europea (CEE), che prevede un solo taglio a 2.5 μ m ed ha una portata di 2.3 m³/h (quindi circa 55 m³ giornalieri).

Le differenti procedure con cui si ottengono le misure potrebbero determinare un comportamento diverso degli aerosol all'interno dei due campionatori e quindi un valore diverso di concentrazione di PM2.5 in funzione dello strumento utilizzato.

Poiché, come è stato detto, si volevano confrontare i risultati ottenuti con le due diverse procedure, i due strumenti, installati presso il Liceo Scientifico con le teste di prelievo posizionate su un terrazzo della scuola, sono stati disposti in parallelo. Entrambi, poi, sono stati equipaggiati con filtri in Polivinileloruro (PVC), in modo da avere filtranti poco sensibili all'umidità relativa e di costo contenuto. Le determinazioni analitiche sui filtri (pesata con bilancia a 5 cifre decimali) sono state svolte dai tecnici di ARPA – Sezione di Forlì-Cesena, così come le procedure per ridurre l'interferenza dell'umidità sui filtri stessi.

Il progetto ha previsto l'acquisto di una centralina meteorologica da parte del Liceo

Scientifico, utilizzata per indagare la relazione tra i livelli di concentrazione di PM2.5 e le condizioni atmosferiche. La centralina, munita di termometro, barometro, igrometro, pluviometro e anemometro, è stata collegata ad un personal computer, all'interno della rete informatica della scuola, per consentire l'acquisizione automatica dei dati e la loro memorizzazione attraverso un software specifico di interfacciamento. Il software utilizzato inizialmente, fornito insieme alla stazione meteo, ha presentato alcuni problemi nell'archiviazione dei dati; nel mese di settembre del 2005, si è deciso di sostituirlo con un altro (*Virtual Weather Station*) perfettamente compatibile con la centralina.

Le attività del gruppo di ricerca

Innanzitutto andava costituito il gruppo di ricerca attraverso una selezione degli studenti interessati. Va detto che l'idea di coinvolgere una singola classe, magari particolarmente meritevole, non ci sembrava la più opportuna (senza dire che avrebbe disatteso la prassi in uso nella scuola); pertanto l'iniziativa è stata illustrata, inizialmente, ad alcune classi del triennio, individuate con la collaborazione dei docenti delle discipline scientifiche. Considerata la durata del progetto, richiedevamo un'adesione motivata e un impegno serio e prolungato, che in nessun modo doveva condizionare il percorso formativo curricolare. La scelta di far parte del gruppo, quindi, doveva essere spontanea ed operata in modo ponderato e responsabile; è stato sottolineato spesso, ad esempio, come un'inadempienza da parte di uno solo in un compito assegnatogli, anche semplice, ma decisivo, potesse compromettere il lavoro di tutto il gruppo.

La proposta è stata accolta da 39 studenti appartenenti a sei classi diverse.

Il gruppo così formato è stato poi suddiviso in tre distinte aree di competenza: meteorologia, polveri, web.

Il 'gruppo meteorologia' doveva gestire tutte le azioni della ricerca relative ai dati meteorologici. I suoi compiti: verificare periodicamente il funzionamento dei sensori della centralina meteo attraverso il confronto con analoghi sensori e con i dati provenienti da siti disponibili in internet; studiare il trasferimento dei dati dalla centralina al computer ad essa collegato e le diverse modalità di archiviazione; elaborare i dati meteorologici mediante uno specifico software. Per tutto il primo periodo, da gennaio a giugno del 2004, constatati i problemi nel trasferimento dei dati dalla stazione meteo al computer, le attività del gruppo sono state concentrate sulle operazioni di *testing* della stazione (con la collaborazione del tecnico della scuola Antonio Icolari); questa fase di stallo, vissuta sul momento con un senso di rassegnazione e di frustrazione, ha aiutato in realtà gli studenti a raggiungere un livello appropriato di confidenza con lo strumento. Individuata poi la soluzione del problema con l'installazione del nuovo software, dall'inizio di settembre 2004 il gruppo ha incominciato ad archiviare in modo organizzato (un file di testo per ogni giorno) i valori registrati dai vari sensori a intervalli rego-

lari di 30 minuti, in modo da predisporli alle successive elaborazioni e, volendo, in futuro, anche per eventuali indagini statistiche.

Il 'gruppo polveri' si è occupato della gestione dei campionatori e dell'elaborazione dei dati relativi alle pesate dei filtri effettuate e comunicate da ARPA: in particolare le mansioni assegnate al gruppo erano: la sostituzione manuale dei filtri; la programmazione delle misure; la verifica della portata effettiva di prelievo giornaliero e l'applicazione della teoria degli errori ai dati ottenuti. È da sottolineare che le prime due operazioni, sostituzione dei filtri e programmazione delle misure, richiedevano una profonda confidenza con l'apparecchiatura e non potevano essere improvvisate da uno studente sprovvisto delle necessarie conoscenze; e, d'altra parte, era cruciale per noi il rispetto delle scadenze programmate (si voleva, ad esempio, che i campionamenti fossero effettuati a giorni alterni, tre volte la settimana e, in ogni caso, nella giornata del giovedì, giorno di limitazione del traffico urbano); perciò sono state formate squadre di quattro studenti ciascuna, opportunamente istruiti, in modo che ogni squadra, a turno, all'inizio o al termine delle lezioni o, alcune volte, durante l'intervallo (si evitava così un rientro pomeridiano), fosse impegnata in tali compiti una volta la settimana. Nel caso di impossibilità della squadra preposta, a causa di un'uscita scolastica dei componenti o di un compito in classe - per citare le eventualità più frequenti - il coordinatore incaricato della gestione del gruppo individuava una squadra di riserva che provvedeva agli adempimenti.

Attraverso questo tipo di organizzazione, lasciata alla piena autonomia degli studenti, essi hanno imparato ad affrontare con flessibilità e senso di responsabilità situazioni critiche, in un contesto generale basato su regole chiare e condivise.

Per dare il senso della serietà con cui è stato seguito il protocollo, basti ricordare che, in tutto il periodo di ricerca, non si è verificato nemmeno un caso di modifica del calendario delle misurazioni da addebitare ad una mancata programmazione della strumentazione, o ad una sostituzione dei filtri non avvenuta.

Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati, la costruzione di grafici e l'applicazione della teoria degli errori, i ragazzi hanno utilizzato fogli di calcolo Excel.

Il 'gruppo web', infine, ha curato le modalità di divulgazione di tutte le attività realizzate e della documentazione via via prodotta. A tal fine, è stata dedicata una sezione del sito della scuola all'intero progetto, riservata agli istituti del territorio che avevano aderito all'iniziativa; in questa area, accessibile solo mediante autenticazione, sono state pubblicate, tra l'altro, le presentazioni tramite computer delle lezioni di Fisica Ambientale tenutesi durante la prima fase, e sono 'scaricabili' i dati memorizzati giornalmente dalla centralina meteorologica. Gli studenti appartenenti a questo gruppo, inoltre, hanno allestito alcuni poster per presentare il lavoro in occasioni particolari di apertura della scuola verso l'esterno (Open Day, Settimana della Scienza).

La formazione dei gruppi è avvenuta in base a due criteri: soddisfare le richieste degli studenti e valorizzare le eventuali conoscenze e competenze che ognuno di loro

poteva mettere a disposizione del progetto. Il gruppo web, ad esempio, è stato guidato da ragazzi particolarmente abili o ricettivi in campo informatico; essi hanno contribuito a realizzare il servizio di autenticazione all'area riservata del sito della scuola utilizzando la programmazione in linguaggio Php e un database Mysql.

Naturalmente ogni gruppo, pur nella specificità delle proprie competenze, era chiamato a comunicare e ad interagire con gli altri gruppi e a lavorare in stretta collaborazione con i responsabili del progetto. Per questa ragione i tre gruppi erano riuniti periodicamente in incontri pomeridiani, durante i quali ciascuno riferiva sulle varie attività svolte, e quindi anche su eventuali difficoltà o imprevisti che si erano presentati. Così, prima di tutto, veniva verificata l'adesione al programma di lavoro e si interveniva, se necessario, per ridefinire strategie o per modificare in parte gli obiettivi; ciò è avvenuto, per esempio, quando abbiamo riscontrato problemi con il software di archiviazione dei dati acquistato insieme alla centralina meteorologica, il quale, nel primo periodo, non ci ha consentito di contare su valori attendibili riguardo all'intensità e alla direzione del vento e al quantitativo di pioggia.

La frequenza degli incontri con l'intero gruppo di ricerca è stata, ovviamente, più elevata nel periodo iniziale (da gennaio a maggio 2004 il gruppo si è riunito 10 volte); successivamente, risolte le problematiche relative alla strumentazione e acquisiti i metodi di ricerca in modo sempre più consapevole, i singoli gruppi hanno condotto le rispettive attività in piena autonomia e gli incontri collegiali si sono ridotti a una o due volte al mese.

Poiché volevamo che i ragazzi comprendessero a fondo i metodi propri di una ricerca scientifica e cercassero di metterli in pratica, in ogni incontro erano sottolineati quegli aspetti tipici del lavoro di ricerca che risultavano attinenti alle attività programmate per quel pomeriggio e che suggerivano l'atteggiamento da tenere durante le attività. Sono emersi principi di fondamentale importanza, non solo per questa specifica esperienza di ricerca, ma anche, più in generale, sotto l'aspetto formativo.

È stato evidenziato che prima di tutto un buon ricercatore deve essere consapevole di ciò che sta facendo e del contesto nel quale si inserisce la sua azione. È quindi necessaria la comprensione dei diversi aspetti e problemi inerenti alla ricerca svolta, poiché non è sufficiente avere buone abilità manuali se esse non sono accompagnate dalla conoscenza degli argomenti e delle finalità a cui tali abilità fanno riferimento; è necessaria inoltre la capacità, non scontata, di lavorare in gruppo e di interagire con gli altri, ricordando che le azioni messe in atto da ciascuno concorrono alla realizzazione degli obiettivi di tutto il gruppo; infine, è già stato detto, è necessaria una completa e non generica confidenza con la strumentazione scientifica che si utilizza, nel senso che, per avere una maggiore affidabilità sui dati raccolti, occorre conoscere nel dettaglio come tale strumentazione si comporta in tutte le possibili condizioni di impiego.

L'altro aspetto che un buon ricercatore non deve mai ignorare è l'attenzione alla realtà. Un dato stonato o del tutto imprevisto deve suscitare una riflessione sulle cause che possono averlo indotto e sui metodi utilizzati per la sua rilevazione. E pertanto i protocolli di misura e le pianificazioni delle misure stesse che vengono redatti all'inizio di ogni ricerca devono essere messi in discussione, e a volte modificati, alla luce dei risultati che le prove preliminari hanno fornito, in modo da mettere a punto la metodologia di lavoro più adeguata.

La ricerca dal punto di vista scientifico²

Entrando nello specifico dei contenuti e dei risultati della ricerca, il primo aspetto da considerare è senz'altro il modo in cui sono stati ottenuti i valori di concentrazione di PM2.5 con i due campionatori e l'analisi degli errori commessi. Il livello di concentrazione è stato determinato dividendo la massa depositata sul filtro, misurata da ARPA, per il volume effettivamente campionato e riferito alle condizioni normali (temperatura di 0°C e pressione atmosferica). Per il calcolo dell'errore, sono stati utilizzati i cosiddetti filtri 'bianchi'. Gli studenti del gruppo polveri hanno sostituito 11 filtri (8 nel febbraio 2004 e 3 nel gennaio 2005) nei due strumenti senza effettuare campionamenti, in modo che la differenza di peso dei filtri, prima e dopo la sostituzione, dipendesse esclusivamente dalla manipolazione. La differenza di massa è stata poi divisa per il volume di prelievo dei due campionatori (24m³ EPA, 55m³ CEE); il valore medio così ottenuto rappresentava la quantità da sottrarre alle concentrazioni calcolate precedentemente (sottrazione del bianco); esso è stato utilizzato anche come errore associato alla misura (tab. 5).

Tab. 5 - Misura dei filtri hianchi e determinazione degli errori

N. filtro	Differenza di massa (μg)	Concentrazione EPA (µg)	Concentrazione CEE (µg)
23	160	7	3
18	170	7	3
6	70	3	1
7	80	3	1
8	100	4	2
9	60	3	1
10	60	3	1
11	140	6	3
80	100	4	2
81	170	7	3
82	90	4	2
Media		5	2
	STD	1,8	0,8

² Vedere anche il contributo del dott. Belosi, coordinatore scientifico dell'esperienza.

Complessivamente sono stati misurati 24 valori di concentrazione con la metodologia americana e 27 con quella europea, ma il numero dei dati che possono considerarsi attendibili risulta rispettivamente 16 e 26 (fig. 5 e 6).

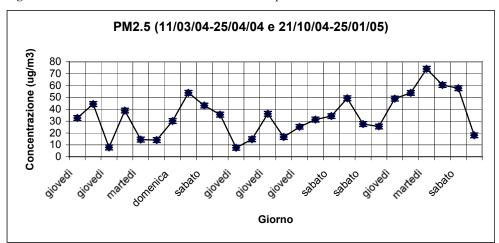
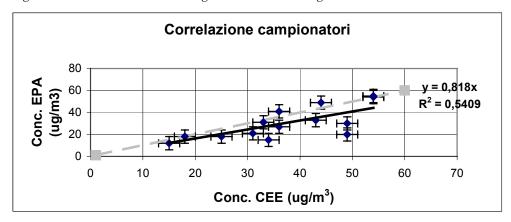


Fig. 5 - Concentrazioni di PM2.5 ottenute con il campionatore CEE





Per il confronto tra le due diverse metodologie di prelievo si sono cercate naturalmente le giornate nelle quali entrambi gli strumenti hanno fornito misure attendibili. Alla fine è stato possibile mettere in relazione 14 coppie di valori. La conclusione a cui si è pervenuti è che i due campionatori sono statisticamente diversi.

Riguardo alla stima di incidenza sui livelli di PM2.5 delle limitazioni al traffico urbano in vigore in alcune giornate del giovedì, è stato elaborato un grafico con i dati ricavati seguendo il protocollo CEE (fig. 7), dal quale emerge che la media complessiva dei valori di PM2.5 non si discosta dalla media dei valori registrati nelle giornate sottoposte ai vincoli restrittivi, né alla media dei valori registrati nelle rimanenti giornate. Il risultato è pienamente confermato se si utilizzano i dati determinati seguendo il protocollo EPA.

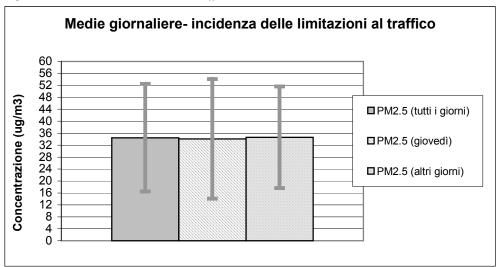


Fig. 7 - Incidenza delle limitazioni al traffico sul PM2.5

Infine, in merito alla relazione tra i livelli di concentrazione di particolato e le condizioni atmosferiche, la nostra ricerca non ha potuto fornire conclusioni scientificamente attendibili, a causa delle difficoltà incontrate soprattutto con le misure dell'intensità del vento. Dai pochi dati che è stato possibile confrontare, comunque, si osserva una diminuzione della concentrazione all'aumentare della velocità media del vento.

La ricerca dal punto di vista didattico e formativo

L'esperienza appena descritta è risultata altamente formativa per gli studenti che vi hanno preso parte, non solo per le conoscenze specifiche acquisite nel campo delle pol-

veri 'sottili', ma anche perché ha dato loro l'opportunità di assimilare metodologie e competenze fondamentali nello studio di qualsiasi materia scientifica.

Gli studenti hanno imparato che la ricerca è una vera e propria disciplina, con finalità e metodi che la caratterizzano, nella quale vi è l'essenza del metodo sperimentale; pertanto non ci si avvicina ad essa nello stesso modo in cui si studia la pagina di un manuale scolastico. Innanzitutto bisogna avere ben chiari quali sono gli obiettivi che si vogliono raggiungere e definirli in modo esplicito, così da sapere sempre qual è la direzione verso cui ci si sta muovendo. È importante sapere che cosa si sta facendo e perché. Quante volte, come insegnante di matematica e fisica, ho visto ragazzi in difficoltà ai quali era sufficiente porre un semplice quesito: 'che cosa dobbiamo ottenere?', perché superassero il momento di impaccio! Fondamentale nella ricerca, inoltre, è impostare un progetto di lavoro per il raggiungimento degli obiettivi, attraverso la definizione di un insieme di azioni e di regole che ognuno deve rispettare (modalità e tempi di realizzazione); ciò ha un'inevitabile ricaduta formativa sullo studente, il quale comprende l'importanza di programmare nel dettaglio le proprie attività, non lasciando niente al caso e all'improvvisazione.

C'è poi un aspetto educativo nel 'fare ricerca' che non può essere ignorato. È evidente che un'attività condotta in modo superficiale o incompleto porta a risultati non attendibili dal punto di vista scientifico e, poiché la ricerca si realizza attraverso le attività dei singoli, ognuno deve assumersi la responsabilità di ciò che è chiamato a svolgere; in questo senso, quindi, si favorisce un impegno serio e responsabile.

Nella ricerca i ragazzi si sentono protagonisti, perché hanno il controllo completo delle operazioni che svolgono e perché spesso le dirigono in prima persona. Non è facile individuare un'attività didattica equivalente da questo punto di vista, curricolare o extracurricolare che sia. Probabilmente ciò che più si avvicina alla ricerca vera e propria sono le esperienze di laboratorio di fisica, nelle quali ogni studente deve sperimentare in prima persona seguendo un progetto ben preciso; tuttavia, esiste una sottile differenza tra le due attività, poiché in laboratorio egli è guidato dall'insegnante verso la verifica di una legge già nota e, quindi, i risultati sono attesi: se, ad esempio, l'obiettivo consiste nel verificare la conservazione della quantità di moto in un urto tra due carrelli, alla fine dell'esperimento la quantità di moto deve essersi conservata. Nella ricerca, oltre ad un diverso ruolo di responsabilità dello studente e ad una differente complessità del progetto, c'è la capacità di interpretare risultati che non sono noti a priori.

Come ho già accennato, questa incertezza cognitiva richiede la massima attenzione verso la realtà. Spesso, negli esercizi di fisica che gli studenti risolvono in classe questa attenzione manca; a quanti insegnanti capita di imbattersi in una pallina da tennis la cui massa risulta uguale a 500 kg, o in una bicicletta che si muove alla velocità di 100 m/s! In una ricerca scientifica situazioni di questo tipo non si possono verificare, perché una delle attività che essa richiede è, appunto, la lettura critica dei risultati. Un approccio cri-

tico che permette di far fronte, con flessibilità, a situazioni impreviste fino a mettere in discussione il protocollo sperimentato e a formulare ipotesi diverse da quelle teorizzate.

È da rilevare, inoltre, come l'analisi dei dati costringa a rimanere per un tempo prolungato, con la mente, su particolari aspetti, a riflettere e a discutere approfonditamente sui problemi, favorendo un'assimilazione graduale, quasi osmotica, dei concetti che vi stanno alla base e, quindi, una conoscenza che dura nel tempo. Può anche succedere che una ricerca, alla fine, produca pochi risultati certi e definitivi, aprendo scenari per nuove indagini; anche in questo caso, comunque, essa rimarrà un'esperienza positiva nel processo formativo di chi ne è stato protagonista, perché ne avrà accresciuto il bagaglio culturale. Una prova concreta che posso riportare è l'incidenza didattica delle attività svolte nell'ambito della teoria degli errori, che abbiamo utilizzato durante il nostro lavoro. Nonostante essa sia sviluppata in tutti i corsi liceali al primo anno di insegnamento della fisica e sia messa in pratica, in generale con una buona risposta da parte degli alunni, nelle prime esperienze di laboratorio, ho notato serie difficoltà quando si è trattato di applicarla per rielaborare i dati sui filtri: in pratica i ragazzi non sapevano come adattare le loro conoscenze alla situazione contingente. Era come se, nella cultura degli studenti, l'aspetto scolastico, ortodosso e inattaccabile, e quello meno ufficiale, che si utilizza nella vita di tutti i giorni, non potessero essere sovrapposti o mescolati.

Dopo un breve ripasso su ciò che a noi interessava della teoria (errori sistematici, errori accidentali, incertezza di una misura, propagazione degli errori, distribuzione gaussiana delle misure e scarto quadratico medio), abbiamo ragionato su come essa poteva essere applicata ai problemi che avevamo di fronte, come ad esempio quelli della 'sottrazione del bianco', dell'errore commesso nella determinazione dei livelli di concentrazione, dei limiti di accettabilità delle misure. Ebbene, una volta individuata e compresa la procedura che meglio rispondeva alle nostre esigenze, i ragazzi hanno incominciato a lavorare con sicurezza, utilizzando in totale autonomia e con disinvoltura gli strumenti necessari per le loro rielaborazioni. Dopo oltre un anno, al termine delle attività, essi avevano raggiunto una completa padronanza, sia teorica che operativa, dei problemi attinenti agli errori di misura.

Vorrei evidenziare, inoltre, come nella ricerca si coniughino l'aspetto empirico e sperimentale con l'aspetto razionale e rigoroso; è vero che i risultati ottenuti sono soggetti ad errori più o meno consistenti, o addirittura non appaiono pienamente esaurienti, ma è altresì vero che essi devono essere filtrati da conoscenze scientificamente fondate e rielaborati attraverso procedimenti logici e deduttivi. Le capacità di portare l'indagine scientifica dal problema generale a quello particolare e, viceversa, di individuare il contesto generale che consente la corretta lettura di un risultato particolare, sono costantemente sollecitate in ogni tipo di ricerca. Si comprende bene, quindi, come essa abbia favorito, negli studenti, il consolidamento di quei metodi di lavoro che sono alla base dello studio di qualsiasi disciplina scientifica, come il metodo analitico e il metodo induttivo.

Un'ulteriore caratteristica che viene sviluppata è la disponibilità al confronto. L'atteggiamento, infatti, per essere costruttivo, deve essere di apertura verso il mondo esterno e di dialogo all'interno del gruppo. La verifica delle attività svolte deve avvenire, prima di tutto, attraverso la comunicazione e la discussione tra i gruppi di lavoro e, successivamente, attraverso un confronto con l'esterno. Se si ottengono dati incompatibili con altri dati affini, disponibili in letteratura o in Internet, o si perviene a conclusioni che contrastano con risultati accettati dalla comunità scientifica, allora è probabile un difetto nella strumentazione o un errore nel protocollo adottato.

Infine, vorrei sottolineare la pazienza e la tenacia mostrate dagli studenti protagonisti della ricerca in un'esperienza protrattasi oltre un anno. La costanza nell'impegno e la perseveranza nel seguire i metodi e le procedure sperimentali hanno caratterizzato il loro lavoro, anche quando gli obiettivi apparivano lontani e le difficoltà potevano prevalere sulle motivazioni. Nonostante tanta fatica, i risultati ottenuti al termine della ricerca sono sintetizzabili in poche tabelle e in pochi grafici. Spesso i manuali scolastici, nell'introdurre una legge sperimentale, non mettono in evidenza questi aspetti, così da dare l'impressione che i risultati presentati siano stati ottenuti facilmente, in breve tempo e senza intoppi. Questa esperienza ha permesso agli studenti di comprendere meglio quale sia il corretto approccio nei confronti dei manuali scolastici di ambito scientifico: come si debbano interpretare i dati sperimentali in essi contenuti e quali significati si possano individuare dietro le poche righe di spiegazione di una formula.

All'inizio ricordavo il crescente allontanamento dei giovani di oggi dalle discipline scientifiche. Iniziative come quella che ho descritto consentono, senza dubbio, di risvegliare interessi e motivazioni e favoriscono l'avvicinamento dei ragazzi alla cultura scientifica, perché instaurano un clima nel quale gli studenti, coinvolti personalmente in un progetto, sono responsabilizzati e possono toccare direttamente con mano la natura dei problemi e le soluzioni da ricercare. In un clima di questo tipo è più semplice, per noi insegnanti, inserire qualsiasi azione didattica e raggiungere i nostri obiettivi formativi.

METEOROLOGIA, CLIMA, INQUINAMENTO ATMOSFERICO

IL CLIMA E I SUOI CAMBIAMENTI

Franco Prodi

La questione del cambiamento del clima è centrale nel secolo appena iniziato, anzitutto per come viene percepita dalla gente comune, per gli effetti sull'economia e sulla politica internazionale, per i risvolti possibili sui mutamenti degli stili di vita. Vi è una sensazione diffusa che per la prima volta l'umanità intera debba porsi il problema di come rapportarsi a tutto il pianeta terra, salvaguardandone il futuro.

Poiché a questo si è arrivati in base ad accresciute conoscenze scientifiche, è bene fare il punto su ciò che è noto del sistema climatico e su quali aspetti si deve ancora rivolgere la ricerca internazionale.

Intendiamo per clima una media di parametri prevalentemente meteorologici, ma anche geofisici, effettuata su periodi di tempo più lunghi di quelli della meteorologia, cioè superiori ad alcune settimane. È dunque importante definire la scala temporale alla quale ci si riferisce parlando di clima, poiché le variazioni che consideriamo vanno appunto rapportate a queste scale: mesi, stagioni, anni, fino a decine, centinaia, migliaia o milioni di anni.

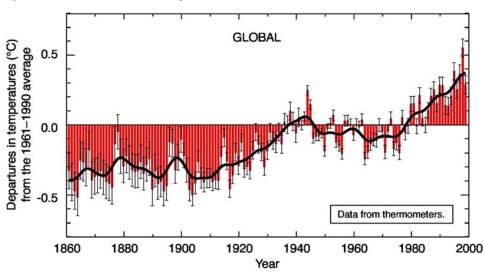


Fig. 8 - Gli ultimi 150 anni. La temperatura media è aumentata di 0.6°C dal 1900

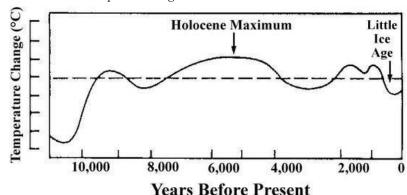


Fig. 9 - I cambiamenti di temperatura negli ultimi 10.000 anni

A queste diverse scale temporali fa riscontro un diverso livello di conoscenza che possiamo raggiungere. Infatti, man mano che ci allontaniamo dal tempo presente, la conoscenza del clima si fa sempre più incerta, essendo basata su vere misure fisiche di parametri meteorologici fino al secolo diciottesimo, poi sui documenti storici o letterari, sullo studio degli anelli di accrescimento degli alberi, dei sedimenti lacustri e marini, sui carotaggi di ghiacciai, sui rilevamenti geologici e paleontologici ed altre metodologie.

Ebbene, dallo studio dei climi del passato emerge chiaramente e con sicurezza che la variabilità è stata sempre una caratteristica del clima. Se consideriamo la temperatura dell'aria al suolo come un buon parametro per rappresentarne l'andamento, vediamo che nell'ultimo secolo abbiamo avuto su tutto il pianeta un aumento di circa 0.6 gradi centigradi, ottenuto con un aumento fino agli anni '30, una diminuzione tra gli anni 50 e 70 ed un aumento più drastico dagli anni 80 ad oggi (fig. 8).

Se consideriamo l'ultimo millennio, variazioni di poco superiori (presumibilmente da 1 a 1.5 °C) hanno prodotto la piccola età glaciale (dal 1400 al 1850) ed il periodo di riscaldamento conosciuto come 'optimum medioevale' (1.000-1.300) con noti effetti sulle colture agrarie, le abitudini di vita del tempo ecc. (fig. 9).

Così andando a ritroso nel tempo troviamo grandi cicli di quattrocentocinquanta mila anni a loro volta modulati in cicli di centotrenta mila anni circa.

Il clima su scale ancora più lunghe si associa alla storia del pianeta terra essendo variato nei milioni di anni il rapporto tra oceani e terre emerse, variata la collocazione dei continenti a motivo della loro deriva, variato il livello degli oceani e mutata la stessa composizione dell'atmosfera.

Per risalire alle cause di queste variazioni bisogna pensare non solo al pianeta terra ma anche al sole, la stella che lo illumina continuamente generando energia sotto forma principalmente di onde elettromagnetiche, con reazioni nucleari che consumano quattro atomi di idrogeno per ogni atomo di elio prodotto e convertendo la differenza di massa in energia.

Ebbene, se la terra fosse una sfera perfetta ed omogenea e priva di atmosfera la situazione di equilibrio sarebbe facilmente calcolabile. Basterebbe eguagliare il flusso di energia solare intercettato dalla sfera a quello emesso dalla stessa sotto forma di radiazione infrarossa verso tutto lo spazio esterno per ottenere la temperatura di equilibrio. La presenza dell'atmosfera, con i diversi gas costituenti, le particelle di aerosol sospese in essa e soprattutto le nubi, complica il problema, così come lo complica il fatto che l'interno della terra non è omogeneo e contiene delle fonti di calore.

È chiaro che ciò che cambia le caratteristiche geometriche e fisiche del sistema (mutamenti nell'attività del sole, variazione della distanza terra-sole, variazione dell'angolo che l'asse di rotazione della terra fa con il piano dell'eclittica e della eccentricità dell'orbita terrestre), cambia anche il flusso di energia in arrivo, quindi anche il clima. La variazione dei parametri astronomici (eccentricità dell'orbita ed inclinazione dell'asse di rotazione) è stata studiata da Milancovich ed individuata come causa dei grandi cicli di clima di quattrocentocinquanta mila anni (causa astronomica).

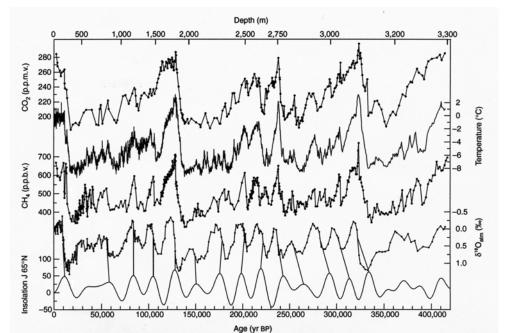


Fig. 10 - Cambiamenti negli ultimi 420.000 anni

L'attività del sole poi non è costante. Esso presenta sulla superficie delle macchie che compaiono con un periodo di 11 anni circa. Alla variazione dell'attività solare corrispondono variazioni dell'intensità del vento solare (flusso di elettroni, protoni, mesoni ed altre particelle) che investe la terra ed interagisce con la sua magnetosfera. La variazione dell'attività solare è considerata una causa astrofisica delle variazioni del clima (fig. 11).

Per completare le cause naturali di variazioni climatiche, a queste ora citate, di natura astronomica ed astrofisica, vanno aggiunte le interazioni fra le diverse componenti del sistema (atmosfera, oceano, criosfera, litosfera e biosfera), le eruzioni vulcaniche per l'immissione di aerosol e gas in atmosfera, la deriva dei continenti e la naturale variabilità delle nubi, in tipo e copertura.

Ora veniamo al cuore del problema. Per la prima volta nella sua storia l'Uomo può influire, e sta influendo, sul clima attraverso processi che cambiano la composizione dell'atmosfera, le caratteristiche dell'aerosol sospeso e la microfisica delle nubi che variano l'albedo superficiale del pianeta. E questo avviene in un intervallo temporale (un paio di secoli) molto stretto rispetto ad alcune scale del clima.

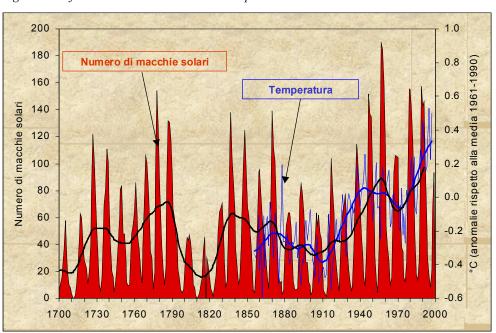


Fig. 11 - Confronto tra l'attività solare e la temperatura della terra

Ma ancora prima di porci il problema dell'interferenza dell'Uomo sul clima ci possiamo chiedere se siamo in grado di prevedere quale sarà il clima futuro, o almeno come sarebbe il clima futuro in assenza di interferenze umane. La valutazione di queste interferenze dell'Uomo verrebbe automaticamente per differenza, fra il clima previsto e quello che si verifica di fatto. Basterebbe confrontare l'andamento reale con quello previsto come andamento naturale per estrarre gli effetti antropici con sicurezza.

Purtroppo si deve rispondere al quesito ammettendo che il livello di conoscenza del sistema climatico non è tale da consentire una previsione del clima futuro 'naturale', in assenza cioè di attività umana consistente. A maggior ragione ci è difficile separare l'effetto antropico.

Cerchiamo di esaminare che cosa impedisce una conoscenza completa del sistema climatico 'naturale'.

La conoscenza acquisita sul clima deve condensarsi in modelli che contengano un'evoluzione nel tempo e quindi consentano la previsione. Non siamo tuttavia in possesso di modelli soddisfacenti e questo è dimostrato del fatto che non siamo in grado, applicando 'a ritroso' i modelli esistenti, di replicare quelle che abbiamo sperimentato come variazioni climatiche dell'ultimo millennio: il riscaldamento medioevale e le piccole glaciazioni.

Se esaminiamo lo stato attuale dei modelli di clima, li possiamo raggruppare in Modelli di Circolazione Generale ('GCM', 'Global Circulation Models') e Sistemi Terrestri Completi ('Earth Systems') (fig. 12).

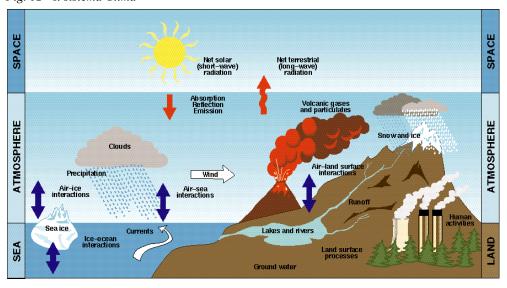


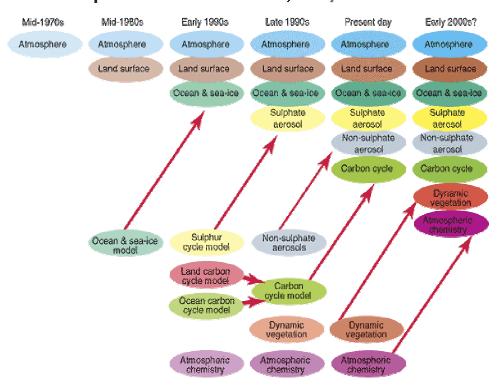
Fig. 12 - Il sistema Clima

Questa è l'immagine così come da invio: possiamo soltanto ingrandirla e non modificarla nelle scritte.

I primi sono meno ambiziosi. Si propongono di focalizzare l'attenzione sull'atmosfera intesa come il sistema finale nel quale il clima si manifesta in relazione all'Uomo che in definitiva nell'atmosfera vive e respira. Poiché siamo in grado di modellare il comportamento di tutta l'atmosfera, gli studiosi di clima si servono di questi modelli per simulare le conseguenze sul clima delle variazioni delle condizioni iniziali ed al contorno. Questi modelli si sono rivelati certamente utili per capire alcune cose, ad esempio le cosiddette teleconnessioni cioè gli effetti di variazioni di correnti oceaniche nell'emisfero australe sulla circolazione atmosferica dell'emisfero boreale. Ma è evidente che per la loro natura non possono ambire a descrivere il sistema nella sua totalità.

Fig. 13 - Evoluzione dei modelli climatici

The Development of Climate models, Past, Present and Future



I Sistemi Terrestri Completi hanno invece questa ambizione. Si propongono di essere onnicomprensivi, includendo i flussi di calore dall'interno della terra, le calotte polari ghiacciate, i vulcani ed i loro effetti, oltre che le variabili astronomiche ed astrofisiche già ricordate.

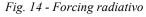
Benché questi ultimi abbiano mostrato indiscutibili progressi, tuttavia sono ancora ben lontani dall'avere raggiunto l'obiettivo. Gli sforzi che si stanno compiendo, soprattutto in Giappone, Germania, Regno Unito e Stati Uniti, sono notevoli: vengono costituiti appositi centri dotati dei più potenti mezzi di calcolo mai messi in campo. Le compagini di studiosi sono di altissimo livello ed anche quantitativamente, come numero di ricercatori coinvolti, impressionante. Ma non si può affermare che l'obiettivo sia stato ancora raggiunto.

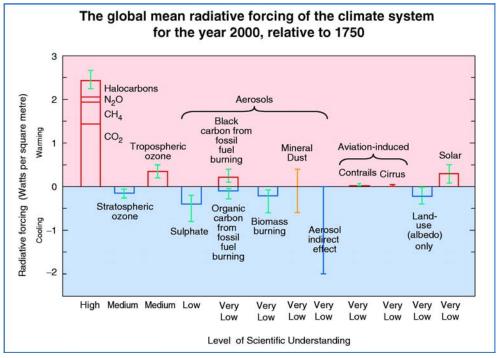
Ci si può chiedere quali sono gli impedimenti, quali gli ostacoli ancora da superare per una comprensione scientifica. Alcune difficoltà sono proprie dei Modelli di Circolazione Generale ed altre dei Sistemi Terrestri Completi. Nella descrizione del comportamento dell'atmosfera è cruciale il ruolo delle nubi e dell'aerosol. Il loro contributo al bilancio della radiazione solare e terrestre non è ancora ben conosciuto e non si sa bene in quale verso agisca e quale sia la parte della variazione ascrivibile all'Uomo.

Vale la pena di soffermarsi sul ruolo delle nubi in particolare. Nell'atmosfera priva di nubi la radiazione solare viene riflessa come tale verso lo spazio esterno dalle molecole di gas e dalle particelle di aerosol presenti. Una volta raggiunta la superficie terrestre viene emessa da questa come radiazione infrarossa. Se invece vi sono nubi, la parte di radiazione solare che viene subito riflessa dalla sommità della nube verso lo spazio esterno aumenta, ma vi è sia un assorbimento all'interno della nube che una diffusione. Inoltre molto dipenderà dall'altezza alla quale si trova la nube e la composizione della stessa (se di goccioline d'acqua o di cristalli di ghiaccio). Non possiamo entrare nel dettaglio scientifico di questi aspetti, ma è evidente che, non sapendo quale fosse la variazione della copertura delle nubi e della intensità delle precipitazioni anche solo nei decenni scorsi, ci viene a mancare un essenziale parte d'informazione.

La veridicità dell'affermazione *che il clima cambia* passa quindi anche attraverso l'accertamento del fatto che le nubi cambiano, in estensione, natura e composizione. Si pone quindi il problema di costituire una climatologia delle nubi e della loro variazione, e questo si fa con particolari progetti di climatologia satellitare. Con i satelliti meteorologici si cerca di sopperire alla scarsità di osservazioni e si cerca di effettuare nuove missioni spaziali a carattere climatologico, ma questa carenza permarrà per molto tempo ancora. Ricordiamo inoltre che l'azione indiretta dell'aerosol antropico sul clima attraverso la modifica della microfisica delle nubi è pure un processo importante e poco noto. Ma per la sua complessità non può essere trattato compiutamente qui.

Un altro aspetto non ben chiaro è costituito dall'interazione fra oceani ed atmosfera. Sembra evidente che per la loro grande capacità termica debbano essere gli oceani a fare da guida all'atmosfera, ma il come non è ben chiaro. Quanto ai Sistemi Terrestri, oltre alle interazioni oceano-atmosfera essi devono simulare il ruolo della criosfera (calotte ghiacciate e ghiacciai terrestri), la natura dei flussi di calore dall'interno della terra, il ruolo dei vulcani, ecc. (fig. 14).





È naturale chiedersi allora perché ci si debba preoccupare tanto dei danni dell'Uomo industriale se la nostra conoscenza non è ancora sufficiente a prevedere l'evoluzione del clima naturale? Si può rispondere che, limitandoci alle cause di variazioni climatiche operanti su tempi paragonabili a quelli dell'industrializzazione, ve ne sono di meno note e da approfondire (appunto il ruolo di aerosol e nubi), ma anche di certe e quantificate. Queste sono individuabili nell'immissione di gas serra in atmosfera (principalmente per l'uso di combustibili fossili e per incendi di biomasse), negli allevamenti animali, nel traffico veicolare, nella deforestazione e nel diverso uso dei suoli.

Consapevoli del rischio che si corre nel restare inattivi, anche in carenza di conoscenza di alcuni aspetti si intende procedere in base al principio di precauzione autolimitando, con accordi internazionali (protocollo di Kyoto), l'immissione dell'anidride carbonica (di effetto certo di riscaldamento) in atmosfera. Siamo a bordo di un veicolo senza volante che procede a grande velocità. In attesa di conoscerne gli intimi meccanismi, il buon senso ci dice di diminuirne la velocità in tutti i modi possibili per minimizzare i probabili disastri.

Ovviamente, essendo questa la natura della questione, non stupisce che vi siano

scienziati che sostengono questo principio di precauzione e scienziati che vi si oppongono sulla base della considerazione che la scarsa conoscenza di alcuni addendi rende la somma ancora incerta.

In realtà io ritengo che, essendo il medesimo comportamento (crescita esponenziale dell'energia, uso di tecnologie inquinanti, ecc.) a produrre sia serie minacce di cambiamento globale che degrado ambientale, quest'ultimo già ampiamente verificato e sotto gli occhi di tutti, vi sarebbero già buoni motivi di procedere a cambiamenti di stili di vita sin da subito, in base a quest'ultima constatazione, in aggiunta al principio di precauzione sul clima.

Aggiungo infine che deve anche cambiare, in tutti i paesi e non solo in quelli citati, il passo col quale la ricerca affronta il problema clima adeguando i tempi della scienza, troppo lenti, a quelli urgenti dettati dalla preoccupazione dell'intera umanità per i destini del pianeta.

LA PREVISIONE DEL TEMPO

Andrea Buzzi

Gli antichi

Già agli antichi era apparsa evidente la contraddizione tra i fenomeni astronomici del 'cielo superiore', ossia il firmamento, imperturbato, incorruttibile, regolare e quindi predicibile, e quelli meteorologici del 'cielo inferiore', ossia l'atmosfera capricciosa, irregolare, sede di fenomeni perturbati, quasi sempre imprevedibili, tranne che per la variabilità del ciclo annuale delle stagioni. Mentre la previsione del moto degli astri risultava relativamente semplice, prima sulla base delle osservazioni e poi applicando formule matematiche, quella delle vicende meteorologiche resisteva a qualunque tentativo di razionalizzazione e le stesse regole empiriche molto spesso fallivano.

Il primo tentativo organico di formulare una scienza meteorologica può essere attribuito al filosofo greco Aristotele, il quale, nel suo trattato *Meteorologica*, attorno al 330 a.C., elaborò una visione generale del mondo naturale sulla base delle conoscenze acquisite fino ad allora. Questo trattato rimase per quasi due millenni un testo di riferimento incontrastato. Aristotele fornì una ricca e meditata descrizione dei vari fenomeni meteorologici, tentando interpretazioni fisiche a volte di notevole intuizione scientifica (come per il ciclo dell'acqua), a volte rivelatesi piuttosto fantasiose. Il filosofo attribuì le differenze tra la regolarità del mondo degli astri e l'irregolarità del mondo delle 'meteore' ai caratteri di perfezione ed eternità delle sfere celesti rispetto alla caducità e perturbabilità dell'atmosfera terrestre, ma questa non è un'argomentazione scientifica. Della previsione meteorologica in particolare si occupò più direttamente un allievo di Aristotele, Teofrasto di Ereso, che in due trattati *Sui Segni del Tempo* e *Sui Venti* descrisse numerose regole di previsione basate sull'osservazione di *precursori* nei fenomeni meteorologici, astronomici e del mondo animale.

La nascita della meteorologia scientifica

Passiamo con un balzo all'era moderna: infatti, nonostante il continuo arricchimento di conoscenze empiriche nella meteorologia e nel clima terrestre, grazie allo sviluppo dei viaggi per terra e soprattutto per nave, un vero progresso delle conoscenze scientifiche dell'atmosfera si verificò solo a partire dai secoli XVI e XVII, quando furono poste le basi metodologiche del metodo scientifico moderno. Già nel '500 furono in-

ventati strumenti di misura delle variabili atmosferiche quali vento e umidità, furono definite leggi fondamentali della statica dei fluidi (Stevino) e furono osservati e in parte teorizzati aspetti basilari della dinamica dei fluidi, come ad esempio negli studi di Leonardo da Vinci sui moti turbolenti. Tuttavia la meteorologia nacque come scienza moderna soltanto attorno alla metà del Seicento, con Galileo Galilei e la sua scuola, di cui facevano parte Ferdinando II de' Medici ed Evangelista Torricelli. L'invenzione del termometro, dell'igrometro e del barometro permisero di iniziare le misurazioni delle variabili fondamentali dell'atmosfera (temperatura, umidità, pressione) che, assieme alla velocità e direzione del vento, ne definiscono lo stato fisico. Questo pose le basi della previsione: infatti, solo a partire dalla conoscenza dello stato presente dell'atmosfera, come si chiarirà definitivamente nel '900, è possibile tentare di prevederne l'evoluzione nei tempi successivi. Un altro contributo fondamentale della Scuola Medicea e dell'Accademia del Cimento alla meteorologia fu quello di prospettare la costruzione di una rete di misura a scala europea. A partire dal 1654 furono distribuite ad una decina di osservatori, ubicati nell'Italia centro-settentrionale e nell'Europa centrale, copie identiche di strumenti per effettuare osservazioni simultanee dello stato dell'atmosfera, da inviare successivamente a Firenze per lo studio comparato. Il significato storico della rete medicea consiste nell'aver colto l'importanza di investigare la struttura spaziale dei sistemi meteorologici, che possiedono una scala orizzontale molto maggiore di quella osservabile da singole stazioni. L'esperienza del Cimento durò solo pochi anni, ma pose le fondamenta per le iniziative che seguirono.

Una vera e propria rete meteo-climatica su scala europea, con oltre una trentina di stazioni, e con l'aggiunta di una stazione americana, fu ricostituita solamente circa un secolo dopo, verso la fine del Settecento, per iniziativa della Società Meteorologica Palatina di Mannheim. Anche questa esperienza ebbe vita breve, ma gettò le basi per gli sviluppi della *meteorologia sinottica* del secolo successivo, quando l'invenzione del telegrafo permise finalmente uno scambio di dati in tempo reale e quindi la stesura delle prime *carte meteorologiche sinottiche*. Su di esse i dati meteorologici venivano disposti in forma grafica, mediante simboli e isolinee come isoterme (linee di uguale temperatura) e *isobare* (linee di uguale pressione ridotta al livello del mare), che consentirono di identificare gradualmente le configurazioni termiche e bariche dei sistemi meteorologici, quali i cicloni e gli anticicloni delle medie latitudini, associarne *tipi di tempo* caratteristici, evidenziarne l'evoluzione e gli spostamenti. Le prime basi della previsione si fondarono pertanto sul riconoscimento dell'esistenza di sistemi estesi su scale spaziali dell'ordine del migliaio di chilometri, in spostamento da una regione all'altra e con evoluzione delle loro caratteristiche su tempi di qualche giorno.

Lo sviluppo delle basi scientifiche della previsione meteorologica

Nel corso dell'Ottocento si assiste ad un grande sviluppo delle scienze fisiche che vede anche la meteorologia come protagonista, anche se per certi aspetti essa beneficerà pienamente solo nel secolo successivo di scoperte nel campo della dinamica dei fluidi e della termodinamica effettuate nel corso del XIX secolo. Va infatti ricordato che tra il Settecento e l'Ottocento vengono a mano a mano scoperte e definite in forma matematica le leggi della fisica classica, le stesse che sono alla base dell'evoluzione dell'atmosfera. Il ritardo nel loro utilizzo nella previsione meteorologica è dovuto più che altro alla complessità del sistema e all'impossibilità di riprodurre adeguatamente i fenomeni atmosferici in laboratorio.

Le leggi della dinamica dei fluidi, a partire dal secondo principio della meccanica di Newton, sono codificate da Eulero alla fine del Settecento (equazione di Eulero) e da Navier e Stokes (equazioni di Navier-Stokes) nella prima metà dell'Ottocento. L'equazione di Eulero evidenzia la non linearità quadratica che caratterizza i cosiddetti 'termini avvettivi': tale non linearità è alla base di molti fenomeni complessi che determinano caos e limitano la predicibilità, come si vedrà in seguito. Per passare dallo studio di un fluido di laboratorio (gas o liquido confinato) a quello dell'atmosfera, intesa come miscela di gas a bassa densità e non confinato, mancavano ancora due contributi alle leggi del moto. Il primo è relativo alle forze che agiscono in un sistema ruotante quale è il pianeta Terra. Una descrizione dei moti atmosferici non può infatti prescindere dal moto di rotazione terrestre, che modifica profondamente quella che sarebbe la circolazione in un ipotetico pianeta non ruotante. La forza di Coriolis, che si deve includere nelle equazioni del moto per tener conto della rotazione, prende il nome dallo scienziato francese che ne introdusse l'espressione nella prima metà dell'Ottocento. Solo dopo parecchi decenni se ne recepì l'importanza per la meteorologia, grazie al lavoro di Ferrel. Per quanto riguarda le applicazioni all'atmosfera dei principi della termodinamica dei gas, combinati con quelli della dinamica, vanno ricordati i contributi di grandi fisici quali Kelvin e Helmholtz nella seconda metà dell'Ottocento.

Con la formulazione delle leggi fisiche, derivate dalla dinamica dei fluidi e specializzate alla dinamica dell'atmosfera terrestre, nacque dunque verso la fine del secolo
XIX la *meteorologia dinamica*, intesa come branca della meteorologia che si occupava
di *interpretare* (prima ancora di *prevedere*) la circolazione atmosferica e i suoi moti alle diverse scale spaziali, da quella planetaria a quella locale, tramite l'applicazione il
più possibile rigorosa dei principi della fisica. A questo metodo essenzialmente teorico
si affiancava lo sforzo dei meteorologi osservativi nell'organizzare reti di misure sempre più vaste e complete, nell'interpretare le carte del tempo e i fenomeni che su di esse
si andavano evidenziando, innanzi tutto i cicloni delle medie latitudini, e nel cercare
nuove regole e leggi per la previsione, ancora in buona parte empiriche.

Nel 1904 il norvegese Vilhelm Bjerknes compì un passo avanti di importanza teorica fondamentale per il problema della previsione meteorologica. A seguito dei suoi studi di meteorologia dinamica, enunciò con chiarezza il principio che *la previsione del tempo costituisce un problema fisico ai valori iniziali*: "I fenomeni atmosferici si sviluppano da quelli che li precedono seguendo leggi precise, da cui consegue che le condizioni necessarie e sufficienti per effettuare una previsione meteorologica sono: (a) la conoscenza con una precisione adeguata dello stato dell'atmosfera ad un dato istante e (b) la conoscenza con una precisione adeguata delle leggi secondo cui uno stato dell'atmosfera si sviluppa a partire dallo stato precedente". Questa enunciazione, se da un lato poneva i fondamenti corretti della previsione meteorologica, dall'altro ne preannunciava anche i limiti, relativamente alla conoscenza sia dello stato dell'atmosfera sia delle equazioni che ne determinano l'evoluzione. Ma vi era un ulteriore ostacolo alla messa in pratica dei principi di Bjerknes che appariva allora insuperabile: le leggi del moto sono espresse da un sistema di equazioni non lineari alle derivate parziali, per le quali non si disponeva (né si dispone tuttora) di soluzioni generali.

Per tale motivo, le tecniche usate in pratica per la previsione meteorologica per molti decenni ancora si svilupparono non secondo i principi fisico-matematici sopra enunciati, bensì con i metodi della meteorologia sinottica. Quest'ultimo ramo della meteorologia compiva nel frattempo progressi notevolissimi, soprattutto per opera della Scuola Norvegese di Bergen, fondata dallo stesso Vilhelm Bjerknes, e che vide l'opera di grandi meteorologi tra cui ricordiamo Jacob Bjerknes, Bergeron, Solberg, Holmboe. I metodi della meteorologia sinottica non sono incompatibili con quelli della meteorologia dinamica, ma pongono l'accento sul riconoscimento di sistemi meteorologici organizzati e coerenti nello spazio e nel tempo, riconoscibili sulle carte del tempo, per arrivare in tal modo alla definizione di modelli concettuali di tali sistemi. La previsione si basa pertanto sull'esistenza di analogie di comportamento dei sistemi meteorologici in casi precedenti, per cui è fondamentale l'esperienza del previsore nel riconoscere i precursori dei cambiamenti meteorologici. La Scuola di Bergen è ricordata per la definizione dei modelli dei cicloni e anticicloni e dei sistemi frontali (fronti caldi e freddi) che si accompagnano ai cicloni stessi. Nonostante l'assenza o quasi di osservazioni in quota, i meteorologi norvegesi elaborarono modelli tridimensionali della circolazione, dei tipi di tempo e di nubi associate, nonché dell'evoluzione dei sistemi e delle perturbazioni atmosferiche delle medie latitudini, in particolare quelli di origine atlantica, che sono in gran parte tuttora validi.

I modelli e la previsione numerica

Il primo reale tentativo di affrontare la previsione meteorologica con tecniche basate solo sulle equazioni, traducendo quindi in pratica l'enunciazione di Bjerknes, risale all'inglese Lewis Richardson negli anni tra il 1916 e il 1922. L'idea precorritrice di Ri-

chardson fu quella di tentare di risolvere le equazioni differenziali che descrivono l'evoluzione dei moti atmosferici con un metodo numerico, detto anche *alle differenze finite*. Egli, partendo da osservazioni meteorologiche disponibili per un dato giorno sull'Europa (fig. 15), effettuò il primo esperimento di previsione meteorologica dopo aver convertito le equazioni differenziali in un sistema di equazioni algebriche, applicate ad un'opportuna *griglia di punti* che approssima il continuo del fluido atmosferico, attribuendo ad ogni punto della griglia valori delle variabili pressione, temperatura e vento.

6200 Km. from Equator Copenhagen 6000 Hamburg 5800 • Pyrtor 11 P Me De Bilt Lindenberg Ditcham Uccle M Aachen P M M 5400 Trappes @MI M Strassburg Vienna Munchen 5200 Fried'sh'n Zurich . M de Dome 5000 Pavia P Verona Moncalieri Pola II'E 14° E 17 E 20° E

Fig. 15 - Griglia usata da L. Richardson per il primo tentativo di previsione meteorologica numerica

Il tentativo di Richardson si rivelò tuttavia un fallimento, essenzialmente per due ragioni. La prima derivava, come riconosciuto dallo stesso autore, dall'insufficiente

precisione dei dati di vento. La seconda fu chiarita solo in seguito, nel 1928, dai matematici Courant, Friedrichs e Lewy (CFL), i quali stabilirono le condizioni sul passo temporale Δt da utilizzare per integrare nel tempo le equazioni alle differenze finite, in funzione del passo spaziale Δx (distanza tra i punti o *nodi* della griglia):

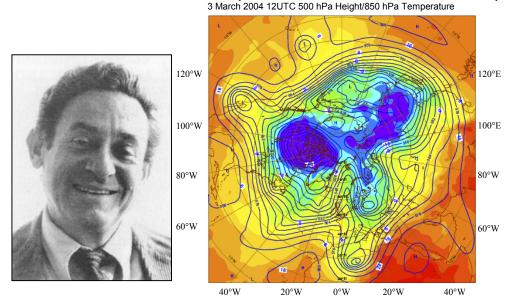
$$\Delta t < \Delta x / V$$

Quanto più piccolo è \Delta x (ossia quanto migliore è la risoluzione spaziale della griglia che approssima il fluido continuo), tanto più piccolo deve essere Δt (e quindi più elevato il numero di passi temporali e quindi di calcoli da eseguire). V rappresenta il valore massimo tra la velocità massima del fluido stesso (quella del vento nel caso dell'atmosfera) e la velocità di propagazione delle onde all'interno del fluido stesso. Le onde più veloci in atmosfera sono quelle sonore, che come è noto viaggiano alla velocità di circa 300 m/sec. Pertanto, a meno che non si utilizzi un sistema di equazioni filtrato, ossia che elimini a priori questo o altri tipi di onde veloci (peraltro le onde sonore hanno un'influenza trascurabile sull'evoluzione dei fenomeni meteorologici), il passo temporale occorrente nel caso, ad esempio, di un passo di griglia Δx di 50 km è di solo un paio di minuti (ancora inferiore se si considera anche la spaziatura della griglia nella direzione verticale). Se la condizione CFL non è soddisfatta, si va incontro, come capitò a Richardson, ad un'instabilità dell'algoritmo che impedisce di trovare una soluzione. In realtà, anche se Richardson avesse affrontato il problema in modo corretto, i calcoli necessari per effettuare una previsione utile sarebbero stati in numero talmente elevato che nemmeno il servizio meteorologico numerico immaginato da Richardson stesso (la Fabbrica del tempo, costituita da decine di migliaia di persone addette ad effettuare i calcoli a mano!) avrebbe potuto assolvere allo scopo in maniera efficace.

La prima vera previsione meteorologica numerica poteva pertanto vedere la luce solo con l'avvento dei primi calcolatori elettronici. Questo avvenne effettivamente nel 1950, grazie agli sforzi congiunti dei meteorologi Charney e Fjörtoft e del matematico Von Neumann, che si servirono del primo calcolatore elettronico ENIAC, messo a punto dopo il 1946 negli Stati Uniti. Jules Charney aveva ricavato, a partire dal lavoro precedente di Rossby sulla dinamica delle onde planetarie, un sistema di equazioni dei moti atmosferici detto *quasi geostrofico*, alquanto semplificato rispetto alle equazioni cosiddette *primitive* (anche in termini di numero di variabili) e in grado di eliminare le onde atmosferiche più veloci, ossia le onde sonore e le onde di gravità. L'approssimazione quasi geostrofica si basa sull'ipotesi, valida per i moti atmosferici a grande scala, di un 'quasi equilibrio' tra il gradiente orizzontale della pressione e la forza di Coriolis. In questo primo successo di previsione basata esclusivamente su leggi fisiche si calcolava il campo di geopotenziale al livello della superficie isobarica di 500 hPa (a circa 5500 m di quota; fig. 16) su quasi tutto l'emisfero nord. Si trattava allora di una previsione del tutto priva di dettaglio e piuttosto imprecisa.

Fig. 16 - J. Charney e una moderna mappa di previsione alla quota di circa 5.500 m.

Tuesday 2 March 2004 12UTC ECMWF Forecast t+24 VT: Wednesday



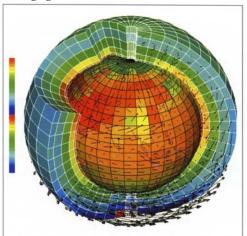
Dal 1950 ad oggi, gli avanzamenti cui si è assistito nella previsione meteorologica numerica hanno beneficiato sia dei progressi tecnici nel settore del calcolo che di quelli scientifici nella meteorologia dinamica e numerica, essendo quest'ultima divenuta un'importante branca della meteorologia stessa. Non va tuttavia dimenticato l'apporto decisivo al miglioramento della previsione derivato dal progresso delle osservazioni meteorologiche su scala globale, a partire dalla rete di radiosondaggio basata su palloni sonda lanciati ad intervalli di 12 ore, che ha consentito un costante monitoraggio della circolazione planetaria alle diverse quote, fino ai 15-20 km di altezza, permettendo anche di evidenziare l'esistenza di fenomeni quali le correnti a getto¹.

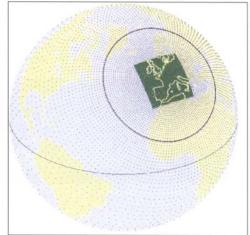
La previsione meteorologica negli ultimi decenni ha avuto un notevole perfezionamento dei modelli che è andato di pari passo con l'aumento della potenza di calcolo. Si è passati dai modelli *barotropici*, dove si rappresenta l'atmosfera con un solo strato, a modelli *baroclini* a molti livelli (operativi dal 1955), che permettono di descrivere il principale meccanismo alla base dell'insorgenza delle perturbazioni atmosferiche, ossia

¹ Si definisce convenzionalmente previsione meteorologica a *brevissimo termine* se l'anticipo è fino a 12 ore (ma per periodi inferiori alle 3-4 ore si parla di *nowcasting*, basato essenzialmente su tecniche di estrapolazione delle osservazioni); a *breve termine* se l'anticipo è compreso tra le 12 e le 48 ore; a *medio termine* se l'anticipo è compreso tra 2-3 giorni e 10 giorni. Oltre tale lunghezza, si parla di previsione a *lungo termine*.

l'instabilità baroclina. Tale processo consente la conversione spontanea dell'energia associata al gradiente termico meridionale medio in energia delle perturbazioni costituite dai vortici a scala sinottica (scala di 1000-3000 km) delle medie e alte latitudini. Negli anni sessanta le previsioni numeriche iniziarono ad assumere una reale importanza nella meteorologia operativa, affiancandosi e in seguito gradualmente sostituendosi in buona parte ai metodi tradizionali. Dalla fine degli anni cinquanta, per opera di Hinkelmann in Germania e Phillips negli USA, furono gradualmente abbandonate le equazioni filtrate a favore delle più precise equazioni primitive. Nel corso degli anni sessanta i modelli in uso presso i principali servizi meteorologici divennero globali (fig. 17), mentre l'utilizzo delle equazioni primitive permise l'estensione della previsione numerica alle zone intertropicali. Lo sviluppo graduale della previsione meteorologica numerica è andato di pari passo con il raffinamento delle tecniche di soluzione delle equazioni. Nuove tecniche di discretizzazione, quali i metodi spettrali o agli elementi finiti, sono state introdotte nei modelli.

Fig. 17 - Struttura della griglia di un modello meteorologico globale. A destra, il riquadro indica la griglia di un modello ad area limitata





Al fine di estendere la previsione oltre i primi 2-3 giorni, ma anche di aumentarne l'accuratezza a breve termine, i modelli meteorologici, che inizialmente si limitavano a descrivere la dinamica di un'atmosfera *adiabatica*, sono stati via via corredati di schemi tesi a simulare un sempre più elevato numero di processi della fisica dell'atmosfera. Tra questi, gli scambi turbolenti, che hanno luogo soprattutto vicino alla superficie terrestre nel cosiddetto *strato limite atmosferico*; gli effetti del suolo, includendo l'orografia, e della superficie marina; i processi connessi con il ciclo dell'acqua, in particolare con i cambiamenti di stato in atmosfera associati alla formazione delle nubi e delle diverse forme di precipitazione liquida e solida; la convezione, associata alla formazio-

ne di nubi cumuliformi e temporali; gli scambi radiativi, che includono gli effetti di riscaldamento e raffreddamento da parte della radiazione visibile e infrarossa. Le tecniche usate per rappresentare nei modelli i processi sopra menzionati sono indicate con il nome generico di *parametrizzazioni*, intendendo con esso rappresentazioni mediante relazioni semplificate di fenomeni fisici le cui scale spaziali sono intrinsecamente più piccole di quella del passo di griglia dei modelli, e che quindi non possono essere trattati nello stesso modo diretto con cui sono trattati i fenomeni a grande scala. Oltre alle parametrizzazioni dei processi non risolti dalla griglia, i modelli di previsione atmosferica devono essere corredati di schemi che descrivono gli scambi di massa (vapore) ed energia termica e meccanica con la superficie (terra o mare), rendendo quindi necessario accoppiare il modello di atmosfera con modelli di suolo e di oceano.

È utile notare che il relativo successo delle prime previsioni meteorologiche numeriche, basate su modelli emisferici di bassa risoluzione spaziale (con passi di griglia superiori ai 500 km) e privi di componenti di suolo e di mare, è dovuto al fatto che i moti meteorologici che dominano la circolazione atmosferica e la sua evoluzione a breve termine sono essenzialmente di grande scala, a causa dei vincoli dinamici introdotti dalla rotazione terrestre e dalla stratificazione dell'atmosfera alle medie latitudini, oltre che per la distribuzione della forzatura radiativa. D'altra parte però, a causa di processi come l'instabilità baroclina e convettiva o l'interazione dei flussi con l'orografia, una parte dell'energia in gioco, importante per la variabilità del tempo, riguarda scale relativamente piccole. Questa è una delle ragioni per cui i modelli meteorologici sono soggetti a severi limiti per quanto riguarda l'intervallo temporale di previsione utile. Per questo motivo si è aumentata gradualmente la risoluzione spaziale, ossia si è diminuito il passo di griglia, passando, per quanto riguarda per lo meno i modelli globali, da intervalli di 500-1.000 km agli attuali 25-50 km, con quasi un centinaio di livelli nella verticale. La potenza di calcolo è passata nel frattempo da circa 1 kiloflop (mille operazioni in virgola mobile al secondo) dell'ENIAC a parecchi teraflop (mille miliardi) degli attuali supercalcolatori paralleli utilizzati per la previsione meteorologica, con un fattore di crescita di oltre un miliardo. Si può vedere con semplici calcoli che gli attuali modelli sono in grado di portare a termine una previsione operativa in un tempo di circa cento volte inferiore rispetto ai primi. Va detto anche che oggi nei centri dotati di supercomputer, come il Centro Europeo di Previsione Meteorologica a Medio Termine (CEPMMT, ECMWF in inglese), situato a Reading in Inghilterra, si effettuano un paio di volte al giorno molte decine di previsioni tipicamente di dieci giorni ciascuna (le prime previsioni non andavano oltre le 24 ore). Si vedrà più oltre per quale ragione si preferisce effettuare un numero elevato di previsioni anziché investire tutte le risorse del calcolo in una sola 'corsa' del modello a risoluzione più elevata.

L'ECMWF, il più importante centro internazionale di meteorologia numerica, è stato fondato nel 1973 da diciassette paesi europei con l'obiettivo di effettuare previsioni a medio termine (7-10 giorni circa). Nel corso dei venticinque anni di operatività del Centro, si

è assistito ad un evidente progresso nell'attendibilità e nell'allungamento del tempo utile della previsione meteorologica (fig. 18). Si può affermare che le previsioni attuali a 3-5 giorni di anticipo sono all'incirca equivalenti, come attendibilità, a quelle ad un giorno effettuate all'inizio degli anni ottanta. Un altro modo di valutare il progresso conseguito è dire che all'inizio degli anni ottanta una previsione 'utile' arrivava a circa tre giorni, mentre ora si spinge fino a sei giorni. La qualità delle previsioni può tuttavia variare considerevolmente da un giorno all'altro, specie se si considerano regioni specifiche del globo.

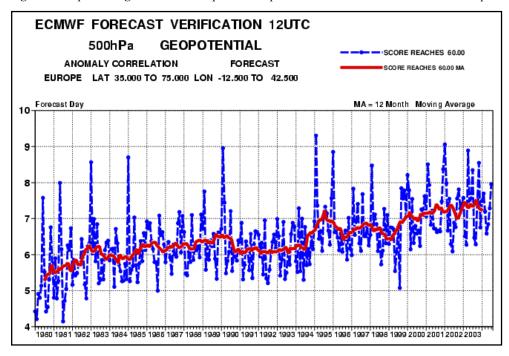
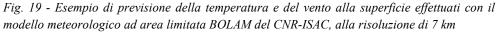
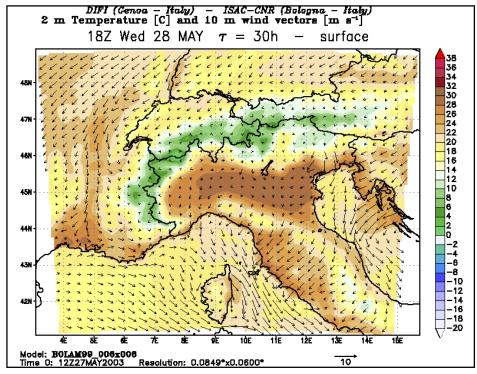


Fig. 18 - Esempio del miglioramento della qualità delle previsioni numeriche dell'ECMWF sull'Europa

Si è finora parlato di modelli globali, che sono gli unici che consentono di effettuare previsioni oltre i tre-quattro giorni, date le forti interconnessioni che caratterizzano la circolazione su scala planetaria. Per aumentare ulteriormente la risoluzione, ossia il dettaglio spaziale, delle previsioni su specifiche aree di interesse, si ricorre ai *modelli ad area limitata* (LAM, *Limited Area Models*). Se infatti ci si limita ad integrare le e-quazioni che determinano l'evoluzione dell'atmosfera su un volume parziale, a parità di tempo di calcolo si può utilizzare una griglia più fine. I LAM vengono utilizzati so-prattutto dai servizi meteorologici nazionali o regionali. In genere richiedono, come condizioni al bordo del volume considerato, l'evoluzione delle variabili atmosferiche

previste da un modello globale. In tale modo si possono effettuare previsioni operative fino ad un passo di griglia dell'ordine dei 5-10 km. La tecnica di inserire griglie via via più fini permette di spingersi anche oltre, fino a passi di griglia di 2 o 3 km, ma su aree piuttosto ristrette. Si è notato negli ultimi anni che la previsione quantitativa della precipitazione, fondamentale per l'allerta delle alluvioni, e quella di fenomeni legati ad esempio agli effetti dell'orografia e costieri (venti orografici, brezze, convezione), beneficiano fortemente dell'aumento di risoluzione (fig. 19). I LAM, data la risoluzione spaziale più elevata, utilizzano parametrizzazioni in genere diverse da quelle dei modelli globali ed equazioni che tengono conto di più aspetti fisici, descrivendo ad esempio con maggiore dettaglio i fenomeni legati al ciclo dell'acqua. Per spingersi a passi di griglia di qualche chilometro o inferiori, è necessario inoltre abbandonare l'approssimazione idrostatica, che si adotta normalmente per i modelli a grande scala e che lega la variazione della pressione con la quota alla temperatura dell'aria. Si parla quindi di modelli non-idrostatici, che, se operanti con risoluzioni di almeno un paio di km, permettono anche di 'risolvere' i fenomeni di convezione organizzata.





L'assimilazione dei dati meteorologici

La qualità di una previsione meteorologica a breve e medio termine dipende in maniera essenziale dall'accuratezza con cui viene definito l'istante iniziale sulla griglia del modello, a partire innanzi tutto dalla disponibilità di dati di osservazione che vengono raccolti in continuazione dal sistema globale del World Weather Watch. Tale sistema comprende una serie di reti di misura, costituite dalle stazioni al suolo, dalle boe oceaniche, dai sistemi di radiosondaggio, dagli aerei e dalle navi commerciali che dispongono di rilevatori meteorologici automatici, dai diversi tipi di satelliti in orbita polare e geostazionari, dai radar meteorologici. La massa di dati forniti contribuisce a definire i valori delle variabili del modello utilizzato per la previsione. La complessa procedura utilizzata a tale scopo è denominata, in generale, assimilazione dei dati. Scopo dell'assimilazione è quello di produrre una rappresentazione tridimensionale (di recente anche quadridimensionale, includendo la dimensione tempo) dello stato dell'atmosfera che sia regolare e in accordo con le leggi che ne determinano l'evoluzione. Poiché in molte aree le osservazioni dirette sono spesso insufficienti, si utilizzano informazioni aggiuntive che possono essere costituite dalle variabili previste dal modello stesso a partire da un istante iniziale precedente. Si ottiene così un sistema ciclico previsioneassimilazione-previsione, costituito dal modello meteorologico e dalle procedure di acquisizione e interpolazione dinamico-statistica dei dati.

Nel corso degli ultimi anni il problema dell'assimilazione dei dati è stato formalizzato in maniera più generale, mediante una formulazione cosiddetta *variazionale*, che ha consentito di estendere l'assimilazione dei dati alla dimensione del continuo temporale: non è più necessario limitarsi all'utilizzo dei soli dati cosiddetti 'sinottici', riferibili solamente ad un piccolo intervallo di tempo attorno all'istante prescelto. Si parla in tale caso di *analisi variazionale quadri-dimensionale*. L'applicazione di tale tecnica, ancora limitata a pochi centri previsionali per la sua complessità, ha tuttavia consentito un salto qualitativo nell'utilizzo dell'informazione fornita da una grande varietà di sistemi osservativi, che in precedenza non erano pienamente sfruttati, soprattutto in riferimento ai dati da telerilevamento e da satellite. In definitiva, la previsione meteorologica operativa attuale su scala globale costituisce un sistema integrato di elevata complessità, in cui più modelli della circolazione atmosferica, assieme a modelli dell'oceano e dell'evoluzione del suolo (almeno negli strati superficiali di entrambi i sistemi), operano in tempo reale in modalità di analisi e previsione, ricevendo di continuo i dati di osservazione globali, integrandoli in un unico insieme e fornendo più volte al giorno previsioni dello stato sull'intero globo terrestre.

Atmosfera, caos e previsione

Questo paragrafo si potrebbe intitolare "Il contributo di Edward Lorenz", il meteorologo contemporaneo che ha dato un apporto fondamentale alla comprensione del

comportamento dell'atmosfera (e non solo di questa). Ma ritorniamo brevemente all'Ottocento: nella seconda metà del secolo, il matematico Henry Poincaré, a seguito
della scoperta per via indiretta dell'esistenza del pianeta Nettuno grazie all'osservazione delle perturbazioni da esso indotte sull'orbita del pianeta Urano, si cimentò con il
problema del movimento di tre corpi celesti soggetti a mutua forza gravitazionale.
Poincaré intuì la difficoltà del problema che conduce a comportamenti irregolari, provandone infine l'impossibilità di ottenerne una soluzione generale che consenta una
previsione (in tal caso astronomica) a lungo termine. Egli attribuì questo comportamento alla presenza di equilibri instabili nel sistema e pose in tal modo le basi per la moderna teoria dei sistemi dinamici, sviluppatasi quasi un secolo dopo. Poincaré stesso
percepì la relazione logica che intercorre tra le sue scoperte matematiche-astronomiche
e il problema della previsione meteorologica.

Tornando al Novecento, più precisamente alla fine degli anni cinquanta, troviamo Lorenz che si cimenta al Massachusetts Institute of Technology (MIT) con il problema della previsione meteorologica basata su semplici metodi statistici. In quel periodo, infatti, si riteneva che tali metodi, basati sull'utilizzo di relazioni empiriche e disponendo di lunghe serie di osservazioni, potessero competere sia con il metodo sinottico tradizionale che con gli allora nuovi e imperfetti modelli numerici. Per dimostrare i limiti di validità del metodo statistico, Lorenz inventò un modello molto semplificato della circolazione atmosferica, basato su 12 equazioni, su cui mettere alla prova il metodo statistico. Per alcuni valori di certi parametri, tale modello esibiva stati stazionari, oppure periodici nel tempo, per i quali il metodo di previsione statistico funzionava molto bene, ma che evidentemente non rappresentavano la complessità del comportamento atmosferico. Ma per altri valori dei parametri, le soluzioni nel tempo risultarono essere del tutto irregolari e il metodo statistico fallì miseramente nella previsione. Fu relativamente facile per Lorenz comprendere che queste ultime soluzioni sono quelle che, sia pur qualitativamente, meglio rappresentano l'irregolarità e la non periodicità delle vicende del tempo meteorologico. Ma la proprietà che più colpì Lorenz è la sensibilità alle condizioni iniziali: per quanto (numericamente) vicini fossero scelti due stati iniziali, essi inevitabilmente, nel caso di soluzioni irregolari, conducevano a stati molto diversi tra loro. Lorenz nel 1963 mise in evidenza la stretta associazione che intercorre tra la sensibilità alle condizioni iniziali e il comportamento caotico. Pochi anni dopo lo stesso Lorenz pubblicò un lavoro basato su un modello di sistema dinamico ancora più semplice, costituito da tre equazioni in tre incognite, che descrive il moto di un fluido riscaldato dal basso. Anche tale sistema, soggetto a forzatura esterna e dissipazione, presentava un comportamento intrinsecamente caotico e un'infinita sensibilità alle condizioni iniziali, nonostante il numero di variabili estremamente ridotto. Questa scoperta si è rivelata di portata fondamentale, ben al di là del campo della meteorologia: il caos non è necessariamente dovuto, come comunemente si riteneva in precedenza, ad

effetti casuali (*stocastici*) o comunque associati all'esistenza di un grandissimo numero di gradi di libertà, come avviene nel caso dell'agitazione molecolare in un gas. Il comportamento caotico di un sistema deterministico appare invece come una proprietà intrinseca di certi sistemi non lineari ed è strettamente associata alla sensibilità alle condizioni di partenza. Quest'ultima proprietà è a sua volta associata al concetto di impredicibilità: in pratica non possiamo prevedere, oltre un certo intervallo di tempo, il comportamento di un sistema caotico, dal momento che non ne possiamo conoscere con precisione infinita lo stato ad un determinato istante, che definiamo come istante iniziale.

Un'altra fondamentale proprietà dei sistemi dinamici forzati e con dissipazione, scelti da Lorenz per meglio comprendere le proprietà dinamiche dell'atmosfera, è quella di possedere un attrattore. Per introdurre questo concetto in relazione al sistema atmosferico, partiamo dalla considerazione che tutto lascia pensare che la circolazione atmosferica non ritorni mai ad uno stato identico ad uno passato. È possibile che su determinate regioni si osservino tipi di tempo tra loro simili, e in effetti questa proprietà di somiglianza è quella sfruttata dalla previsione con i metodi tradizionali. Tuttavia, questo non avviene su scala globale e, comunque, si avranno sempre almeno piccole differenze che faranno sì che due situazioni in apparenza anche molto simili evolvano successivamente in maniera diversa, limitando quindi ad un tempo molto breve (unodue giorni) la validità della previsione basata sugli analoghi. La gran parte della variabilità meteorologica ha a che fare con il caos generato internamente all'atmosfera. E tuttavia, nonostante questa natura caotica, l'atmosferica non 'visita' se non un piccolissimo sottoinsieme degli stati teoricamente possibili secondo le equazioni del moto. Ad esempio, non osserviamo mai alle medie latitudini un'inversione del vento medio zonale, che soffia da ovest verso est. Né si verificano variazioni molto grandi della stabilità verticale dell'atmosfera, misurata dal profilo di temperatura in funzione della quota, e così via. Seguendo il ragionamento di Lorenz, si nota quindi che l'atmosfera, nella sua evoluzione, descrive una successione di stati, il cui insieme complessivo, detto attrattore, non peraltro determinabile nella sua interezza, appare tuttavia come molto limitato rispetto agli stati teoricamente possibili. Il modello a tre componenti di Lorenz possiede esso stesso un attrattore, dalle proprietà geometriche frattali, che fu denominato quasi una decina d'anni dopo, dal matematico francese Ruelle, attrattore strano. L'esistenza di un attrattore, pur implicando una notevole limitazione nelle configurazioni possibili del sistema, non aiuta di molto a prevederne l'evoluzione, anche se è di grande ausilio per definirne le proprietà *statistiche*.

La vicenda scientifica del caos deterministico, come paradigma universale di moltissimi fenomeni anche molto lontani dalla meteorologia, ha avuto grande risalto negli anni settanta e ottanta (le scoperte di Lorenz ebbero una grande risonanza ma con un ritardo di oltre dieci anni!) ed è tuttora alquanto vivace. Si può dire che la storia della previsione contemporanea, per quelli che sono gli aspetti non direttamente connessi

con lo sviluppo dei modelli e dei sistemi osservativi, segue in buona parte, almeno fino alla metà degli anni novanta, le idee precorritrici sviluppate da Lorenz, Nel 1972, Lorenz presentò un risultato che divenne successivamente noto come il paradosso della farfalla, dal titolo "Predicibilità: possono i battiti delle ali di una farfalla in Brasile scatenare un tornado nel Texas?". Lorenz dava al quesito una risposta affermativa ma cauta, indicando che così come certe perturbazioni infinitesime possono effettivamente, in linea di principio, cambiare l'evoluzione dell'atmosfera, altre possono non avere alcun effetto, e comunque non cambiano il clima. Che tuttavia l'atmosfera sia, in molte circostanze, instabile e quindi sensibile a perturbazioni infinitesime, si può facilmente sperimentare con un modello numerico: se si cambia ad esempio la temperatura anche in un solo punto di griglia e solamente di un centesimo di grado, dopo circa dieciquindici giorni, confrontando due simulazioni gemelle, quella perturbata con quella non perturbata, si noteranno differenze crescenti e significative, su una regione in genere molto lontana da quella dove è stata introdotta la perturbazione. In questa crescita degli errori introdotti inizialmente dalle osservazioni consiste il limite intrinseco della previsione meteorologica. Un altro contributo dovuto principalmente a Lorenz nel corso degli anni ottanta è consistito nel definire i limiti di predicibilità dell'atmosfera, distinguendo tra previsione deterministica delle variabili ad un singolo istante e per una singola località dalla previsione di valori medi nel tempo e nello spazio, in termini di deviazioni rispetto all'andamento climatologico. La previsione meteorologica riguarda la prima accezione. In tal caso, il limite massimo stimato non eccede i quindici giorni. Nonostante i recenti progressi, i limiti pratici attuali di previsione si collocano a poco più della metà di tale valore. Sia le imprecisioni nei dati di osservazione che quelle nei modelli contribuiscono, grosso modo in egual misura, a tali limitazioni.

La previsione probabilistica

Una volta accertato il limite nella previsione *deterministica*, si è cercato di affrontare il problema introducendo nelle previsioni degli elementi *probabilistici*. Se infatti non possiamo dire con esattezza se, ad esempio, fra tre (ma anche uno o due) giorni si verificherà, su una certa località, una precipitazione superiore a 20 mm in 24 ore, possiamo però tentare di valutare a priori la probabilità che questo avvenga, cercando ovviamente di far meglio rispetto alla pura stima climatologica. La strada scelta dai meteorologi è quella di tener conto in pratica della sensibilità alle condizioni iniziali e alle caratteristiche e limitazioni dei diversi modelli, effettuando una 'rosa' o insieme (*ensemble*) di previsioni. Ciascuna previsione corrisponde ad una 'corsa' dello stesso modello a partire da condizioni iniziali leggermente diverse (compatibilmente con l'incertezza con cui si ricavano le osservazioni e le successive analisi), oppure a corse di modelli differenti per diversi aspetti, fisici, numerici, di griglia ecc. In questo modo si produce un numero

ragionevolmente elevato (attualmente parecchie decine) di singole previsioni, in grado di fornire una stima sia pur grossolana delle possibili variazioni o discrepanze dei parametri di interesse (nell'esempio precedente la precipitazione) in un dato periodo e per una certa località. Si ottiene in tal modo un'approssimazione della probabilità che un dato evento meteorologico si verifichi o meno, o in altre parole una stima della attendibilità della previsione stessa. Va detto tuttavia che il metodo utilizzato, a causa del numero limitato di previsioni che si possono effettuare contemporaneamente ma soprattutto degli errori nei dati di osservazione e delle imperfezioni dei modelli e nei metodi di assimilazione, non garantisce che la stima della probabilità che si ottiene non sia essa stessa affetta da errori anche notevoli. Molta parte della ricerca recente nel settore della previsione meteorologica è stata rivolta al miglioramento delle previsioni probabilistiche per anticipi da due a dieci giorni.

Quali progressi attenderci nel prossimo futuro?

Fa parte omai della percezione comune il miglioramento dell'attendibilità e del dettaglio anche regionale che hanno assunto le previsioni meteorologiche a breve e medio termine, ossia tra uno e sei giorni. È tuttavia altrettanto evidente che molto resta da fare, sia per quanto riguarda la previsione a breve-brevissimo termine di eventi estremi e/o di forte impatto economico e sociale (piogge alluvionali, temporali, tornado, grandinate, tempeste di vento, uragani, nevicate improvvise ecc...), sia per quanto riguarda l'estensione dell'orizzonte temporale (previsioni a medio e lungo periodo, come le previsioni mensili e stagionali). Da un lato, infatti, i fenomeni più violenti hanno una predicibilità molto limitata nel tempo, e dall'altro le previsioni a lungo termine continuano ad essere, per le ragioni intrinseche già esposte, non molto soddisfacenti rispetto alle esigenze della società.

Se nella trattazione seguita in precedenza si è posto prevalentemente l'accento sull'evoluzione delle idee scientifiche e delle metodologie fisico-matematiche che hanno condotto agli attuali sviluppi della previsione meteorologica con modelli numerici, non deve essere sottovalutata l'importanza del complesso sistema osservativo che è alla base dell'operatività quotidiana dei centri meteorologici. In questo ambito si è assistito a grandi progressi, specie per quanto riguarda i sistemi di *telerilevamento*, ossia di osservazione a distanza, delle proprietà atmosferiche. Sulla scala globale, gli sforzi maggiori sono concentrati sulle missioni satellitari. I satelliti utilizzano *sensori passivi* (principalmente *radiometri* che misurano la radiazione emessa dalla superficie terrestre, dalle nubi e dai diversi strati atmosferici) e *sensori attivi*, ossia strumenti in grado di emettere segnali elettromagnetici e misurarne la componente riflessa dagli strati atmosferici o dalla superficie terrestre. Si tratta di *radar* o (nel caso funzionino nella banda del visibile o dell'infrarosso) di *lidar*. Un utilizzo già in corso di radar presenti a bordo di satelliti è quello di fornire stime dell'altezza e delle proprietà delle onde marine (da cui si possono

ricavare informazioni sul vento superficiale) e di osservare la presenza di precipitazioni. I lidar saranno utilizzati per 'vedere' la presenza di vapore acqueo e aerosol atmosferico, mentre altre tecniche di misura della temperatura e dell'umidità atmosferica a livello globale saranno basate sull'utilizzo dei segnali GPS. I dati ricavati e trasmessi a terra dai satelliti costituiscono un *input* essenziale per i modelli di previsione meteorologica, anche se il loro utilizzo nella previsione numerica è relativamente recente.

Contemporaneamente alle osservazioni dallo spazio, si prevede un incremento di quelle da terra, che riguardano in particolare la messa in rete di strumenti ancora non molto diffusi, come i *radar* meteorologici e i *profilatori di vento*, ossia radar che operano con lunghezze d'onda relativamente grandi e che, puntando verso l'alto, permettono di ricavare direzione e velocità del vento. Il settore delle osservazioni a *mesoscala*, cui principalmente appartengono gli ultimi strumenti sopra ricordati (assieme alle reti di osservazione più tradizionali) è finalizzato soprattutto al miglioramento della previsione e breve e brevissimo termine con un dettaglio spaziale elevato, quale è quello richiesto da fenomeni intensi, come temporali, precipitazioni intense, tornado, *shear* del vento che mette a rischio gli atterraggi, uragani ecc. È questo forse il campo della previsione in cui si concentrano maggiormente gli sforzi per superare le limitazioni tecniche attuali. Occorre essere consapevoli, inoltre, delle limitazioni intrinseche alla predicibilità associate alle instabilità atmosferiche, soprattutto quelle di piccola scala.

Per quanto riguarda le capacità del calcolo numerico, si deve notare che modelli non idrostatici, in grado di descrivere i processi microfisici in maniera adeguata, hanno iniziato ad essere sviluppati verso la fine degli anni '70, ma sono divenuti operativi solo negli ultimi anni e non ancora con la risoluzione spaziale che sarebbe desiderabile. Infatti, nonostante gli enormi progressi del settore del calcolo prima descritti, i calcolatori attualmente disponibili non consentono di operare modelli completi con una risoluzione orizzontale dell'ordine di un chilometro o meno e su aree sufficientemente grandi. Si può tuttavia prevedere che questo sarà possibile entro pochi anni.

Riguardo all'adeguatezza dei dati, i problemi appaiono di maggiore portata soprattutto in termini di costo. Occorrerebbe disporre di informazioni volumetriche delle principali variabili atmosferiche (temperatura, pressione, umidità, vento) ad elevata risoluzione spaziale (circa 1 km o migliori), con elevata frequenza temporale (5-10 minuti) e soprattutto con estesa copertura spaziale. Il radar meteorologico è lo strumento che più si avvicina alle caratteristiche richieste, anche se non fornisce tutte le variabili necessarie. Nonostante che in alcune regioni come gli Stati Uniti e parte dell'Europa siano state già sviluppate reti radar integrate, non è immaginabile a breve termine poter estendere tali reti su aree meno sviluppate e comunque sugli oceani. I satelliti potranno in parte supplire a tali carenze, ad esempio con l'utilizzo di radar a bordo.

Infine, un settore in cui si concentrano sforzi notevoli, ma ancora a livello sperimentale, è quello della previsione mensile e stagionale. Poiché siamo in tal caso in un

ambito temporale decisamente oltre il limite di predicibilità deterministico, non si può più parlare di previsione meteorologica in senso stretto ma piuttosto di previsione del clima, ossia di valori medi nel tempo e nello spazio dei parametri meteorologici, influenzati meno dalla condizione iniziale che da condizioni al contorno (ad esempio la temperatura degli oceani) o da parametri interni o esterni al sistema (ad esempio una variazione della concentrazione della composizione atmosferica). Si parla in tale caso, secondo Lorenz, di previsione del secondo tipo, per distinguerla da quella ordinaria del primo tipo. Il legame con la previsione meteorologica sta nel fatto che attualmente si sperimentano tecniche di *ensemble*, con modelli globali, accoppiati atmosfera-oceano, analoghi a quelli utilizzati per la previsione a medio termine. Si tratta quindi di un settore intermedio tra la modellistica del clima in senso stretto, usata per produrre scenari climatici futuri, e la modellistica meteorologica in senso proprio. È evidente che la previsione mensile-stagionale riveste una notevole importanza pratica: si pensi alle possibili prospettive per l'agricoltura, l'industria, l'energia, la sanità, il turismo ecc. I risultati attuali sono ancora alquanto limitati, anche se in miglioramento, per le medie e alte latitudini, ma promettenti per le regioni tropicali.

TURBOLENZA DELL'ATMOSFERA E DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

Francesco Tampieri

Ambiente e salute: un argomento di grande interesse, che periodicamente finisce sulla bocca di molti e sui mezzi di informazione. Conoscere i processi che producono gli inquinanti, come questi si muovono in atmosfera (e nel mare), come si trasformano e infine come, e in quale quantità, si depositano nei nostri polmoni (e sulle piante, e sul terreno ed il mare) è importante più o meno quanto conoscerne gli effetti sulla salute, soprattutto nella speranza di imparare a prendere adeguate misure di prevenzione (in attesa, se mai sarà possibile, di minimizzarne la produzione). Inoltre, come ben sapete, i cambiamenti di composizione dell'atmosfera interagiscono con il clima (molta parte del dibattito sugli effetti dell'attività umana sui cambiamenti climatici, con le scelte politiche conseguenti, riguarda proprio quanto rilevanti siano queste interazioni), e questo è un altro argomento di grande attualità. Ecco dunque il quadro di riferimento, all'interno del quale ci concentreremo su due aspetti, uno piuttosto fondamentale ed intrigante, e cioè la turbolenza nell'atmosfera, e uno fortemente applicativo e spesso controverso, e cioè il passaggio dalla conoscenza ai modelli ed infine ai codici di calcolo per simulazioni e previsioni.

Leonardo da Vinci e la struttura della turbolenza

Intuitivamente tutti abbiamo la percezione di cosa sia un flusso turbolento in un fluido, come l'aria o l'acqua. Irregolarità del vento, improvvise fluttuazioni, mulinelli d'aria, vortici e gorghi nel flusso dell'acqua di un torrente: nel moto dei fluidi si manifestano degli aspetti casuali, che perturbano, modificano, il moto 'medio'. La casualità è un primo aspetto che caratterizza i flussi turbolenti.

Tra le più note rappresentazioni del moto turbolento ci sono sicuramente i disegni di Leonardo da Vinci (al quale pare si deve anche il termine turbolenza). Rappresentando il moto dell'acqua a valle di un ostacolo, Leonardo mise in evidenza l'esistenza di strutture (i vortici). Questo secondo aspetto caratterizza il moto turbolento non meno della casualità, e merita particolare attenzione. Le estrazioni del lotto sono un fenomeno tipicamente casuale e scorrelato nel tempo: la probabilità che ciascun numero esca è indipendente dalla storia precedente (naturalmente, su un numero grande di estrazioni, tutti i numeri hanno la stessa probabilità di uscire). Esistono fenomeni casuali che però 'ri-

cordano' la loro storia, hanno una memoria più o meno lunga: il moto turbolento è uno di questi. In effetti, il vento è fatto di refoli e sbuffi, ma ci aspettiamo che un refolo duri un po' di tempo, o che cambi direzione gradualmente nell'arco di qualche secondo. In termini più tecnici, questo significa che esiste una correlazione nello spazio e nel tempo che conferisce una sorta di struttura al campo di velocità: in ogni punto ed in ogni istante non si tratta di moti completamente indipendenti l'uno dall'altro.

Esiste un terzo aspetto che connota la turbolenza: la capacità di mescolamento. L'agitazione molecolare trasmette il calore, secondo il paradigma ben noto che esiste un flusso di calore se si verifica un gradiente di temperatura tra due punti: il rapporto tra flusso di calore (diviso per la capacità termica del fluido e la sua densità) e gradiente è un numero, il coefficiente di diffusione molecolare, che ha a che fare con le proprietà molecolari del fluido (la sua natura, se acqua o aria o olio, per esempio). Anche un flusso turbolento trasporta le proprietà come la temperatura, da un punto all'altro; non sempre nella direzione del gradiente (per colpa della esistenza di una struttura interna) e comunque molto più efficacemente della agitazione molecolare. Inoltre questa capacità di mescolamento non dipende essenzialmente dalla natura del fluido (se acqua o aria o olio) ma dalle caratteristiche del moto (dalla dinamica del flusso). (Notate di passaggio che esiste un altro modo efficiente di mescolare, ben noto a chiunque sappia impastare la pasta da sfoglia o da pane: ripiegamenti e stiramenti ripetuti: qui le velocità sono praticamente nulle, l'agitazione molecolare entra solo in seconda battuta, ma il mescolamento è sicuramente efficace. Nei flussi geofisici tutti e tre i meccanismi hanno un loro ruolo, e questo comincia a farci sospettare quanto possano essere complessi i processi di trasporto in atmosfera).

La conoscenza delle proprietà della turbolenza è essenziale per formulare modelli della dispersione di inquinanti (e poi codici di calcolo). Quanto ho raccontato suggerisce che la descrizione statistica del moto dei flussi turbolenti sia uno strumento matematico particolarmente indicato per tale formulazione (anche se non è l'unico). Per inquadrare il problema vorrei citare in breve qualche punto saliente della storia della ricerca nel campo della dinamica dei fluidi e della turbolenza.

Un poco di storia

Osservazioni rilevanti sul comportamento dei fluidi datano all'età classica (la forza dovuta alle differenze di densità o spinta di Archimede), ma si arriva all'inizio dell'800 per avere la formulazione matematica delle leggi del moto (le equazioni cosiddette di Navier-Stokes, formulate dapprima da Claude Navier nel 1823, e poi riformulate da Jean-Claude Barré de Saint-Venant nel 1843), poi confermata all'inizio del '900, sulla base della descrizione esatta, microscopica, molecolare, dei fluidi, da Sydney Chapman e David Enksog.

Tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, per opera di Joseph Boussinesq, Geoffrey Taylor ed altri, si cominciò a proporre che le proprietà di mescolamento nel flusso dei fluidi potessero essere interpretate attraverso una similitudine con l'effetto molecolare. Detta in modo un po' semplificato, se misurate un flusso di una sostanza, ed il gradiente di concentrazione di tale sostanza, potete farne il rapporto e determinare il coefficiente di diffusione caratteristico di quel flusso turbolento. Utilizzando questa ipotesi potete ricondurre i problemi di dispersione nei flussi turbolenti alle soluzioni note per l'equazione del calore nei fluidi viscosi (per la quale è disponibile un'ampia letteratura matematica). Trattandosi di un'ipotesi empirica, di un modello, funziona solo in casi specifici, e il suo utilizzo indiscriminato ha portato a grandi progressi e altretanto grandi errori nella formulazione di codici di calcolo, con tutte le conseguenze nelle applicazioni pratiche.

Un'altra pietra miliare è il famoso esperimento di Osborne Reynolds, pubblicato nel 1883: in breve, Reynolds osservò che il comportamento del flusso di un fluido cambia in modo essenziale, quando un parametro, che prende il suo nome (numero di Reynolds, Re) e che è dato dal prodotto tra velocità e scala spaziale (per esempio, il diametro del tubo se osserviamo il flusso in un tubo), diviso per la viscosità cinematica del fluido, supera un valore critico (dell'ordine di 1000). Quando Re è piccolo rispetto al valore critico, il moto del fluido è laminare, la viscosità (cioè l'attrito interno) è dominante nel limitare ogni irregolarità nell'evoluzione del campo di velocità. Le proprietà del moto sono diverse da fluido a fluido (proprio perchè l'attrito interno, che è legato alla natura fisica del fluido, è importante); il mescolamento avviene grazie alla sovrapposizione del moto ordinato (ma non necessariamente, o facilmente, predicibile) con la diffusività molecolare. Quando Re supera il valore critico, il moto diventa disordinato, ha una struttura che si mantiene grazie alla dinamica (ai gradienti di pressione) ed è largamente indipendente dalla natura del fluido: il flusso è turbolento, e la viscosità gioca un ruolo molto speciale, ma non influenza la struttura globale del moto.

Questa prima parte della storia finisce con il 1904, anno in cui Ludwig Prandtl identificò l'esistenza degli strati limite. Si tratta di un'idea fondamentale, perchè ci racconta che, anche se Re è molto grande e quindi il flusso è sostanzialmente indipendente dall'attrito interno, vicino ad una parete solida, per esempio, l'attrito torna ad essere importante. Il mondo reale è pieno di strati limite, e per questo quando si insegna la dinamica dei fluidi si dovrebbe cominciare dai flussi influenzati dalla viscosità, e poi passare al caso in cui la viscosità non è importante (meglio, è importante, ma non determina il moto a grande scala).

Naturalmente ci sono stati grandi progressi nello studio del moto dei fluidi, ma la faccenda intrigante è che le equazioni sono sempre lì, e non si conosce il modo di risolverle esattamente (non sappiamo neppure se esista una soluzione formale unica globale: c'è in ballo un premio di un milione di dollari!). Conosciamo soluzioni particolari;

i calcolatori ci aiutano a risolverle numericamente introducendo solo piccole approssimazioni che per molti problemi pratici sono ragionevolmente irrilevanti; e di questo dobbiamo fare tesoro per affrontare le questioni applicative. Ma prima di arrivarci, vi racconto una seconda parte della storia, che riguarda nello specifico la dispersione turbolenta.

Il paradigma diffusivo: il moto browniano

Un salto all'indietro, nel 1905: Albert Einstein pubblicò la sua interpretazione del moto browniano, come manifestazione della struttura molecolare del fluido in cui le particelle (browniane, appunto) sono immerse. Il moto casuale delle 'piccole' molecole, su scale spaziali e temporali che non possiamo, né vogliamo, risolvere, produce un moto ancora casuale della 'grande' particella browniana, su scale spaziali e temporali che risolviamo. Inoltre, mentre se consideriamo una sola particella non possiamo prevedere dove la troveremo dopo un intervallo di tempo t, possiamo calcolare quanto grande sarà una nuvola di particelle che partono dallo stesso punto (una sorgente puntiforme) dopo lo stesso intervallo di tempo: il diametro della nuvola cresce con la radice quadrata di t (in altri termini, la varianza della distribuzione delle posizioni delle particelle browniane cresce proporzionalmente al tempo). Oltre ad aver spiegato la natura del moto browniano, con questo lavoro si aprì la strada all'idea di legge statistica: non possiamo conocere il moto esatto di una particella, ma possiamo conoscere esattamente il comportamento (in senso statistico) di una popolazione di molte particelle (in questo caso, possiamo conoscere la legge che governa l'evoluzione dei momenti primo e secondo, media e varianza, della distribuzione delle posizioni delle particelle).

La dispersione in un semplice flusso turbolento

Nel 1921 Geoffrey Taylor risolse il problema della legge di crescita di una nuvola di particelle (prive di massa e di inerzia: particelle di fluido, come se potessimo distinguere, colorandole, piccole nuvolette di molecole) in un flusso turbolento dotato di proprietà di stazionarietà e di omogeneità spaziale (per Re che tende all'infinito). Per tempi 'piccoli' la dimensione (il diametro) della nuvola cresce linearmente con il tempo; per tempi 'lunghi' cresce con la radice quadrata del tempo (come in caso di moto browniano!). Ma 'piccoli' e 'grandi' rispetto a cosa? Rispetto al tempo di correlazione della turbolenza, ossia rispetto ad una misura di quanto tempo ci impiega il flusso turbolento a dimenticare le condizioni iniziali del moto. Ecco che si ritrova l'idea di struttura nel flusso turbolento: se osserviamo il comportamento della nuvola di particelle per tempi brevi rispetto alla vita delle strutture (tempo di correlazione) le particelle si muovono in modo più o meno organizzato, e ognuna si allontana dal punto iniziale con la propria velocità, simile a quella dell'istante iniziale. Ma se ne osserviamo il compor-

tamento per tempi lunghi rispetto al tempo di correlazione, il moto della particella non ricorda la struttura del flusso, come nel caso del moto browniano (e delle molecole che si muovono indipendentemente l'una dall'altra), e la legge di crescita è la stessa. Questo è il comportamento diffusivo, e significa che osserviamo una legge di crescita che corrisponde ad un moto delle singole particelle che è organizzato su scale spaziali e temporali più piccole di quelle alle quali ci stiamo interessando. Non si ha invece diffusione nel caso in cui la scala delle strutture che producono il moto è rilevante per il nostro problema (cioè osserviamo il trasporto su scale dello stesso ordine).

Questo lavoro di Taylor pose le basi per lo studio della dispersione assoluta, cioè della dispersione di particelle (di inquinanti) considerate ciascuna come 'indipendente' dalle altre (proprio come ogni particella browniana si muove senza sapere, o tener conto, del moto di altre particelle browniane). Se le condizioni sono ragionevolmente stazionarie ed omogenee, si può fare la media su tante particelle rilasciate allo stesso istante, o rilasciate ad istanti diversi, dalla sorgente, ed ottenere gli stessi risultati in termini di statistica delle posizioni a intervalli di tempo prefissati. C'è un altro problema che caratterizza la dispersione turbolenta in modo nettamente diverso dal processo browniano: cosa accade (in termini statistici, ovviamente) ad una coppia di particelle rilasciate allo stesso istante a distanza fissata (e piccola rispetto alla scala spaziale della correlazione)?

Una prima risposta fu data da Lewis F. Richardson nel 1927: la varianza della separazione tra due particelle cresce in una prima fase proporzionalmente al quadrato del tempo, ed in seguito più rapidamente, come il cubo del tempo. Infine, quando le particelle sono abbastanza lontane (più lontane della lunghezza di correlazione) la varianza cresce come il tempo: in questa ultima fase ogni particella è indipendente dalle altre e quindi ci si riconduce al caso della dispersione assoluta, 'alla Taylor'. La spiegazione della crescita 'accelerata' (la fase del tempo al cubo) si trova, come Richardson intuì, nella natura del flusso turbolento, che non è costituito da strutture di una dimensione unica (la scala di correlazione spaziale) e con una durata temporale unica (la scala di correlazione temporale) quanto piuttosto da un insieme di strutture le cui scale variano con continuità. Le più piccole strutture sono quelle la cui dinamica è influenzata dalla viscosità (e quindi la scala più piccola è legata alla natura fisica del fluido); le più grandi sono quelle delle scale spaziali e temporali di correlazione (e non dipendono dalla natura del fluido, ma dalla dinamica del flusso). Tra questi due estremi esistono strutture (vortici), la cui dinamica è simile indipendentemente dalla scala, che traggono energia da quelle più grandi e a loro volta alimentano quelle più piccole. Come molti sanno, questa intuizione fu condensata da Richardson in versi molto efficaci: "Big whirls have little whirls/that feed on their velocity,/and little whirls have lesser whirls/ and so on to viscosity/in the molecular sense".

La presenza di questa 'cascata' di vortici ha l'effetto di accelerare la separazione,

poiché man mano che le due particelle si allontanano tra di loro, vengono coinvolte nel moto di vortici progressivamente più grandi, e quindi la loro separazione risulta ulteriormente accelerata. Potete certamente intuire che questo aspetto della statistica della separazione getta una luce interessante sulla struttura della turbolenza, anche a prescindere dal problema della dispersione: si tratta in effetti di una specie di banco di prova per ogni studio teorico che riguardi la turbolenza.

La struttura universale dell'intervallo inerziale

Concludiamo anche questa seconda tappa della nostra storia, dedicata ai fondamenti della conoscenza della dispersione, con Andrei Nikolaevic Kolmogorov. Pur essendo un personaggio con una forte propensione per la matematica (studiando i processi stocastici rischiate di imbattervi per esempio in un'equazione che porta il suo nome), egli si rese conto che progressi nello studio della turbolenza possono essere fatti unendo lo studio teorico e matematico delle proprietà delle equazioni con l'osservazione empirica e l'analisi dei dati (proprio a causa della impossibilità di maneggiare totalmente le equazioni del moto). Nel 1941 egli formulò la teoria dell'intervallo di vortici di cui abbiamo discusso prima a proposito di Richardson, in un lavoro che costituisce uno dei capisaldi della ricerca sugli aspetti fondamentali della turbolenza. La teoria fornisce previsioni quantitative, la cui verifica sperimentale ne ha consolidato le basi (e gli scostamenti dalle misure sono stati assai fruttuosi per successivi sviluppi e generalizzazioni). Inoltre ci dice che questo intervallo di vortici ha caratteristiche universali, cioè lo possiamo trovare in ogni flusso turbolento, in condizioni ragionevoli di stazionarietà e di omogeneità locali.

Abbiamo imparato dunque che il flusso turbolento è caratterizzato da molteplici scale del moto, delle quali le più grandi dipendono dalle condizioni al contorno che determinano il flusso, e le più piccole dipendono dalla natura fisica del fluido (in particolare dalla viscosità, o attrito interno). I risultati di Kolmogorov ci assicurano tuttavia che comunque esiste un intervallo di scale con caratteristiche universali (che non dipendono né dalle condizioni al contorno a grande scala, né dalla natura fisica del fluido) e poiché conosciamo tali caratteristiche, possiamo farne uso per nostri modelli, senza bisogno di verificarne tutte le volte l'esistenza.

Verso le applicazioni ai problemi ambientali

Si può concludere che la dinamica dei fluidi è una scienza ben stabilita, che contiene tuttavia molti aspetti la cui comprensione non è definitivamente assicurata.

Tuttavia, sotto la pressione delle emergenze ambientali, la società ha chiesto risposte a quesiti del tipo: possiamo prevedere il comportamento degli inquinanti emessi da

certe sorgenti, in certe località, sotto certe condizioni meteorologiche? Possiamo simulare ciò che accadrebbe se costruissimo un certo impianto industriale, o aumentassimo il traffico, o modificassimo in qualche modo le modalità di trasporto delle merci? Tentare risposte significa fare misure e costruire modelli e codici di calcolo.

Possiamo cercare di valutare quanto attendibili siano le risposte cercando di capire quali sono gli ingredienti che occorrono per dare la risposta. Già solamente in termini di trasporto turbolento abbiamo visto che non tutto è ovvio.

Una parentesi. Gli studi sulla dispersione sono iniziati per motivi bellici, legati all'uso di gas nocivi di varia natura che erano immessi in atmosfera (prima guerra mondiale) e non sempre raggiungevano l'obiettivo previsto (il nemico).

Negli anni '50 il problema affrontato fu quello delle emissioni industriali e della dispersione da sorgenti piccole, intense, spesso note (o comunque le cui caratteristiche è possibile conoscere, almeno in linea di principio). La teoria di Taylor della dispersione assoluta, opportunamente integrata da un'adeguata conoscenza delle condizioni dell'atmosfera vicino al suolo (lo strato limite planetario) si prestava eccellentemente a costituire la base di partenza per costruire modelli matematici della dispersione e poi trasferirli in codici di calcolo che avrebbero dato una risposta alla domanda: dove va a finire l'inquinante emesso della sorgente? Dunque, si trattava di semplificare il problema immaginando sostanze inerti (cioè che reagiscono lentamente), senza inerzia (gas e non particelle, ovvero particelle molto piccole): d'altra parte il principale inquinante preso in considerazione a quel tempo, il biossido di zolfo SO2, si comporta approssimativamente in questo modo.

Modelli di dispersione di gas inerti

Partendo da questo schema semplificato, ma realistico, fu sviluppata una generazione di modelli di dispersione, che privilegiava lo studio della diluizione dell'inquinante rilasciato in atmosfera, e quindi gli effetti della turbolenza sulla concentrazione. Non solo, ma della teoria della dispersione assoluta si prendeva in considerazione principalmente la fase finale, diffusiva.

Un poco perché i dati scarseggiavano, un poco perché quando non sappiamo una cosa cerchiamo di trovare buone scuse per trascurarla, la parte meteorologica del problema veniva solitamente ridotta a considerare il vento misurato in un punto rappresentativo del trasporto, e ad assumere l'esistenza di condizioni stazionarie per intervalli di tempo decisi sulla base della disponibilità delle misure (per esempio, un'ora).

In realtà questo schema concettuale si basa su alcune ipotesi che di rado sono verificate tutte assieme. In prima istanza intuiamo che non sempre la dispersione è provocata da moti (vortici) che agiscono su scale spaziali piccole rispetto alla dimensione della nuvola di inquinante. Durante il giorno, quando il riscaldamento della superficie del suolo provocato dal sole è intenso, si sviluppano moti convettivi (masse d'aria della

dimensione orizzontale dell'ordine di qualche metro, fino a decine di metri, che sono dotati di velocità verticale positiva, verso l'alto, accompagnate da masse d'aria che scendono, più estese, meno veloci) la cui scala verticale è dell'ordine di un km, in estate: questi vortici sono grandi tanto, o più, di ogni nuvola di inquinante rilasciato da una piccola sorgente! Nello stesso tempo, ci si è resi conto (e si è iniziato a trattare il problema) che il campo di velocità dell'atmosfera (il vento) non è né omogeneo né stazionario, che la topografia e le diverse condizioni della superficie e l'evoluzione delle forzanti (il ciclo giorno/notte, le condizioni meteorologiche, i fronti, ecc.) inducono importanti effetti. Siamo ancora lontano dalla capacità di trattare con sicurezza tutte queste faccende, ma per lo meno ne abbiamo coscienza, e, senza mettere i vecchi modelli nel cestino (anche se forse sarebbe meglio!), nuovi modelli e schemi di calcolo sono a disposizione per valutazioni meno insicure.

A questo punto vorrei sintetizzare lo stato della situazione 'modello gas inerte' come segue. Da circa 20 anni esiste uno schema matematicamente ben fondato (anche se assolutamente non banale da applicare) che ci permette di formulare modelli e codici di calcolo che non contraddicono le nostre conoscenze attuali. Così possiamo tener conto principalmente dell'evoluzione temporale e delle variazioni spaziali del campo di vento e della turbolenza, e del fatto che in generale la scala del meccanismo che produce mescolamento non è più piccola della scala spaziale della nube di inquinante che viene mescolata. Ci sono indubbiamente problemi, ma questo schema è disponibile. Ora, sorprendentemente, questo approccio è considerato quasi avveniristico. Naturalmente nessuno esplicitamente ammette di voler usare concetti errati; molto dipende dal fatto che le verifiche sono difficili ed ambigue e che la nostra conoscenza è comunque limitata (e che quindi si applica il ragionamento che al buio tutte le vacche sono nere). Come osservò (e scrisse) un famoso collega molti anni fa, la cosa veramente sorprendente è che nessuno si sorprenda o si scandalizzi del fatto che modelli palesemente errati diano risposte considerate accettabili.

Gli inquinanti gassosi sono chimicamente reattivi

In parallelo con l'evoluzione della conoscenza della atmosfera, si è delineato un altro punto fondamentale che ha messo in crisi il semplice schema del tracciante passivo. Studiando ad esempio la qualità dell'aria nelle città con attenzione, si realizzò presto che le sostanze emesse dal traffico avevano un effetto diretto sull'inquinamento (sono degli inquinanti primari) ed uno indiretto, non meno importante: attraverso trasformazioni chimiche di varia natura, si producono ulteriori inquinanti, il cui effetto non è meno rilevante di quello dei primari. L'esempio classico è costituito dallo smog fotochimico, rivelato forse inizialmente a Los Angeles come grande problema urbano, legato alla produzione di ozono dovuta alla presenza/assenza di ossidi di azoto.

La presa di coscienza dell'importanza delle trasformazioni chimiche degli inquinanti

presenti nell'atmosfera ha stimolato le indagini sulla chimica dell'atmosfera e sull'impatto di tale conoscenza sulla modellistica, la simulazione e la previsione della qualità dell'aria. Non solo più trasporto e dispersione, ma anche trasformazioni. Naturalmente poiché non si può trattare tutto (fare un modello di tutto), quando l'attenzione si spostò sulla qualità dell'aria urbana i problemi di trasporto vennero inizialmente semplificati al massimo (i cosiddetti modelli a box prendevano in considerazione grossi volumi di atmosfera che si supponeva essere ben rimescolata) concentrandosi sulla chimica: e quanto più si è indagato, tanto più si sono capite le complessità e la varietà delle reazioni chimiche che coinvolgono innumerevoli composti. Attualmente modelli che descrivono l'evoluzione della composizione chimica dell'atmosfera trattano decine di composti chimici e centinaia di reazioni.

Particelle inquinanti: gli aerosol

Proprio lo studio della qualità dell'aria urbana portò alla ribalta un ulteriore aspetto del problema dell'inquinamento, che pur essendo ben noto non era stato forse adeguatamente valutato: il fatto che oltre ai gas esistono in atmosfera gli aerosol, le particelle (solide o liquide). Così come sono state identificate numerose specie gassose importanti; nel caso dell'aerosol avrete una gamma di dimensioni (dalla dimensione delle grosse molecole, fino ai centesimi di mm), di forme geometriche e di composizione chimica. Inoltre, le particelle sono dotate di massa e di inerzia, cioè sedimentano nel campo di gravità, e diffondono diversamente dalle particelle di fluido (proprio perché dotate di inerzia, una volta avviatasi in una determinata direzione una particella solida non si lascia convincere facilmente a cambiare direzione come farebbe una 'particella' di fluido). E non è finita: le caratteristiche della popolazione di aerosol variano nel tempo, perché le particelle molto piccole tendono a coagulare, formandone di più grosse. Quindi dovete immaginare una situazione estremamente dinamica, che comprende trasformazioni da una dimensione all'altra, trasporto differenziato secondo le dimensioni, reazioni chimiche sulla superficie delle particelle. E inoltre, particelle che si formano a causa di reazioni tra gas (particelle secondarie) e particelle che favoriscono (catalizzano) reazioni tra gas. Se fare modelli di gas reattivi era stata un'impresa non da poco, trattare in modo dettagliato la dinamica della popolazione di aerosol è tuttora un problema al di sopra della capacità dei modelli disponibili, soprattutto se volete fare un'applicazione atmosferica.

Sorgenti e pozzi: emissioni e deposizione

Infine (in fine veramente?) ci poniamo un ulteriore problema: dovremo fare un bilancio di quanto entra e di quanto esce dall'atmosfera. Abbiamo parlato di trasporto, di dispersione e di trasformazioni chimiche, ma per avere un quadro completo occorre sapere cosa, dove, quando gli inquinanti entrano in atmosfera e come ne vengono rimossi. La prima parte del problema consiste nella definizione delle sorgenti: e mentre all'inizio abbiamo pensato a sorgenti puntiformi, note (le ciminiere) quando si ha a che fare
con una città avrete sorgenti distribuite, di emissione incerta (pensate al traffico), variabile nel tempo in base a fattori solo in parte noti o prevedibili. Poi dovreste sapere
cosa queste sorgenti emettono, ed anche questo non è sempre ovvio. Infine, ci sono
sorgenti ancor meno controllate dei bruciatori per riscaldamento o dei motori, come i
fuochi, o quelle naturali come lo spray marino o le sabbie dei deserti.

Lo studio delle emissioni e la realizzazione degli inventari delle sorgenti è diventato un grosso problema autonomo e ha bisogno di sforzi a livello globale: non ha a che fare direttamente con il problema della dispersione, ma è senz'altro un ingrediente critico per progettare modelli plausibili della qualità dell'aria.

La seconda parte consiste nell'affrontare il problema della rimozione degli inquinanti dall'atmosfera. Entrare nel dettaglio di questi processi, e poi incorporarli nei modelli, significa ficcarsi in un ginepraio. Vale la pena tuttavia di prendere in considerazione alcuni aspetti chiave dell'intero problema, perché sono interessanti in se ed istruttivi in generale.

Intanto possiamo osservare che esistono due classi di meccanismi 'macroscopici', la rimozione secca e la rimozione umida. La prima avviene perché la turbolenza trasporta sostanze presenti nell'aria da regioni ad alta concentrazione verso regioni a bassa concentrazione (effetto della diffusione). Quindi, se per esempio il suolo cattura una certa sostanza, per esempio un gas, ecco che vicino al suolo la concentrazione sarà bassa ed avremo diffusione verso la superficie: questa diffusione sarà dominata dalla turbolenza, indipendentemente dalle caratteristiche della specie che viene trasportata. Ma poi (ricordate lo strato limite di Prandtl?) vicinissimo al suolo il flusso d'aria è influenzato dalle proprietà molecolari (la viscosità del fluido), ed anche il trasporto dipenderà dalla diffusività molecolare di ciò che è trasportato, e quindi dalle sue caratteristiche fisicochimiche. Questo secondo aspetto dunque sarà in generale diverso da inquinante a inquinante: moto browniano e diffusione molecolare (che avevamo potuto trascurare considerando il trasporto turbolento lontano dalle superfici) diventano ingredienti fondamentali.

Durante il processo di rimozione secca dunque le sostanze da rimuovere debbono essere trasportate (dalla turbolenza) verso ciò che le rimuove: il pozzo, come si dice. Nel caso della rimozione umida è invece il pozzo che si va a cercare gli inquinanti da rimuovere, in senso lato. Si tratta, infatti, della rimozione che avviene quando in atmosfera abbiamo pioggia o neve o nebbia: acqua liquida o ghiaccio che attraversa strati di atmosfera, catturando ciò che vi si trova. I meccanismi fisici e chimici che agiscono sono quegli stessi processi a scala molecolare di cui abbiamo parlato prima: gas e particelle si depositano su grosse gocce o cristalli di neve perché esistono la diffusione molecolare, il moto browniano, le proprietà chimiche di solubilità di gas in acqua, eccete-

ra. Qui la difficoltà a quantificare questi fenomeni sta nel numero e nella varietà di scale temporali e spaziali coinvolte: la pioggia, per esempio, è legata allo sviluppo di fronti a scala sinottica o mesosinottica (diciamo dell'ordine di 100-1.000 km), ma poi la precipitazione stessa e la sua intensità sono fortemente variabili su scala locale (dell'ordine dei km), ed infine i meccanismi di cattura agiscono su scale dell'ordine dei millimetri.

Per concludere questo discorso sulla rimozione, potremmo osservare che la legge che descrive il moto di particelle solide (piccole, sferiche) a bassa velocità in un fluido è dovuta a Stokes (sempre lo stesso!): è un caso in cui si riesce ad ottenere una semplice soluzione. Tale legge è alla base di molto del lavoro fatto in seguito per modellare la cattura delle particelle di aerosol (le 'polveri', più o meno fini) e questa osservazione ci suggerisce ancora una volta come la ricerca ed i modelli sulla qualità dell'aria si basano su conoscenze di base spesso antiche, spesso consolidate (non sempre) e che molto di ciò che ci manca ha a che vedere con la complessità dei fenomeni e le interazione reciproche.

Una nota per finire

Concludendo, possiamo osservare che da un lato conosciamo piuttosto bene molti processi (non tutti) importanti per la previsione della qualità dell'aria, e dall'altro siamo piuttosto scarsi nella simulazione e previsione: c'è una difficoltà intrinseca (le equazioni, l'impossibilità di realizzare esperimenti 'classici', nel senso di esperimenti di laboratorio: l'atmosfera non si ripete!) ed una serie di difficoltà superabili (le misure da estendere e migliorare, la capacità di calcolo da aumentare). Questo significa che le risposte che possiamo dare ora sono limitate, e che nello stesso tempo ci aspetta ancora un lavoro di ricerca stimolante per gli specialisti e importante per tutta la società.

CHE COSA SONO E COME SI MISURANO LE POLVERI 'SOTTILI'?

Franco Belosi

Introduzione

In questa comunicazione saranno presentate, in forma semplificata, le principali problematiche relative alla presenza delle polveri ambientali e le metodologie di campionamento; in secondo luogo saranno descritti i risultati dell'attività sperimentale inserita all'interno del progetto didattico 'La Dinamica dell'Atmosfera' promosso dall'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna e dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR (ISAC-CNR) di Bologna, e realizzato presso la scuola polo Liceo Scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' di Forlì.

Un primo aspetto che sarà considerato riguarda la terminologia utilizzata per descrivere le particelle ambientali. Infatti il crescente interesse verso il particolato atmosferico, i suoi effetti sulla salute e sul clima e le possibili azioni per ridurne la loro presenza, specialmente negli ambienti urbani, ha determinato la comparsa di articoli sui giornali, servizi televisivi, dibattiti e convegni dove le particelle atmosferiche sono nominate con diversi termini. I più utilizzati sono i seguenti: PM10, 'sottili', PM2.5, respirabili, fini, toraciche, ultrafini e inalabili. Non sempre l'uso di tali termini è appropriato e alcuni di questi sono poi privi di basi scientifiche.

Il punto di partenza per mettere un po' di ordine sono le ricerche svolte da medici del lavoro ed igienisti industriali, a partire dagli anni sessanta, per la protezione della salute dei lavoratori esposti alla inalazione di polveri (ad esempio i minatori).

Deposizione polmonare

Studi sulla deposizione polmonare, totale e regionale (cioè per regioni dell'apparato respiratorio), delle polveri inalate hanno indicato che nella regione alveolare si depositano particelle con diametro aerodinamico compreso fra 3 e 5 μ m (la definizione di diametro aerodinamico sarà presentata successivamente). Nel campo delle particelle atmosferiche l'unità di misura delle loro dimensioni è il micron: 1 μ m equivale alla milionesima parte di 1 metro. Per avere una rappresentazione grossolana del significato fisico del micron, basti pensare che lo spessore di un capello è pari ad alcune decine di micron.

Le particelle inalate che riescono a raggiungere gli alveoli, e vi si depositano, hanno una probabilità maggiore di produrre dei danni al tessuto polmonare poiché i tempi per

la loro rimozione sono superiori rispetto ad altre regioni dell'apparato respiratorio (ad esempio il naso).

Tali particelle sono state denominate 'respirabili'. Attualmente la frazione respirabile (percentuale delle particelle totali presenti nell'aria e che si deposita negli alveoli) è definita in accordo fra i vari organismi internazionali interessati: UNI-CEN, UNI-ISO, ACGIH. Il primo è l'organismo di standardizzazione europeo, mentre il secondo è quello internazionale; infine il terzo è un organismo americano che storicamente è preso come riferimento nei contratti di lavoro collettivi nel nostro paese, per valutare l'eventuale esposizione professionale dei lavoratori agli agenti chimici presenti negli ambienti di lavoro.

Al momento sono state precisate altre due frazioni di interesse sanitario: l'inalabile (che rappresenta la frazione di polveri avente una certa probabilità di ingresso nelle vie respiratorie sia dal naso che dalla bocca) e la toracica (che costituisce la frazione di particelle che penetra a valle della laringe).

La fig. 20 riporta in forma grafica le tre frazioni, di interesse sanitario, appena descritte. Ad esempio una particella di 10 µm di diametro aerodinamico ha una probabilità del 50% di depositarsi nel tratto tracheobronchiale dell'apparato respiratorio.

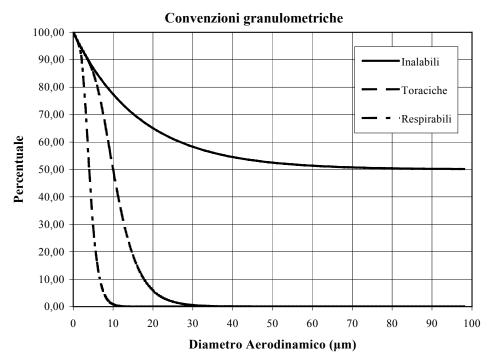


Fig. 20 - Frazioni granulometriche di interesse sanitario: inalabile, toracica e respirabile

Particolato ambientale

Si è visto nel paragrafo precedente che la comunità scientifica costituita da medici del lavoro, fisici sanitari, biologi, igienisti industriali, si è preoccupata degli effetti sulla salute dei lavoratori professionalmente esposti, dovuti alla inalazione di polveri ambientali (in questo caso quelle presenti negli ambienti di lavoro).

Contemporaneamente un'altra comunità scientifica costituita da fisici dell'atmosfera e da chimici ambientali si è interessata alla caratterizzazione, sia chimica che fisica, del pulviscolo ambientale principalmente prodotto dalle emissioni industriali e dal traffico. A titolo di esempio, la tabella seguente (Ministero dell'Ambiente, *Annuario dati Ambientali*, Vol.1, 2003) indica che il traffico è responsabile per circa il 60% delle emissioni totali di polveri ambientali.

Lo studio delle particelle di polvere presenti nell'atmosfera, diversamente da quelle presenti negli ambienti di lavoro, ha portato ad una diversa classificazione delle loro dimensioni.

Tab. 6 - Emissioni nazionali di PM10

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
A	46,0	44,9	44,1	43,8	43,7	40,0	34,0	29,1	26,3	22,1	19,3	17,2
В	18,1	19,9	20,6	19,6	20,7	21,3	21,0	22,8	22,7	25,0	25,6	27,5
С	37,0	35,8	34,9	33,6	32,9	33,9	31,3	29,4	27,7	26,2	24,9	23,6
D	31,9	30,9	30,6	28,9	28,9	30,1	28,4	25,6	25,3	24,6	25,8	25,4
Е	69,5	69,2	71,2	70,8	67,8	66,0	64,5	63,6	62,3	61,4	57,9	58,8
F	28,0	26,7	27,4	29,3	29,1	29,2	29,6	29,6	29,6	28,6	28,6	24,3
G	10,5	16,0	13,9	14,4	13,8	14,3	13,1	14,3	13,8	15,6	13,5	13,5
Н	14,0	2,8	4,3	9,5	4,8	2,9	1,6	4,7	6,2	4,0	6,1	4,8
TOTALE	255,0	246,2	247,1	249,9	241,7	237,6	223,6	219,0	213,8	207,6	201,8	195,0

Fonte: Ministero dell'Ambiente

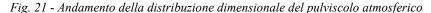
Nel campo della fisica e della chimica dell'atmosfera si è giunti a una generalizzazione della distribuzione dimensionale delle particelle atmosferiche basata principalmente sulla loro origine e composizione. Tale distribuzione, espressa come numero di particelle per unità di volume, è caratterizzata da tre distinte regioni: la prima (modo

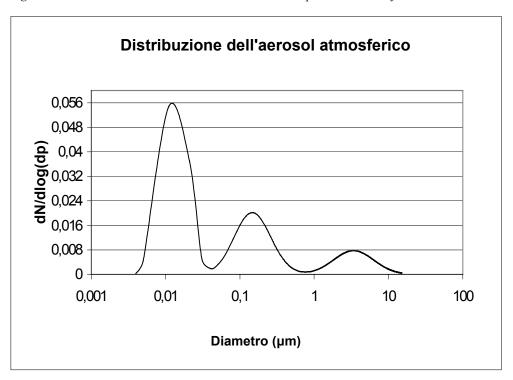
nucleazione), composta da particelle con dimensioni <0,1 μm, è rappresentativa dei processi di combustione e di conversione da gas a particelle (dovuti a processi chimici e fotochimici). Frequentemente il modo nucleazione è denominato frazione ultrafine.

La seconda regione (modo di accumulazione) è costituita dalle particelle con diametro compreso fra 0,1 e 1 μm ed è dovuta a processi di crescita per coagulazione e condensazione delle particelle provenienti dal modo di nucleazione.

Infine, la terza regione (modo grossolano) è formata da particelle con dimensioni maggiori di $1 \mu m$ ed è costituita prevalentemente da particelle prodotte da processi di frammentazione e risospensione.

La fig. 21 riporta un esempio della curva di distribuzione dimensionale delle particelle che compongono il pulviscolo atmosferico. Nell'asse delle ordinate è consuetudine rappresentare il numero delle particelle per intervallo dimensionale; quest'ultimo espresso attraverso il logaritmo degli estremi dell'intervallo stesso. Questa modalità di rappresentazione è dovuta al fatto che la distribuzione delle particelle segue una curva gaussiana purché la variabile statistica, in questo caso il diametro della particella, sia trasformata con il suo logaritmo (in termini matematici la curva di distribuzione si definisce log-normale).





Come si è visto, nel campo ambientale atmosferico, il punto di partenza per la caratterizzazione delle polveri sono le sorgenti che contribuiscono alla presenza del pulviscolo atmosferico, piuttosto che i loro effetti sulla salute.

Le particelle più piccole (modo nucleazione) sono prodotte da processi di combustione (dalle caldaie per il riscaldamento domestico alle emissioni degli autoveicoli alimentati a diesel), o da processi dovuti a trasformazioni chimiche e fotochimiche (smog fotochimico).

Le particelle più grandi (modo grossolano) sono prodotte da processi di emissioni industriali (lavorazioni metallurgiche, centrali di produzione di energia elettrica, ecc.) e da processi di risospensione (ad esempio residui di pneumatici dalle strade). I-noltre in tale intervallo dimensionale vanno considerate sorgenti naturali quali le polveri provenienti dall'Africa, polveri sollevate dal vento e particelle di origine marina (spray marino).

La fig. 22 (tratta da *Aerosol Chemical Processes in the Environment*, Edited by Kvetoslav R. Spurny, Lewis Publishers, 2000, pag. 5), riporta in forma grafica uno schema dei processi di formazione delle particelle ambientali.

La diversità delle sorgenti determina una diversa composizione delle particelle che costituiscono il pulviscolo ambientale. Le polveri grossolane sono ricche di elementi tipici della crosta terrestre (Fe, Si, Al, Ca, Mg); mentre le particelle più piccole (originate da processi di combustione e di trasformazioni gas-particella) che costituiscono il particolato atmosferico di origine secondaria, sono ricche di carbonio, nitrati e solfati. Infine le emissioni industriali sono poi caratterizzate da abbondanza di metalli pesanti (Ni, V, Cd, As, Fe, Cu).

Naturalmente occorre precisare che la distribuzione dimensionale del pulviscolo ambientale, riportata in fig. 21, se fosse espressa in termini di massa delle particelle, sarebbe alquanto diversa; ciò è dovuto al fatto che la massa è proporzionale al cubo delle dimensioni (in prima approssimazione si possono considerare le particelle come delle sfere aventi densità pari a quella dell'acqua). In tale rappresentazione il modo di nucleazione e il modo di accumulazione diventerebbero praticamente trascurabili rispetto al modo grossolano.

Va osservato che l'interesse per le polveri ambientali è dovuto, come ben evidenziato in alcune delle relazioni tenute durante il progetto 'La Dinamica dell'Atmosfera', ai possibili effetti sul clima. In termini sintetici la presenza del pulviscolo ambientale che nel gergo scientifico è indicato come aerosol, interagisce con la radiazione solare determinando un impatto sul clima mondiale. La direzione dell'interazione, ossia se gli effetti vanno nella direzione opposta a quelli provocati dai gas serra o si aggiungono al riscaldamento globale planetario, è tuttora oggetto di approfondite ricerche scientifiche.

Chemical conversion of gases to lowvolatility vapors Hot Lowvapor rolatility vapor Condensation Homogeneou Primary particles nucleation Coagulation Condensation growth Chain aggregates Windblown dust of nuclei **Emissions Droplets** Sea spray Coagulation Volcanos Coagulation Plant particles Rainou and washout Sedimentation 0.002 0.01 0.1 10 100 Particle diameter (µm) Mechanically generated Transient nuclei or Accumulation aerosol range Aitken nuclei range range

Fig. 22 - Processi di formazione del particolato atmosferico in funzione del diametro delle particelle

Schematic sources of atmospheric aerosols in different size ranges

Coarse particles-

Fonte: Aerosol Chemical Processes in the Environment

Fine particles

Qualità dell'aria ed aspetti legislativi

Con il progredire delle ricerche epidemiologiche e a seguito di alcuni eventi di notevole gravità (fra tutti quello relativo all'inquinamento di Londra negli anni Cinquanta), l'interesse per le polveri ambientali è stato diretto anche sugli effetti sanitari; in primo luogo la protezione dei soggetti più deboli della popolazione (anziani e bambini).

Con il termine Qualità dell'Aria si intende lo studio e la caratterizzazione delle sostanze inquinanti, sia gassose che in forma di aerosol, presenti nell'aria al fine di stimare il rischio sanitario per la popolazione. Va sottolineato anche l'interesse verso altri effetti causati dagli inquinanti, fra i quali il deterioramento dei monumenti artistici e storici nei centri urbani. Tuttavia in questo contesto la trattazione sarà limitata al particolato e agli aspetti sanitari.

Come già ricordato, se si esprime la distribuzione dimensionale del pulviscolo ambientale in termini di massa, il contributo maggiore deriva dalle particelle grossolane; facendo inoltre l'ipotesi che il danno arrecato sia dovuto alla quantità (cioè alla massa) di agente nocivo inalato, in quanto veicolato dalle particelle respirate, si arriva alla conclusione che le particelle grossolane sono le più nocive e quindi sono quelle da monitorare con maggiore attenzione.

In base a questo assunto e anche per la maggiore semplicità di campionamento (come sarà descritto nel paragrafo successivo), le prime indicazioni legislative si sono rivolte alla frazione di polveri a maggiori dimensioni.

Le Direttive della Comunità Europea 99/30/CE e 2000/69/CE, recepite dalla nostra legislazione con il Decreto Ministero dell'Ambiente e della Sanità 2.4.2002, n. 60, oltre ad avere introdotto nuovi valori limite per diverse sostanze inquinanti ha sostituito il monitoraggio delle Polveri Totali Sospese (regolato dal dPCM 28/03/1983) con il PM10.

Il termine PM10 indica la frazione di pulviscolo atmosferico costituito da particelle con diametri inferiori a 10 μm aerodinamici (in realtà la curva matematica che definisce tale frazione presenta una probabilità di appartenenza al PM10 per una particella di 10 μm di diametro aerodinamico pari al 50%; tale probabilità sale poi rapidamente al crescere delle dimensioni delle particelle). Il 15/12/2004 è stata poi emanata la Direttiva 2004/107/CE, che prevede l'obbligo di determinare nel PM10 il contenuto dei metalli pesanti (As, Cd, Ni, Hg) e gli idrocarburi policiclici aromatici (principalmente il Benzo(a)pirene) la cui cancerogenità è nota. La determinazione del Pb nel PM10 è invece già prevista dal citato DM 60 del 02/04/2002).

Per quanto riguarda il PM10, a partire dal 01/01/2005 i limiti nazionali ed europei sono i seguenti: $40~\mu gr/m^3$ come media annuale (la medie delle concentrazioni medie giornaliere) e $50~\mu gr/m^3$ come media giornaliera da non superarsi più di 35~volte per anno civile. Quest'ultimo limite è superato abbondantemente in molte città italiane (in particolare quelle situate nella Pianura Padana) sia per la presenza di forti emissioni dovute al traffico sia per le condizioni meteorologiche che non favoriscono la diluizione degli inquinanti. È importante in proposito osservare lo stretto legame fra concentrazione di particolato atmosferico e parametri meteorologici come approfondito in una delle lezioni tenute durante il progetto.

Osservando la fig. 20 si nota che la frazione PM10 coincide, in pratica, con la frazione toracica (vedi paragrafo 'Deposizione Polmonare'), che è mirata alla protezione

della regione toracica (tratto tracheobronchiale più tratto alveolare). Quindi, in prima approssimazione, si può affermare che la frazione PM10 estende alla popolazione i risultati acquisiti per la protezione dei lavoratori relativamente alla frazione toracica.

Seguendo questo percorso è naturale ritenere che le particelle che si depositano negli alveoli siano ancora più nocive, poiché in tale regione dell'apparato respiratorio i processi di rimozione sono molto lenti. Inoltre va considerato che nella popolazione sono presenti dei gruppi particolarmente sensibili (principalmente anziani e bambini) con geometrie dell'apparato respiratorio diverse da quelle dei lavoratori (che si assume siano soggetti sani); perciò è probabile che la deposizione delle particelle negli alveoli di questi gruppi particolari segua un comportamento leggermente diverso rispetto a quello dei lavoratori.

Il PM2.5 può essere pensato come l'estensione della frazione respirabile, definita per i lavoratori, all'intera popolazione. Anche in questo caso PM2.5 indica la massa portata da particelle ambientali con diametri inferiori a 2.5 µm aerodinamici (anche in questo caso la definizione rigorosa prevede il 50% di penetrazione a questa dimensione). Gli studi epidemiologici che cercano di correlare la frequenza di ricoveri ospedalieri e ambulatoriali, per alterazioni a carico dell'apparato respiratorio, con la concentrazione di particolato ambientale, sono concordi nell'affermare una maggiore correlazione con il PM2.5 rispetto al PM10.

Inoltre il taglio dimensionale scelto è vicino alla dimensione che separa le particelle prodotte da processi di frammentazione da quelle ottenute da processi di combustione (il modo grossolano dagli altri modi della fig. 21). Ciò è verificato sperimentalmente analizzando la composizione chimica della frazione PM2.5 che è ricca di solfati e nitrati, metalli pesanti e carbonio con minore presenza di elementi tipici della crosta terrestre. Complessivamente la frazione PM2.5 presenta quindi almeno due motivi di interesse: è quella più rappresentativa dei danni alla salute (si avvicina alla frazione respirabile dei lavoratori) ed è in prima approssimazione un discriminante fra le diverse sorgenti di particolato atmosferico.

Attualmente la metodologia per il campionamento del PM2.5, comunque già diffusa a livello europeo e in questi anni anche a livello nazionale, presenta aspetti analitici e metodologici non completamente risolti in ambito europeo; i limiti normativi sono ancora in fase di discussione.

Gli studi epidemiologici indicano anche una correlazione positiva fra concentrazione di PM2.5 ed alterazioni all'apparato cardiocircolatorio; ciò indica la presenza di meccanismi di interazione fra particelle e tessuti biologici diversi da quelli tradizionalmente considerati e descritti finora. La conoscenza di questi meccanismi non è ancora completa, ma si ha il forte sospetto che le particelle molto piccole (quelle appartenenti al modo di accumulazione della fig. 21) possano attraversare il tessuto biologico ed entrare nella circolazione sanguigna o linfatica.

Pertanto, più le particelle che costituiscono il pulviscolo ambientale (a differenza di quelle presenti negli ambienti di lavoro) sono piccole, maggiore è la probabilità che provochino un danno biologico. Quindi il monitoraggio tende ad investire frazioni dimensionali sempre più piccole quali il PM1 e particelle con dimensioni inferiori; tuttavia in questo contesto si dovranno considerare nuovi parametri fisici più rappresentativi del danno biologico, quali per esempio il numero delle particelle o la distribuzione della loro superficie in funzione del diametro. Attualmente questa parte dello spettro dimensionale è denominata 'frazione ultrafine'.

Pertanto la conclusione di questo paragrafo è diametralmente opposta a ciò che si affermava all'inizio; ciò è solo apparente, poiché l'evidenza che le particelle ultrafini sono nocive non elimina il rischio derivato dalle particelle grossolane, ma ne completa il quadro conoscitivo.

In conclusione le convenzioni più appropriate per la valutazione della qualità dell'aria sono il PM10 e il PM2.5 (nella attesa di una definizione del PM1), con eventualmente l'aggiunta della frazione ultrafine, che implica, però, un mutamento nelle i-potesi fondamentali che hanno guidato finora l'evoluzione degli standard. Infatti, tali particelle presentano un comportamento determinato dalle loro proprietà diffusive (il moto scoperto dal botanico Brown) che rappresenta il principale meccanismo di deposizione nelle vie respiratorie. Si dovrebbero pertanto evitare l'utilizzo di termini come polveri 'sottili' e polveri 'fini'; il primo poiché privo di significato fisico e il secondo in quanto coincidente con il più rigoroso standard PM2.5.

Metodologia di campionamento

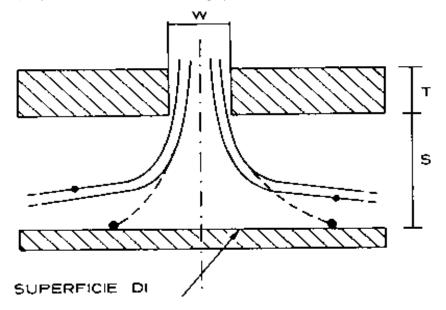
È giunto il momento di descrivere, seppure senza entrare eccessivamente negli aspetti tecnici, la metodologia di monitoraggio del particolato ambientale. Tutti i sistemi di campionamento prevedono l'aspirazione di un volume noto di aria per mezzo di una pompa aspirante (a pale di grafite o a membrana) attraverso un filtro che trattiene il particolato. La tipologia del filtro varia in funzione delle analisi chimiche che saranno effettuate sulla massa campionata, ma in linea di principio esso rappresenta il mezzo di raccolta del particolato. La massa campionata è determinata semplicemente per differenza fra il peso del filtro dopo il campionamento (filtro + particolato raccolto) e quello del filtro prima del campionamento; il rapporto fra tale massa e il volume di aria che ha attraversato il filtro fornisce la concentrazione, espressa in µg/m³, del particolato. Pur se concettualmente semplici le operazioni descritte sono molte delicate e piene di insidie a causa dei piccoli quantitativi di massa che devono essere pesati (dell'ordine del milligrammo o inferiore), per l'interferenza sui filtri del vapore acqueo presente nell'aria e per le operazioni di manipolazione dei filtri. In ogni caso la normativa in vigore precisa tutte le condizioni che devono essere rispettate per i parametri principali

coinvolti nel campionamento. Uno degli aspetti critici nel campionamento è rappresentato dalla tecnica utilizzata per ottenere una delle frazioni dimensionali prima descritte (PM10, PM2.5 o PM1).

Innanzitutto è bene chiarire cosa si intende per diametro aerodinamico. Poiché le particelle ambientali presentano composizione spesso incognita e forme diverse da quella sferica, è opportuno ricondurre il loro comportamento in sospensione a quello di sfere con densità pari a $1000~{\rm Kg/m^3}$: idealmente è come se si scegliesse la sfera che ha lo stesso comportamento in aria della particella reale; il diametro di tale sfera rappresenta il diametro aerodinamico della particella reale. È bene ricordare che tale definizione vale solo per particelle con diametro aerodinamico maggiore di circa $0.5~{\rm \mu m}$ (in quanto le particelle più piccole hanno un comportamento via via meno deterministico poiché soggette al moto browniano).

A questo punto si può introdurre una delle tecniche più diffuse di separazione dimensionale per ottenere una delle frazioni di interesse, ad esempio il PM10. La fig. 23 riporta lo schema di un getto di aria che impatta su un piatto (nella figura è denominata superficie di raccolta); l'aria viene deflessa mentre le particelle, in quanto dotate di inerzia, tendono a seguire il percorso iniziale e vanno ad urtare la superficie di raccolta.

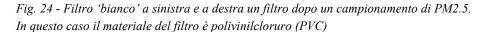
Fig. 23 - Schema del dispositivo di separazione dimensionale per ottenere il PM10 (o le altre frazioni). Il filtro è collocato a valle della superficie di raccolta

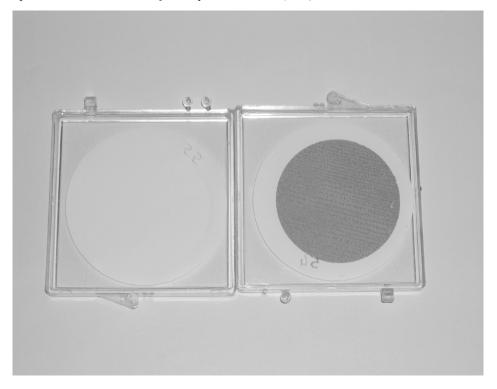


Le particelle più grandi (cioè più pesanti) avranno una maggiore probabilità di essere catturate dalla piastra, mentre quelle più piccole (cioè più leggere) avranno una minore probabilità di cattura o addirittura passeranno indisturbate.

A valle della piastra viene inserito il filtro descritto in precedenza che pertanto raccoglie solo le particelle più piccole di una data dimensione. Studiando opportunamente la geometria e la velocità dell'aria attraverso la piastra, è possibile ottenere il PM10 o il PM2.5 o il PM1 (più difficile perché le particelle hanno una massa modesta).

La fig. 24 mostra una fotografia di un filtro 'bianco', cioè non esposto, e di un filtro dopo 24 ore di campionamento (in questo caso è raccolta la frazione PM2.5).





La fig. 25 mostra una fotografia della superficie di raccolta di un campionatore di PM2.5; le macchie scure sono dovute alle particelle con dimensioni maggiori di 2.5 μ m aerodinamici che non raggiungono il filtro e non vengono quindi pesate.



Fig. 25 - Superficie di raccolta di un separatore per la frazione PM2.5

Un'ultima osservazione sui separatori inerziali (cioè basati sull'inerzia delle particelle). La superficie di raccolta non si comporta come una funzione a gradino: 100% di cattura sopra 10 μ m, ad esempio, e 0% al di sotto. Per una serie di ragioni tecniche la curva di separazione assomiglia ad una sigmoide (in prima approssimazione una S maiuscola) piuttosto ripida. Per questo la definizione corretta di PM10 (e ovviamente delle altre frazioni dimensionali) prevede il 50% di cattura delle particelle da 10 μ m sulla superficie di raccolta e la pendenza della sigmoide.

Il sistema di campionamento descritto fornisce la concentrazione di particolato ambientale dopo 24 ore di campionamento, a cui si devono aggiungere i tempi tecnici per la pesata. In pratica prima di 48 o 72 ore non si conosce il dato. Ciò renderebbe difficoltosa l'adozione di misure volte alla gestione della qualità dell'aria; per questo si sono sviluppati sistemi di campionamento che forniscono la concentrazione in tempo quasi reale (i più diffusi danno un dato di concentrazione ogni ora). Tali sistemi, basati su diversi principi fisici, intervengono a livello del filtro e quindi sempre a valle del separatore inerziale descritto. Esistono infine altri principi di classificazione dimensionale delle polveri ambientali, basati sulle proprietà ottiche delle particelle, ma tali sistemi sono delicati ed utilizzati quasi esclusivamente nei laboratori (anche se in questi anni lo sviluppo della tecnologia cerca di renderli adatti per il monitoraggio ambientale).

Attività sperimentale svolta presso il Liceo scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' (Forlì)

In questo paragrafo saranno sinteticamente descritti i risultati ottenuti dalla attività sperimentale inserita nel progetto 'La Dinamica dell'Atmosfera', che ha avuto lo scopo di consentire ad un gruppo di studenti del Liceo Scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' (Forlì) la partecipazione ad una reale attività di ricerca. Per gli aspetti didattici ed organizzativi si rimanda ad un intervento specifico all'interno del presente volume. In questa sede saranno descritti gli aspetti più tecnici e i risultati ottenuti.

Ogni attività di ricerca prende l'avvio dalla formulazione di alcune ipotesi che si intendono verificare o da aspetti della realtà non ancora indagati. Nel nostro caso gli obbiettivi della ricerca sono stati:

- 1. determinazione delle concentrazioni di PM2.5 nella città di Forlì dove è attualmente monitorato da ARPA solo il PM10;
- 2. confronto fra due metodiche diverse di campionamento del PM2.5;
- verifica (da un punto di vista metodologico) dei provvedimenti relativi alle targhe alterne come misura di contenimento dell'inquinamento da polveri ambientali.

Lo studio è stato realizzato mediante due stazioni manuali di campionamento di PM2.5 (Zambelli, Bareggio-Milano) collocate presso il Liceo. 'Stazioni manuali' significa che al termine di ogni campionamento, della durata di 24 ore, i filtri devono essere sostituti manualmente. Pertanto gli studenti, partecipanti al progetto, sono stati divisi in gruppi di tre allievi ciascuno, che a giorni alterni hanno provveduto a rimuovere i filtri campionati, caricare le stazioni con filtri bianchi e programmare il prelievo per le ore 00 del giorno successivo.

Le differenze fra le due stazioni di misura riguardano i diversi volumi campionati (il doppio nella stazione che segue la normativa europea rispetto a quella che segue la normativa americana) e la modalità di separazione delle polveri.

Una volta campionati, i filtri sono stati consegnati al laboratorio ARPA (Sezione territoriale Forlì-Cesena) per effettuare le operazioni di pesatura della massa campionata con bilancia di precisione. La successiva elaborazione dei dati e la loro interpretazione è stata effettuata dal gruppo di studenti partecipanti al progetto, che si sono fatti carico anche della gestione di una centralina per il monitoraggio dei parametri ambientali e della realizzazione di una pagina web dedicata al progetto.

Un primo aspetto dello studio è rappresentato da quello che in gergo è definito 'controllo di qualità' del dato ottenuto; vale a dire un controllo sugli errori sperimentali (inevitabili) insiti nella procedura di campionamento svolta direttamente dagli studenti. La procedura consiste nell'inserire nelle stazioni di campionamento dei filtri bianchi (già prepesati) e poi rimuoverli e ripesarli. In pratica tali filtri subiscono le stesse manipolazioni dei filtri esposti eccetto il campionamento vero e proprio. L'insieme degli errori sperimentali è costituito dagli errori casuali e da quelli sistematici.

Gli errori casuali sono derivati dalla sensibilità della bilancia (errore strumentale), dalle variazioni nell'umidità relativa, sia dell'ambiente dove avviene la pesatura dei filtri sia durante il campionamento, e dalla procedura di condizionamento dei filtri. Gli errori sistematici sono principalmente dovuti alla manipolazione del filtro che tende inevitabilmente a 'sporcarlo'. La tabella seguente riporta le differenze in peso ottenute sui filtri bianchi.

Tab. 7- Differenza in peso dei filtri bianchi

Numero filtro	Differenza in peso (μg)
80	100
81	170
82	90
23	160
18	170
6	70
7	80
8	100
9	60
10	60
11	140

Indicati in grassetto sono i valori riferiti ad aprile 2005, mentre gli altri valori si riferiscono all'inizio del progetto (marzo 2004). Dalla tabella si ottengono diverse informazioni: innanzitutto la media delle differenze di peso pari a 109 µg che implica un errore sistematico, nel caso del separatore europeo, pari a 2 µg/m³ (ottenuto dividendo la differenza di peso per il volume medio campionato nelle 24 ore), che deve essere sottratto alle concentrazioni misurate. Inoltre la deviazione standard della distribuzione relativa alle differenze di peso fornisce una stima della minima quantità che può essere misurata: pari a 8 µg/m³ nel caso europeo e 18 µg/m³ nel campionatore che segue la normativa americana. Ciò significa che concentrazioni inferiori ai valori indicati non sono quantificabili con la strumentazione e la procedura sperimentale adottata. È evidente che la stazione di misura americana presenta un valore minimo di concentrazione rilevabile eccessivo, rispetto a quella europea: ciò rappresenta un indubbio vantaggio di quest'ultima metodologia.

Un'altra informazione fornita dalla tabella è rappresentata dal fatto che gli errori sistematici, sia all'inizio del progetto che alla fine, sono confrontabili. Ciò significa che l'impegno e l'attenzione degli studenti (in questo caso possono a ragione essere chiamati ricercatori junior) non è venuto meno nel corso del progetto.

La fig. 26 riporta le curve delle concentrazioni di PM2.5, ottenute a Forlì (sono presentati i soli dati ottenuti con lo strumento che segue la normativa europea).

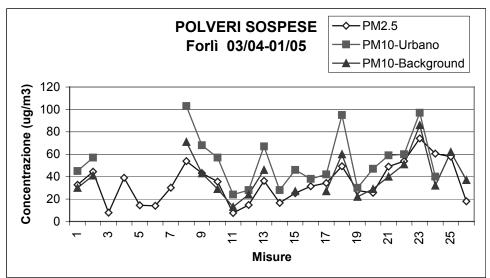


Fig. 26 - Andamento delle concentrazioni di PM2.5. Per confronto sono riportati i valori di Pm10 forniti da ARPA

Nella figura sono riportati valori ottenuti, negli stessi giorni di campionamento, da ARPA per il PM10 con le stazioni urbana (nei pressi del centro città) e fondo (collocata in un parco pubblico). Si osserva che in quest'ultimo caso le concentrazioni di PM10 sono inferiori a quelle rilevate presso la stazione urbana e che entrambe le curve di PM10 sono correttamente sopra la curva di PM2.5 (in termini matematici il PM2.5 è un sottoinsieme del PM10). Anche questo è un indizio della attendibilità dei dati ottenuti.

Infine dalle curve di fig. 26 si rileva che nella stazione di fondo (Parco della Resistenza) il PM10 è prevalentemente composto da particelle di piccole dimensioni, mentre nel PM10 rilevato nella stazione urbana (Piazza Beccaria) il PM10 contiene particelle grossolane. Ciò è in linea con quanto riportato dalla letteratura scientifica, poiché in area urbana si hanno particelle di pulviscolo ambientale di dimensioni maggiori risospese dalla strada a causa del traffico.

La media delle concentrazioni di PM2.5 è risultata pari a 34 $\mu g/m^3$ con una deviazione standard di 17.5 $\mu g/m^3$. Come già ricordato non esistono allo stato attuale valori limite per il PM2.5; indicativamente si prevede di stabilire i 2/3 dei limiti del PM10. In tal caso la media ottenuta sarebbe superiore al limite.

Poiché uno dei giorni di campionamento della settimana era il giovedì, nel quale l'ordinanza comunale imponeva il traffico a targhe alterne, si sono effettuati dei confronti con gli altri giorni della settimana che non hanno evidenziato differenze nel periodo di misura per il PM2.5. Infatti le medie di PM2.5, ottenute nei diversi giovedì

campionati, è risultatati pari a 34 μg/m³, mentre per gli altri giorni della settimana è risultata di 35 μg/m³. Anche questo dato è in linea con quanto osservato anche in altre città dove è in vigore analogo provvedimento. Naturalmente come ricordato questo aspetto della ricerca è di valore più metodologico che statistico, in quanto il numero di campionamenti effettuati è stato piuttosto limitato (8 giovedì di prelievi).

La fig. 28 riporta la curva di confronto fra le due metodologie di determinazione del PM2.5; i punti sperimentali si riferiscono ai giorni nei quali le due stazioni hanno campionato simultaneamente.

Nell'asse delle ascisse sono riportate le concentrazioni di PM2.5 ottenute con il campionatore europeo (CEE), mentre nell'asse delle ordinate quelle ottenute con la stazione di misura americana (EPA). È riportata (linea grigia tratteggiata) la retta di correlazione 1:1, vale a dire se le concentrazioni fossero perfettamente uguali.

In nero è riportata la retta di correlazione (coefficiente 0,1755; piuttosto basso); essa indica che la concentrazione di PM2.5, ottenuta con la stazione americana, è circa 0,785 volte inferiore a quella ottenuta con la stazione europea. In altre parole quest'ultima sovrastima la concentrazione di PM2.5. Globalmente, le due stazioni sono statisticamente differenti (più oggettivamente si è utilizzato il t-test per verificare una differenza statistica fra le due metodologie).

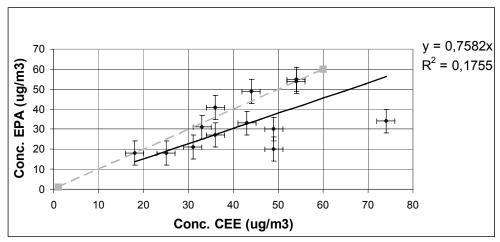


Fig. 28 - Confronto fra le due stazioni di prelievo del PM2.5

È interessante considerare un sottoinsieme dei dati e in particolare le misure in parallelo ottenute fino al 30/11/2004. La fig. 29 riporta, seguendo lo stesso schema della figura precedente, i punti sperimentali limitati a questo periodo.

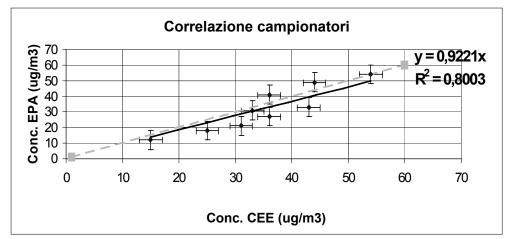


Fig. 29 - Confronto fra le due stazioni di prelievo limitatamente al periodo fino al 30/11/2004

In questo grafico il coefficiente di correlazione è molto più alto (0,800) e i valori ottenuti dalle due stazioni sono statisticamente confrontabili; ciò significa che possono essere utilizzate entrambe le stazioni per monitorare il PM2.5.

Ma cosa è cambiato a partire dal 30/11/2004? Semplicemente non si è effettuata la manutenzione della superficie di raccolta. In dettaglio, fino al 30 novembre ogni settimana (e quindi ogni 2/3 campionamenti) la superficie di raccolta (di entrambi gli strumenti) è stata pulita e cosparsa di un liquido viscoso che riduce il rimbalzo delle particelle campionate. Dopo tale periodo la manutenzione non è stata più effettuata; proprio nei dati successivi a questo periodo si è osservato lo scostamento fra le due stazioni di misura.

Quindi questi dati, pur nella limitatezza del loro numero esiguo, indicano che la manutenzione della superficie di raccolta del PM2.5 è un aspetto critico del campionamento; dove questa manutenzione non è effettuata, si ha la probabilità di sovrastimare la concentrazione di PM2.5 introducendo quindi degli errori sistematici.

Conclusioni

In questa comunicazione si è presentato lo stato dell'arte per quanto riguarda le conoscenze sulle polveri ambientali e sulle metodologie di campionamento. A differenza di quanto spesso accade si è privilegiato un approccio 'fisico' che cercasse cioè di descrivere fisicamente i vari fenomeni implicati. Si è cercato di fare chiarezza sui vari termini impiegati e sul loro significato. Da questo punto di vista si è messo in evidenza che il termine 'polveri sottili' è privo di significato scientifico (in effetti nel titolo è stato appositamente posto tra le virgolette).

Inoltre si sono descritti, da un punto di vista tecnico, la metodologia e i risultati acquisiti durante il progetto sperimentale 'La Dinamica dell'Atmosfera' realizzato presso il Liceo Scientifico 'Fulcieri Paulucci di Calboli' di Forlì. Tale progetto, come più volte sottolineato, ha rivestito i caratteri di una vera e propria attività di ricerca; rispetto agli obiettivi prefissati si sono determinati i livelli di concentrazione di PM2.5 in una zona semicentrale della città e si è verificata la scarsa incidenza delle 'targhe alterne' nella riduzione dei livelli di PM2.5.

È stato effettuato un confronto fra due diverse metodologie di prelievo del PM2.5 che ha messo in risalto l'importanza della manutenzione sulle stazioni di prelievo. Ciò può essere confermato o smentito da ricerche progettate per questo scopo specifico: come capita nel 'mondo della ricerca' frequentemente alla fine delle indagini si hanno nuove domande non previste all'inizio del lavoro.

Ringraziamenti

Ogni lavoro scientifico è sempre debitore verso diverse persone senza il cui contributo non si sarebbe potuto svolgere. La società Zambelli (Bareggio, Milano) per avere fornito parte della strumentazione scientifica; ARPA (Sezione di Forlì-Cesena) per la collaborazione tecnica; il sig. Marcello Tercon e l'ing. Gianni Santachiara dell'ISAC per i preziosi consigli e la realizzazione di una centralina sperimentale di prelievo dell'aria; l'Assistente tecnico A. Scolari per la preziosa assistenza tecnica presso il Liceo e tutto il personale della scuola coinvolto a vario titolo nel progetto.

E 'last but not least' i ricercatori 'junior' del Liceo scientifico senza i quali la ricerca non sarebbe stata possibile: A. Amatruda, S. Antonellini, E. Armuzzi, V. Baccello, V. Campoli, A. Carbonari, G. Carloni, T. Chioccini, S. Colella, J. Costa, F. Curcio, M. Dall'Agata, D. Fattini, M. Fabbri, R. Giunchi, E. Gramellini, F. Guidi, F. Laghi, E. Laghi, S. Letterelli, E. Liverani, P. Longhi, L. Milandri, E. Nanni, M. Pasini, C. Pazzi, A. Scidà, A. Rondoni, R. Talamonti, G. Tassinari, F. Turci, E. Volpe, V. Zambianchi, G. Zoli.

L'ARIA CHE RESPIRIAMO

Carla Nizzoli

L'aria rappresenta una materia prima indispensabile per la vita degli organismi viventi: è infatti fonte dell'ossigeno necessario ai processi di produzione dell'energia che sono alla base della vita e dell'attività cellulare.

La composizione teorica dell'aria, sia essa 'pulita' o 'inquinata', è descritta nella tabella seguente.

<i>Tab.</i> 8 -	Composizione	teorica de	ll'aria
-----------------	--------------	------------	---------

Componente	Formula	Concentrazione
Azoto	N^2	78%
Ossigeno	O^2	21%
Argon	Ar	<1%
Altri	-	<0,1%

Le sostanze 'inquinanti' rappresentano una frazione molto piccola dell'aria, tuttavia a causa della loro tossicità specifica sono in grado di indurre effetti negativi sull'uomo e sull'ambiente

L'inquinamento

La definizione più completa di inquinamento è a tutt'oggi quella presente nel D.P.R. n.203 del maggio 1988:

"Ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di uno o più sostanze in quantità e caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria; da costituire pericolo ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo; da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente; alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati".

Il fenomeno dell'inquinamento atmosferico può essere suddiviso in base all'origine dei fenomeni che lo determinano:

- Fonti naturali: vulcani e sorgenti idriche o gassose paravulcaniche, incendi, scariche elettriche, erosione delle rocce, decomposizione materiale organico, radioattività naturale);

- *Fonti antropogeniche:* dovute all'attività dell'uomo che a loro volta si dividono in fisse e mobili; quelle mobili sono ovviamente tutti i veicoli a motori, quelle fisse sono dovute alle grandi centrali di produzione di energia ed agli svariati processi industriali.

Dalle esalazioni vulcaniche e dall'attività fumarolica in genere vengono riversati in atmosfera, oltre a vapor d'acqua, soprattutto biossido di carbonio, acido cloridrico, idrogeno solforato e particolato.

La decomposizione batterica di materiale organico genera sostanze maleodoranti: ammine alifatiche e mercaptani, composti caratterizzati da odori sgradevoli con soglie olfattive molto basse, metano, idrogeno solforato e ammoniaca.

Gli incendi riversano nell'atmosfera oltre a CO₂, vapor d'acqua e polveri, fumo composto da microparticelle di sostanza incombusta spesso di natura catramosa (IPA).

Le scariche elettriche in atmosfera portano alla formazione di ossidi d'azoto e ozono.

Come si misura l'inquinamento atmosferico?

Per quanto riguarda le Emissioni, si effettuano prelievi di aria direttamente ai punti di emissione degli impianti industriali, mediante metodi manuali o automatici; nel caso delle Immissioni si utilizzano le reti di monitoraggio della qualità dell'aria, unitamente a campionamenti e analisi manuali, modellistica e stime effettuate mediante l'utilizzo di laboratori mobili.

L'obiettivo delle reti si configura nella valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente per la definizione delle politiche generali in materia; tali politiche devono essere attuate dallo Stato e dagli enti locali, per la salvaguardia della salute della popolazione e per la protezione degli ecosistemi e della vegetazione.

Diversa è anche la legislazione cui fare riferimento, infatti, nel caso di emissioni convogliate, i limiti di legge sono limiti che, sebbene siano volti alla salvaguardia della salute e dell'ambiente, derivano dall'applicazione della miglior tecnologia disponibile (BAT - *Best Available Technology*) ad ogni particolare tipologia produttiva; nel caso delle immissioni si parla di valori massimi consentiti di concentrazione totale per singolo inquinante, riferiti ad un tempo di esposizione, con l'obiettivo di protezione della salute dell'uomo nel senso più ampio, non solo assenza di malattie, ma uno stato di completo benessere sociale per tutti gli individui, compresi i gruppi di popolazione particolarmente sensibili.

Ma quali sono gli inquinanti che si ricercano in atmosfera?

- L'inquinamento di origine antropica, su piccola scala, è caratterizzato da due principali tipologie di inquinanti:
- *ubiquitari:* derivano principalmente da processi di combustione e sono emessi sia direttamente, sia in seguito a reazioni secondarie con altre sostanze presenti in atmosfera;

- *specifici*: non generalizzabili, strettamente connessi alla tecnologia produttiva dei singoli insediamenti.

Il rilevamento di inquinamento atmosferico va condotto per classi di inquinanti che risultano essere indicatori di particolari fenomeni di impatto sull'ambiente.

Nel caso di indagini su punti di emissione, ci si concentra su inquinanti specifici, tipici di insediamenti produttivi presenti in una particolare area, mentre per uno studio sulla qualità dell'aria ambiente, l'attenzione si focalizza su gli inquinanti ubiquitari.

In genere, parlando di inquinanti di tipo ubiquitario, ci si riferisce a monossido di carbonio, ossidi di azoto, biossido di zolfo, particelle sospese di varia granulometria, metalli pesanti, benzene e altri idrocarburi aromatici e ozono; inquinanti questi per i quali esistono valori limite o guida da rispettare.

Se dalla piccola scala passiamo ad esaminare invece il problema dell'inquinamento atmosferico su scala globale, molti altri inquinanti partecipano al risultato finale che si chiama 'effetto serra', 'buco dell'ozono' e 'piogge acide', quali i clorofluorocarburi, il metano, l'anidride carbonica ecc.

I principali fenomeni dell'inquinamento atmosferico

Smog

Il termine 'smog' nacque in Gran Bretagna dall'abbreviazione di 'smoke-fog' e fu usato da Des Voeux nel 1911 alla Conferenza di Manchester per spiegare la morte di 1063 persone che avvenne nel 1909 a Glasgow in Scozia. Quelle condizioni estreme di inquinamento, prodotto dalla combustione del carbone, fortunatamente non si ripeterono in altri parti del mondo, tranne sporadici episodi come la morte di 20 persone nella città industriale di Donora in Pennsylvania nel 1948.

Si distinguono due tipi di smog con caratteristiche differenti: *smog tipo Londra* (o classico) e *smog tipo Los Angeles* (o fotochimico) dal nome delle città in cui questi tipi di smog si sono presentati in maniera caratteristica.

Smog classico

Lo smog classico è dovuto all'azione di biossido di zolfo e particolato in condizioni di bassa insolazione, bassa velocità del vento, temperatura prossima a 0°C (stagione autunnale ed invernale).

Esso si forma per il ristagno nell'atmosfera delle particelle solide e dell'anidride solforosa prodotti dalla combustione, a seguito di condizioni meteorologiche favorevoli all'instaurarsi dei fenomeni di inversione termica.

Smog fotochimico

Lo smog fotochimico è dovuto, invece, all'azione di ossidi di azoto, ossido di carbonio, ozono ed altri composti organici volatili sotto l'azione della radiazione solare.

Lo smog fotochimico è un fenomeno essenzialmente diurno e dei mesi a maggior insolazione e porta ad un'atmosfera con carattere ossidante, mentre lo smog classico, più caratteristico della stagione invernale, conduce ad un'atmosfera riducente. Poiché gli ossidi di azoto ed i composti organici volatili sono fra i componenti principali delle emissioni nelle aree urbane, le città poste nelle aree geografiche caratterizzate da radiazione solare intensa e temperatura elevata (es. aree mediterranee) costituiscono dei candidati ideali allo sviluppo di episodi di inquinamento fotochimico intenso. Rispetto allo smog classico, quello fotochimico è caratterizzato da un'attività chimica molto più intensa e presenta una complessa catena di reazioni che hanno luogo sotto l'effetto della luce. Questo tipo di inquinamento rappresenta un problema per la salute dell'uomo, degli animali e delle piante. Infatti, queste ultime, avendo un organo come quello fogliare con un rapporto superficie/volume molto elevato, assorbono, attraverso le aperture stomatiche, un'ingente quantità di inquinanti gassosi. Purtroppo, dato che le reazioni che portano alla formazione di agenti fotochimici sono molto complesse, e la loro distribuzione è legata alle condizioni meteorologiche, risulta difficile prevederne l'evoluzione e la distribuzione spazio-temporale e prendere conseguentemente i dovuti provvedimenti. Comunque, nonostante il gran numero di sostanze chimiche pericolose presenti, lo smog fotochimico non ha provocato effetti acuti così drammatici come lo smog classico che, durante gli episodi più gravi, ha causato migliaia di morti in eccesso rispetto ai valori normali. I principali effetti dello smog fotochimico sono una forte irritazione agli occhi e difficoltà nella respirazione.

Gli inquinanti

Ossidi di azoto

Per ossidi di azoto si intende generalmente l'insieme di ossido e biossido di azoto anche se in realtà costituiscono una miscela più complessa.

Il monossido di azoto si forma in qualsiasi combustione ad elevata temperatura, insieme ad una piccola percentuale di biossido (circa il 5% del totale).

Le più grandi quantità di ossidi di azoto vengono emesse da processi di combustione civili ed industriali e dai trasporti autoveicolari (l'ossido rappresenta il 95% del totale) anche se ne esiste una quantità di origine naturale (fulmini, incendi, eruzioni vulcaniche ed azione di alcuni batteri presenti nel suolo come i Nitrosomonas ed i Nitrobacter). A temperatura ambiente il monossido di azoto è un gas incolore ed inodore mentre il biossido di azoto è rossastro e di odore forte e pungente.

Il biossido di azoto è un inquinante prevalentemente secondario, poiché non è emesso direttamente dallo scarico o dai fumi industriali ma deriva generalmente dalla trasformazione in atmosfera consistente nell'ossidazione dell'ossido.

Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4-5) e vengono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche.

I livelli naturali di biossido di azoto oscillano tra 1 e 9 μ g/m³; nei paesi industrializzati le medie annuali sono comprese fra 20 e 90 μ g/m³.

Oltre agli effetti dannosi sulla salute dell'uomo, gli ossidi di azoto producono danni alle piante, riducendo la loro crescita, e ai beni materiali: corrosione dei metalli e scolorimento dei tessuti. Sulle piante, l'esposizione al biossido di azoto induce la comparsa di macchie sulle foglie, mentre il monossido rallenta il processo di fotosintesi. Entrambi inoltre contribuiscono alla acidificazione delle precipitazioni con conseguente deterioramento degli edifici e delle opere d'arte.

Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio è un gas incolore ed inodore emesso da fonti naturali ed antropiche (tra queste il 90% deriva dagli scarichi automobilistici).

Una quota considerevole di CO deriva dall'ossidazione atmosferica di metano e di altri idrocarburi normalmente emessi nell'atmosfera, da emissioni da oceani e paludi, da incendi forestali, da acqua piovana e da tempeste elettriche.

L'origine antropica di tale inquinante, come detto, avviene principalmente tramite la combustione incompleta dei carburanti usati negli autoveicoli. In tal caso le emissioni di CO sono maggiori in un veicolo con motore al minimo o in fase di decelerazione, diminuiscono alla velocità media di 60-110 Km/h per poi aumentare nuovamente alle alte velocità.

Il monossido di carbonio viene assorbito rapidamente negli alveoli polmonari. Nel sangue compete con l'ossigeno nel legarsi all'atomo bivalente del ferro dell'emoglobina, formando carbossiemoglobina (composto formato dall'unione del CO con l'emoglobina del sangue). Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre quelli sull'uomo sono estremamente pericolosi.

Tra le sorgenti antropiche un ruolo importante spetta anche al fumo di tabacco: il suo contenuto di CO può arrivare a 880-1.000 mgr/m³ e il livello di carbossiemoglobina in un fumatore raggiunge il 7% contro lo 0,5% di un non fumatore che vive in un'aria pulita.

La concentrazione media di CO nell'atmosfera oscilla tra 0.08 e 0.50 mgr/m³ nell'emisfero nordico, mentre nelle città italiane la concentrazione di CO e dell'ordine di 1,3-5,0 mgr/m³ come media annuale. In inverno tuttavia la concentrazione di monossido di carbonio nelle città, a causa del traffico, è ben superiore a 0,13 mgr/m³, che costituisce il valore normale di un'aria non inquinata; qualche anno addietro non erano rare

medie orarie di 30 mg/m³ nei centri delle grandi metropoli, raggiungendo, per qualche secondo, valori di 150-200 mg/m³ in zone dove barriere architettoniche (sottopassi o gallerie) impediscono la libera circolazione dell'aria; oggi per fortuna con l'avvento delle nuove tecnologie (motori euro III ed euro IV) la concentrazione di questo inquinante nelle città è fortemente diminuita.

Idrocarburi

Gli idrocarburi sono composti organici a base di carbonio ed idrogeno di natura alifatica (catena lineare o ramificata tra i quali il capostipite è il metano) o aromatica (catene cicliche tra i quali il capostipite è il benzene).

Tra questi rivestono importanza i COV (Composti organici volatili) cioè un insieme di composti di natura organica caratterizzate da basse pressioni di vapore a temperatura ambiente, che si trovano quindi in atmosfera principalmente in fase gassosa.

Il numero dei composti organici volatili osservati in atmosfera, sia in aree urbane sia remote, è estremamente alto e comprende, oltre agli idrocarburi volatili semplici, anche specie ossigenate quali chetoni, aldeidi, alcoli, acidi ed esteri.

Le emissioni naturali dei COV provengono dalla vegetazione e dalla degradazione del materiale organico; le emissioni antropiche, invece, sono principalmente dovute alla combustione incompleta degli idrocarburi ed all'evaporazione di solventi e carburanti.

Il principale ruolo atmosferico dei composti organici volatili è connesso alla formazione di inquinanti secondari. In particolare, di maggiore interesse in campo atmosferico a causa del loro importante ruolo nella formazione di specie ossidanti, è la classe degli alcheni, fra cui l'isoprene e i monoterpeni, composti particolarmente reattivi e-messi naturalmente dalle piante.

I veicoli a benzina contribuiscono più degli altri alle emissioni di idrocarburi, essendo la benzina una miscela di idrocarburi semplici e molto volatili.

Negli autoveicoli le emissioni maggiori si hanno a velocità basse, mentre quelle minori a velocità comprese tra i 70 ed i 100 Km/h.

Gli idrocarburi interferiscono sui processi respiratori ed irritano gli occhi, mentre alcuni tra gli idrocarburi policiclici aromatici sono cancerogeni.

Ossidi di zolfo

Il biossido di zolfo è un gas incolore dall'odore acre e pungente a temperatura ambiente, derivante sia da fonti antropiche che da fonti naturali. L'origine naturale è rappresentata principalmente dalle eruzioni vulcaniche, mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche. Dalla combustione di ogni materiale contenente zolfo (per esempio il gasolio) si sviluppano anidride solforosa e solforica; l'anidride solforica, a sua volta reagisce con il vapore acqueo formando acido solforico.

Tale reazione è favorita dall'umidità dell'aria, dalla radiazione solare e dalla presenza di polveri sospese che fungono da sostanze catalizzatrici. Di notte gli ossidi di zolfo sono assorbiti dalle goccioline di acqua presenti nell'atmosfera dando origine ad un aerosol di sali di solfato d'ammonio e calcio e quindi alla foschia mattutina.

I livelli naturali di SO_2 sono generalmente inferiori a 5 $\mu g/m^3$, mentre le concentrazioni medie annue nelle aree rurali europee sono comprese fra 5 e 25 $\mu g/m^3$ (OMS 1987). Dal 1990 le medie annuali registrate nelle principali città europee sono inferiori a 50 $\mu g/m^3$, mentre le medie giornaliere raramente superano i 125 $\mu g/m^3$ (OMS 1999). Nelle grandi città industrializzate ed in via di sviluppo la concentrazione media annuale può variare da livelli molto bassi fino a 300 $\mu g/m^3$ (OMS 1998). Già alla concentrazione di circa 0,8 mg/m^3 l'SO₂ comincia a non essere più tollerabile dall'uomo.

A causa dell'elevata solubilità in acqua l'SO₂ è assorbito facilmente dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio; quindi solo le piccolissime quantità raggiungono la parte più profonda del polmone. L'SO₂ reagisce facilmente con tutte le principali classi di biomolecole: in vitro sono state dimostrate interazioni con gli acidi nucleici, con le proteine, con i lipidi e con le altre componenti biologiche.

È stato accertato un effetto sinergico con il particolato dovuto alla capacità di quest'ultimo di veicolare l'SO₂ nelle zone respiratorie più profonde del polmone.

Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del 'buco dell'ozono'.

Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta. Lo zolfo è presente anche negli oceani e si libera in atmosfera attraverso la schiuma marina; precipita poi con le piogge depositandosi direttamente e venendo poi assorbito dalla vegetazione.

Molto importante è il loro effetto sull'acidificazione delle precipitazioni, che porta a gravi danni ai bacini idrici ed alla vegetazione. Per brevi esposizioni ad alte concentrazioni, inoltre, si manifesta uno scolorimento ed una degradazione delle foglie con conseguente necrosi delle stesse. Sui metalli, sui materiali da costruzione e sulle vernici si riscontrano degli effetti corrosivi.

Nelle città, escludendo le emissioni industriali, la maggior sorgente di anidride solforosa è il riscaldamento domestico (perciò la concentrazione di SO₂ nell'aria dipende molto dalla stagione e dalla rigidità del clima).

Circa il 70% dei quasi 130 milioni di tonnellate di SO_2 immessi annualmente nell'aria proviene da combustioni in impianti fissi, mentre appare trascurabile l'apporto dato dai mezzi di trasporto.

Nella regione Emilia Romagna per la diffusione oramai completa del metano quale combustibile la concentrazione di SO_2 non rappresenta assolutamente più un problema, al punto che i livelli riscontrati risultano assai inferiori ai limiti di legge.

Particolato

Per particolato atmosferico si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide con diametro compreso fra 0,1 e 100 micron. Le particelle più grandi generalmente raggiungono il suolo in tempi piuttosto brevi e causano fenomeni di inquinamento su scala molto ristretta.

L'esperienza comune insegna che ciò che va in alto deve poi ricadere e ciò vale certamente anche per le particelle solide o liquide sospese nell'aria. Tuttavia l'aria esercita un effetto ritardante con una forza verso l'alto che è proporzionale alla velocità di caduta ed al raggio delle particelle. Inoltre il tempo di permanenza nell'aria dipenderà dalla natura dei venti e dalle precipitazioni. Le particelle più piccole possono rimanere nell'aria per molto tempo; alla fine gli urti casuali e la reciproca attrazione fanno ingrossare le stesse al punto da far loro raggiungere una velocità di caduta sufficiente a farle depositare al suolo. Oltre a questo meccanismo di deposizione a secco, l'eliminazione dall'atmosfera avviene anche per effetto della pioggia.

Il particolato ha origini sia antropiche che naturali; entrambe possono dar luogo a particolato primario (emesso direttamente nell'atmosfera) e secondario (formatasi in atmosfera attraverso reazioni chimiche). Importante ai fini del loro effetto tossicologico risulta lo spettro granulometrico delle particelle. Le particelle con dimensione superiori ai 20-25 µm hanno una bassa probabilità di entrare nelle vie respiratorie (cfr. la curva 'inalabili' nella prima figura del contributo precedente, *Che cosa sono e come si misurano le polveri 'sottili'*), mentre le particelle inferiori ai 10 µm, denominate PM10, costituiscono la cosiddetta frazione toracica. La distinzione nell'ulteriore frazione PM2.5 è utile per individuare le polveri che si depositano direttamente negli alveoli, dove maggiore è la risposta fisiopatologica.

La capacità delle polveri di provocare fenomeni dannosi è legata alla profondità di penetrazione nell'albero respiratorio, che dipende dalle dimensioni delle particelle, ma anche dalle sostanze che si legano alle polveri (SO₂, piombo, IPA). Numerosi studi hanno correlato l'aumento delle concentrazioni di polveri con un aumento della mortalità e del numero di ricoveri ospedalieri per patologie respiratorie e questo effetto sembra essere evidente anche a dosi inferiori a quelle considerate dagli standard di qualità dell'aria, senza evidenza di un valore soglia. Il particolato atmosferico può diffondere la luce del sole assorbendola e riemettendola in tutte le direzioni; il risultato è che una quantità minore di luce raggiunge la superficie della Terra. Questo fenomeno può determinare effetti locali (temporanea diminuzione della visibilità) e globali (possibili influenze sul clima). Inoltre la presenza di particolato favorisce la formazione delle nebbie, perché le particelle forniscono alle microscopiche goccioline che formano la nebbia nuclei intorno a cui condensarsi. Il particolato provoca danni ai materiali, come la corrosione dei metalli, danneggiamento ai circuiti elettrici ed elettronici, sia per azione chimica che meccanica, insudiciamento di edifici e opere d'arte, ridotta durata dei tessuti.

Ozono

Inquinante gassoso di colore azzurrognolo; l'ozono troposferico è il principale e più facilmente misurabile tracciante dello smog fotochimico; è un inquinante secondario, la sua concentrazione al suolo risulta da un equilibrio dinamico che dipende in maniera complessa da molteplici fattori che portano alla produzione ed alla rimozione di ozono. Il principale processo di produzione è costituito da reazioni chimiche catalizzate dalla radiazione solare che coinvolgono altri inquinanti immessi direttamente nell'atmosfera (primari) che sono usualmente denominati precursori. La presenza di ozono di origine fotochimica è quindi indice del manifestarsi di fenomeni di inquinamento che coinvolgono ossidi di azoto (NOx) e composti organici volatili (COV) ed implicano la formazione nell'atmosfera di altre sostanze tossiche (ad esempio gli ossidanti perossiacilnitrati, acido nitroso, perossido di idrogeno, acido formico, radicali liberi, aldeidi, particolato fine). L'evidenza visibile dello smog fotochimico è una leggera foschia di colore giallo marrone.

Caratteristiche importanti dell'inquinamento da ozono sono:

- rapporto tra precursori e concentrazione di ozono fortemente non lineare: cambiamenti nelle emissioni di COV e NOx raramente producono un'uguale diminuzione percentuale di O₃;
 - variabilità temporale, caratterizzata da una forte componente stagionale e giornaliera;
- scale spaziali estese (importanti i fenomeni di trasporto sia orizzontale che verticale, le massime concentrazioni sono riscontrabili nelle aree suburbane, sottovento rispetto agli agglomerati urbani, nei luoghi dove non agisce la rimozione locale dell'ossido di azoto).

Gli effetti dell'ozono sulla salute consistono in irritazione agli occhi e del sistema respiratorio; riduzione della funzionalità polmonare (l'ozono può rendere più difficile respirare profondamente, e se si sta facendo un'attività faticosa all'aperto ci si rende conto di respirare più in fretta e meno profondamente che di norma); aggravamento dell'asma e di altre patologie respiratorie (l'ozono rende gli asmatici più sensibili agli allergeni che scatenano l'attacco e può inoltre aggravare malattie croniche del polmone, quali enfisemi e bronchiti); infiammazione del sottile strato di cellule che riveste le vie respiratorie.

La maggior parte di questi effetti sono considerati a breve termine e cessano una volta che gli individui non sono più esposti a elevati livelli di ozono.

Ci si preoccupa però che danni derivati da ripetute esposizioni di breve durata possano portare ad alterazioni permanenti della funzionalità respiratoria.

Elevate concentrazioni di ozono in atmosfera arrecano danni anche alla vegetazione e ai prodotti agricoli. L'ozono viene, infatti, assorbito dalle piante a livello fogliare ed esplica un'azione dannosa sul metabolismo della fotosintesi clorofilliana. Infine esistono una lunga serie di materiali la cui durata è limitata dall'esposizione ad elevate concentrazioni di ozono. Negli Stati Uniti è stato calcolato un danno annuale di due miliardi di dollari su materie plastiche, gomme, fibre tessili e vernici.

Acido nitrico

L'acido nitrico (HNO₃) rappresenta uno dei composti terminali della catena fotochimica, che contribuisce pesantemente ai processi di deposizione acida.

La principale sorgente dell'acido nitrico in atmosfera è la reazione del biossido d'azoto con i radicali ossidrile (OH), durante gli eventi di smog fotochimico.

Gli effetti diretti dell'acido nitrico sono legati al carattere fortemente acido della molecola. La molecola di acido nitrico è molto stabile, ma in atmosfera è velocemente rimossa sia per reazione con ammoniaca (con formazione di particelle di nitrato d'ammonio, che causano diminuzione della visibilità) che per deposizione diretta sulle superfici e adsorbimento sulle gocce d'acqua.

Benzene

Il benzene è un composto organico volatile con una struttura chimica ad anello molto stabile (C_6H_6) che costituisce la base della famiglia degli idrocarburi aromatici. A temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore con un notevole tasso di evaporazione e a concentrazioni elevate è facilmente identificato dal suo odore aromatico.

Il benzene è un solvente molto usato in alcune industrie della chimica organica ed a causa dei suoi effetti cancerogeni sulle persone, il suo livello di concentrazione è rigorosamente disciplinato negli ambienti di lavoro.

Il benzene si trova nell'aria ambiente a concentrazioni elevate nei conglomerati urbani. La principale fonte del benzene nell'aria esterna è il traffico autoveicolare. Il benzene è presente nella benzina a concentrazioni pari all'1% ed è emesso nell'atmosfera a causa dei processi di evaporazione durante le operazioni di rifornimento e trasporto e della combustione incompleta del carburante.

A causa della sua elevata volatilità il benzene viene facilmente inalato ed in seguito trasferito a tutti gli organi e tessuti ricchi di lipidi esercitando effetti tossici. In particolar modo colpisce il sistema nervoso centrale inducendo euforia, vertigini, cefalea nausea e depressione. Lo IARC ha classificato il benzene nel gruppo 1 cioè tra le sostanze per le quali esiste un'evidenza accertata sull'induzione di tumori nell'uomo.

In aree urbane il benzene è associato sempre a toluene, etil-benzene e xileni che presentano concentrazioni maggiori; toluene e xileni inducono lo sviluppo di cellule cancerogene. L'esposizione al toluene durante il periodo di gravidanza può provocare malformazioni teratogeniche.

Inquinamento atmosferico su macroscala

Una constatazione oramai universalmente accettata dice che gli effetti ambientali dell'attività umana non sono più solo localizzati vicino all'origine delle emissioni, ma assumono aspetti nazionali e globali. Si parla sempre più spesso di inquinanti tran-

sfrontalieri a conferma che la nostra impronta nel mondo, nel bene e nel male, non deve e non può essere compresa esclusivamente all'interno del nostro campo visivo.

Senza dubbio, tre sono i fenomeni macroscopici che dettano maggior preoccupazione a livello mondiale e precisamente le deposizioni acide, il buco dell'ozono e l'effetto serra.

Deposizioni acide

Composti acidi che si depositano sulla superficie terrestre sia sotto forma di deposizione secca sia umida (pioggia, neve, grandine, rugiada, nebbia). L'acidificazione è la trasformazione di alcuni inquinanti atmosferici soprattutto ammoniaca, ossidi di zolfo. ossidi di azoto e anidride carbonica in acidi, sia nell'atmosfera sia dopo deposizione.

Una volta immessi in atmosfera gli inquinanti vengono dispersi per effetto dei venti e possono essere trasportati per distanze di diverse centinaia di chilometri, dando luogo a processi di deposizione a lunga distanza ed a scala continentale.

In Europa la vitalità di molti sistemi forestali è in decremento; questo danno non risulta necessariamente legato direttamente all'acidificazione, ma gli effetti a lungo termine delle deposizione acide sul suolo possono giocare un ruolo non trascurabile.

L'unità di misura dell'acidità è il pH, legato al contenuto di ioni idrogeno: il pH uguale a 7 rappresenta la perfetta neutralità, soluzioni a pH minore sono definite acide e soluzioni a pH maggiore si definiscono alcaline.

Normalmente il pH naturale della pioggia è pari a 5,6; i ghiacciai ci forniscono una testimonianza su quale fosse il pH prima dell'era industriale: gli strati più antichi dimostrano che esso non era mai minore di 5. Questa situazione è stata notevolmente modificata dalle massicce emissioni di ossidi di zolfo e di azoto. L'acidità delle precipitazioni è oggi da 5 a 40 volte quella caratteristica di una pioggia non inquinata.

Dagli anni '70 il fenomeno, che in precedenza interessava solo una limitata zona dell'Europa centrale, ha cominciato ad interessare l'Italia, in particolar modo la valle del Po. Questo avviene nonostante le correnti atmosferiche, normalmente dirette da Sud-Ovest a Nord-Est, tendano ad allontanare le emissioni dalle zone meridionali dell'Europa.

Gli effetti delle piogge acide sono molteplici e interessano la salute, la vegetazione, gli ecosistemi idrici, le opere murarie, in particolare il patrimonio artistico.

Nei fiumi, nei laghi e nei mari un abbassamento del pH provoca notevoli alterazioni: lo sviluppo degli embrioni di alcune specie viene bloccato già a valori di pH minori di 6, mentre a valori inferiori a 5, cominciano via via a scomparire varie specie di pesci, a cominciare dai salmoni e dalle trote.

Particolarmente rilevante è l'effetto sui monumenti: infatti il degrado dei materiali avviene sia per attacco diretto (effetto chimico) sia attraverso l'azione biochimica dei microrganismi che utilizzano le sostanze inquinanti come estratto di crescita e fonte di energia (effetto biologico).

Il buco dell'ozono

L'ozono presente nella stratosfera costituisce uno scudo protettivo contro la maggior parte della radiazione ultravioletta (raggi UV) proveniente dal sole impedendole di raggiungere la superficie terrestre. L'importanza dello strato di ozono deriva dal fatto che i raggi UV sono tanto energetici da scomporre importanti molecole come il DNA e, se non sufficientemente filtrati, possono far aumentare l'incidenza di tumori della pelle, delle cataratte, causare deficienze immunitarie, provocare danni alle comunità vegetali forestali di interesse agronomico e agli ecosistemi acquatici.

Cadute drammatiche di concentrazione dell'ozono in atmosfera sopra l'Antartide durante la primavera australe furono registrate per la prima volta nel 1983.

Tenendo in considerazione la gravità degli effetti conseguenti alla penetrazione dei raggi UV, molta attenzione si è rivolta per scoprire le cause dell'assottigliamento, che si sviluppa ogni primavera australe, all'interno del vortice in corrispondenza del Polo Sud.

Tra i maggiori responsabili dell'erosione dello strato di ozono sembrano esserci i clorofluorocarburi (CFC) commercialmente noti come 'Freons'.

I clorofluorocarburi sono stati inventati negli anni '20 e da allora prodotti e utilizzati in grandi quantità come refrigeranti per impianti frigoriferi e condizionatori d'aria, propellenti per bombolette di aerosol e come agenti schiumogeni. Una grande quantità di questi è prodotta dai voli degli aerei supersonici; questo tipo di emissione è particolarmente rilevante perché il rilascio avviene direttamente a quote stratosferiche.

Un tempo i CFC erano considerati sostanze ideali per impieghi industriali perché economici, stabili ed inerti e pertanto non tossici; ma proprio questa loro mancanza di reattività li rende potenzialmente pericolosi per l'ozono stratosferico.

I gas inerti non si degradano facilmente nella troposfera (la fascia più bassa dell'atmosfera) e di conseguenza raggiungono la stratosfera posta a maggiore altezza. In questa regione per azione dei raggi UV le molecole vengono scisse liberando atomi di cloro che attaccano l'ozono per formare monossido di cloro (ClO) e ossigeno (O₂). Il ClO, a sua volta, si combina con un atomo di ossigeno libero, forma O₂ e un atomo di cloro innescando così una reazione a catena. Ne consegue, secondo Rowland, che per ogni atomo di cloro liberato 100.000 molecole di ozono vengono distrutte. L'azione disintegratrice cessa quando l'atomo di cloro si ricombina per formare acido cloridrico o un'altra specie non reattiva con l'ozono.

Per porre rimedio a questo problema si è progressivamente vietato l'uso dei CFC in modo da eliminare l'ulteriore loro immissione in atmosfera (a tal scopo i rappresentanti delle nazioni industrializzate si sono riuniti a Montreal nel 1987); ciò non è comunque risolutivo considerando che tali gas persistono nell'atmosfera per decenni (essi hanno un tempo di permanenza che varia, a seconda dell'altezza, da 1 a 300 anni).

Effetto serra

Il fenomeno dell'effetto serra è causato da alcuni gas presenti nell'atmosfera che assorbono la radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre irradiata dal sole rimandandola verso il basso. Questi gas ad effetto serra (*Greenhouse gases* GHG) sono caratterizzati da uno specifico potenziale di riscaldamento globale dell'atmosfera (*Global Warming Potential* GWG).

Il protocollo di Kyoto prevede la riduzione e la limitazione delle emissioni dei seguenti sei GHG, che sono emessi dalla gran parte delle attività umane.

Anidride carbonica (CO₂): è prodotta dalla combustione di combustibili fossili in tutte le attività energetiche, industriali e dei trasporti. È il gas di origine antropica più diffuso anche se quello con minore GWP. A partire dalla rivoluzione industriale le emissioni globali sono aumentate di circa il 27%; GWP=1.

Protossido di azoto (N_2O): deriva dalle produzioni chimiche nei settori dei fertilizzanti e delle fibre; nel 1990 le emissioni di N_2O ammontavano al 2.5%; GWP=310.

Metano (CH₄): le emissioni di metano derivano dalle perdite delle reti di distribuzione del gas, dalle discariche dei rifiuti, dagli allevamenti zootecnici, dalla decomposizione dei rifiuti e dalle coltivazioni delle risaie. Nel 1990 le emissioni di metano ammontavano a circa il 12% delle emissioni totali. GWP=21.

Idroclorofluorocarburi (HFC): attualmente considerati alternativi ai clorofluorocarburi dannosi alla fascia di ozono stratosferico vietati dal Protocollo di Montreal. Utilizzati nel campo della refrigerazione e nel settore industriale dei semiconduttori; GWP compreso fra 140 e 11.700.

Perfluorocarburi (PFC): sono sottoprodotti della fusione dell'alluminio e dell'arricchimento dell'Uranio e vengono anche prodotti per sostituire i CFC nei semiconduttori; GWP=7.400.

Esafluoruro di zolfo (SF₆): largamente utilizzato per isolare gli interruttori ad alto voltaggio e per la fabbricazione di sistemi di raffreddamento dei cavi; GWP=23.900.

La conseguenza principale di tale fenomeno è senza dubbio l'alterazione del clima: per clima (a livello globale) deve intendersi lo stato di equilibrio energetico tra il flusso totale di energia entrante sul nostro pianeta, che è quasi totalmente l'energia solare, ed il flusso totale di energia uscente dal nostro pianeta, che è in parte radiazione solare riflessa dall'atmosfera, dal suolo e dalle nubi, ed in parte energia emessa e irraggiata dalla Terra nel suo insieme. Essendo questo equilibrio alterato dall'uomo tutto il sistema tende a raggiungere nuovi equilibri e quindi il clima tende a cambiare.

Questi i principali mutamenti:

Temperatura media globale: è aumentata di un valore compreso fra 0,4 e 0,8 °C a partire dal 1800. I più rilevanti aumenti sono avvenuti principalmente in due periodi: nel periodo compreso il 1910 ed il 1945, e dal 1976 ad oggi. Nel secondo periodo il maggior riscaldamento ha interessato tutto l'emisfero Nord, ma in particolare le medie

ed alte latitudini delle zone continentali. Il riscaldamento dell'emisfero Sud si è manifestato invece in maniera meno marcata. Se si analizzano le T minime e massime (giornaliere, mensili, annue) si nota che il riscaldamento globale è dovuto essenzialmente all'aumento delle T minime il cui tasso di crescita è stato doppio delle T massime.

Variazione dei ghiacciai: i ghiacci antartici sono stabili ed anzi ultimamente si è registrato un aumento; quelli artici invece hanno subito una riduzione negli ultimi decenni, riduzione che ha coinvolto anche i ghiacciai alpini delle medie latitudini dell'emisfero Nord.

Precipitazione e siccità: le precipitazioni totali annue sono in aumento nell'emisfero Nord e soprattutto alle medie e alte latitudini. Nell'emisfero Sud invece non si hanno variazioni significative. Nelle regioni subtropicali vi è una chiara tendenza alla diminuzione.

Circolazione atmosferica ed oceanica: esistono due fenomeni periodici e ricorrenti, El Niño e la NAO (North Atlantic Oscillation); il comportamento del Niño risulta anomalo dal 1970: si è notato un aumento della frequenza e della intensità del fenomeno. Per quanto riguarda la NAO essa è accoppiata con la circolazione delle correnti oceaniche del Nord Atlantico e con la circolazione generale della zona artica. Tale accoppiamento ha rafforzato negli ultimi anni la formazione dei cicloni extratropicali e burrasche e venti associati a perturbazioni di origine atlantica.

Precipitazioni estreme: le valutazioni IPCC indicano un aumento; intensità maggiore e durata inferiore. Temperature estreme: non esiste un aumento delle Temperature massime (estremi di caldo), ma appare evidente una diminuzione degli estremi di freddo. Non è aumentata la frequenza dei cicloni tropicali (uragani, tifoni, tornado) ed extratropicali, ma la loro intensità.

LE SCIENZE DELL'ATMOSFERA: ALCUNE ESPERIENZE DIDATTICHE NELLE SCUOLE DELL'EMILIA-ROMAGNA

QUALITÀ DELL'ARIA E SALUTE: I LICHENI GUARDIANI DELL'ARIA

Egle Casadio Loreti

Educazione ambientale all'Alberghetti

Le attività di educazione ambientale sono sempre state un elemento fondante della programmazione didattica ed educativa dell'Istituto di istruzione superiore 'F. Alberghetti' di Imola.

Attualmente le attività che vengono svolte dalle diverse classi dell'istituto sono:

- monitoraggio chimico-batteriologico del fiume secondo i protocolli GREEN e LIM;
- macroinvertebrati come bioindicatori della qualità del fiume con i metodi Xilander e IBE;
 - indice di funzionalità fluviale come valutazione complessiva della qualità del fiume;
 - qualità dell'aria con indicatori fisico-chimici e biologici;
 - i gessi e il fiume;
 - geologia della valle del Santerno;
 - ecoscuole del Santerno e del Senio;
 - mobility manager;
 - l'educazione ambientale in Europa.

I principali obiettivi che con queste attività si intendono perseguire sono sensibilizzare gli studenti nei confronti dell'ambiente in generale e, più nello specifico, alle emergenze ambientali più importanti come l'inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo; proporre un lavoro didattico sull'ambiente legato ad esperienze pratiche in cui gli studenti sono protagonisti in prima persona; familiarizzare con il concetto di monitoraggio dell'ambiente, di bioindicatore, di indice sintetico di qualità ambientale; poter constatare direttamente l'effetto dell'inquinamento sugli organismi viventi; realizzare un'indagine ecologica sul proprio ambiente di vita utilizzando protocolli scientificamente validati e producendo nuove conoscenze di interesse per l'intera comunità; infine, analizzare criticamente i dati ottenuti per passare 'dal locale al globale' anche attraverso il confronto con altre realtà culturali e sociali.

Per quanto riguarda in particolare 'qualità dell'aria e salute', le attività specifiche sono distribuite con gradualità nel curricolo degli studenti del Liceo Scientifico Tecnologico e dell'Istituto Tecnico Industriale.

Il progetto prevede l'allestimento di esperienze didattiche sulla qualità dell'aria attraverso diverse metodologie di rilevamento: a) analisi qualitativa, finalizzata alla de-

terminazione della presenza di CO e CO₂ nei gas di scarico di motori a combustione (ciclomotori, automobili); b) prelievo e lettura di campioni d'aria, con determinazione delle specie inquinanti 'viste' in precedenza; c) utilizzo dei licheni come bioindicatori (con l'individuazione di stazioni di rilevamento presso gli istituti scolastici).

Mentre le modalità a) e b) offrono all'alunno una percezione immediata di ciò che respira, la modalità c) suggerisce le interrelazioni con la biocenosi e dà una visione a lungo termine del problema (la loro scomparsa o rarefazione indica, se non vi sono altre fonti di disturbo, un degrado della qualità dell'aria).

Gli studenti sono stimolati allo studio delle caratteristiche chimico-fisiche dell'atmosfera, degli inquinanti chimici, di alcuni elementi di meteorologia e della presenza di pollini, batteri, spore, polveri aerodisperse, ecc. Lo studio dei motori a combustione consente ai ragazzi di capire come funzionano e cosa producono. Viene poi analizzata la qualità dell'aria e i suoi riflessi sulla salute. La conoscenza dei licheni, della loro biologia e della sensibilità a diversi fattori ambientali fornisce una chiave d'interpretazione degli effetti che alcuni inquinanti hanno sugli organismi viventi (la metodica utilizzata è quella 'ufficiale' anche se semplificata ad uso didattico).

A quanto già stabilmente inserito nel curricolo si è aggiunta, nell'anno scolastico 2004/05, un'attività relativa alla mobilità sostenibile che ha coinvolto tutte le classi del biennio (14 classi tra biennio dell'Istituto tecnico industriale e Liceo scientificotecnologico).

Per la realizzazione del progetto si sono utilizzati: lezioni di esperti, materiale informatico e dispense, campionatore per l'aria, strumenti di laboratorio e reagenti chimici.

Le attività di analisi dell'aria sono state svolte 'in rete' con scuole imolesi e ravennati di diverso ordine e grado (57 classi con più di 100 moduli classe, nell'a.s. 2003-04, anno in cui il progetto è stato finanziato dalla Regione Emilia Romagna).

La metodologia di 'ricerca-azione' che permea il progetto è calata sul curricolo e sugli obiettivi didattici relativi a ciascun ordine di scuola. Si utilizza, per quanto possibile, un metodo a cascata per cui, nelle uscite sul campo e nei momenti di rielaborazione finale, gli allievi del Liceo Scientifico Tecnologico sono i 'tutor' degli alunni della scuola primaria e secondaria di primo grado.

Nella tabella seguente sono presentate le scuole e le classi 'in rete' con l'istituto 'F. Alberghetti' per lo studio della qualità dell'aria.

Tab. 9 - Scuole 'in rete' e numero di classi partecipanti allo studio della qualità dell'aria, per tipo di attività

Scuole partecipanti	Licheni	Fisica	Chimica	Totale classi
I.C. Borgo Tossignano				
Medie Borgo	3A; 3B	3A; 3B	3A; 3B	2
Medie Fontanelice	3C	3C	3C	2
Elementare	IV			
Medie Castel del Rio	3D	3D	3D	1
Medie Casale	3E	3E	3E	1
I.C. N.7 - Imola				
Medie	3E; 3D	1E; 1F; 1D; 1C	3E; 3F; 3C; 3A;	10
			3B; 3D	
Elementari Pedagna	4A; 4B; 4C	5A; 5B; 5C		6
I.C. N.6 - Imola				
Medie Villa Clelia	1A; 1B; 1C	1A; 1B; 1C	1A; 1B; 1C	3
Elementare Rubri	IV A	2B; 4B; 5A; 5B	2B; 4B; 5A; 5B	5
Elementare Capp.	4A; 4B;	4A; 4B; 5A; 5B;	4A; 4B; 5A; 5B;	6
	5A; 5B	3A; 3B	3A; 3B	
I.C. Brisighella				
Medie	2A	3A; 3B; 3C	3A; 3B; 3C	4
IIS 'Scarabelli-Ghini'				
	2A, 2B			
I.C. Riolo	2A; 2B	2A; 2B; 1A; 3A; 3B	2A; 2B; 1A;	5
			3A; 3B	
Medie Riolo Terme	2A; 3°	2A; 3A	2A; 3A	2
Elementari Casola	4A; 4B	4 A; 4B		2
Totale classi				57
Totale moduli classe	31	37	34	102

Nei paragrafi seguenti si illustrano alcune attività effettuate nell'anno scolastico 2004/05 per le classi prime, seconde e quarte.

Attività per gli studenti delle classi prime

Gli studenti

1. Hanno approfondito la conoscenza dell'aria come composizione, caratteristiche chimico-fisiche e fenomeni meteorologici nell'ambito del programma di Scienze della Terra.

2. Hanno analizzato i gas di scarico dei motori per mettere in evidenza alcuni inquinanti.

"Con una semplice esperienza di laboratorio è possibile evidenziare la presenza di CO e CO₂ nei gas di scarico dei motori e fare considerazioni utili sia didatticamente che da un punto di vista dell'educazione ambientale dei ragazzi. Questa esperienza si può svolgere sia nella scuola secondaria di secondo grado, sia, con un interessante adattamento, nelle scuola secondaria di primo grado ... La metodica è molto semplice: basta far gorgogliare, convogliandoli con un imbuto ed aspirandoli con una siringa, i fumi di scarico di un motore (di un ciclomotore di uno studente o dell'auto dell'insegnante, ad esempio) in una soluzione satura di Ca(OH)₂, per rivelare la presenza di anidride carbonica, che reagisce secondo la reazione (1).

$$Ca(OH)_2 + CO_2 Ca \longrightarrow CO_3 + H_2O$$
 (1)

In questo modo la formazione di un solido bianco polveroso permette di identificare la presenza di anidride carbonica.

La presenza di ossido di carbonio nei gas viene invece evidenziata facendolo reagire, sempre utilizzando la stessa attrezzatura, con una soluzione di complesso ammoniacale dell'argento, secondo la reazione (2).

$$2 \text{ Ag(NH}_3)_2 \text{NO}_3 + \text{CO} + 4 \text{ NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2 \text{CO}_3 + 2 \text{ H}_2 \text{O} + 2 \text{ Ag} + 4 \text{ NH}_3 + 2 \text{ NaNO}_3$$
 (2)

In questo caso il prodotto della reazione è argento in forma colloidale: si forma quindi un miscuglio eterogeneo grigio, tanto più scuro e torbido quanto maggiore è la quantità di ossido di carbonio prodotto dalla combustione ed aspirato nel corso dell'esperienza¹¹.

3. Hanno partecipato alle attività del *mobility manager* d'istituto.

Questo sottoprogetto intendeva introdurre il concetto e la pratica della gestione della mobilità in ambiente scolastico per influire su scelte di comportamento individuale, riflettendo sui rapporti fra stili di vita e stato dell'aria, oltre che fra stili di vita e salute.

In particolare, gli 'junior mobility managers' di classe hanno coordinato i lavori all'interno delle rispettive classi, presentando ai compagni il ruolo del 'mobility manager' e un questionario (messo a punto dal gruppo di lavoro del Piano per la Salute del Circondario imolese) che è stato sottoposto alle famiglie. L'analisi e la valutazione dei dati hanno portato all'individuazione di punti di criticità della mobilità 'intorno' alla scuola con fattive proposte di soluzione da parte degli studenti come esemplificato nell'Estratto seguente.

¹ Estratto da: Antonella Casarini, *Non solo puzza, ovvero come rivelare qualcosa che non si vede!*, CnS - La Chimica nella Scuola, n.3, 2004, pag. 90.

I risultati sono stati presentati nel corso di una conferenza stampa, durante la quale il Dirigente Scolastico e gli Assessori competenti, preso atto delle proposte degli studenti, si sono impegnati a promuovere azioni di miglioramento; sono stati poi discussi in un'assemblea che ha coinvolto tutte le 'ecoscuole' del Santerno e del Senio. In quella sede, anche grazie all'intervento di tecnici dell'A.S.L., si è dato rilievo ai riflessi che l'inquinamento ambientale ha sulla salute delle persone e, in particolare, su quella dei bambini.

Estratto dall'elaborazione dei dati raccolti dagli junior mobility managers²

Tab. 10 - Qual è il principale problema nel tuo percorso casa-scuola?

Problemi	%
La distanza casa-scuola	24
I pericoli del traffico	13
L'orario e la coincidenza dei mezzi utilizzati	13
La congestione del traffico	15
Fattori climatici (pioggia, vento, freddo, ecc.)	25
L'inquinamento dell'aria	2
Non ci sono piste ciclabili o percorsi abbastanza sicuri	1
per la bicicletta	

Gli studenti hanno segnalato alcune difficoltà relative ai costi, agli orari ed alle condizioni del trasporto scolastico ed alcune carenze nelle piste ciclabili sul percorso casa-scuola.

Hanno fatto numerose proposte di miglioramento, quali indicazioni puntuali per modificare l'entrata/uscita dalla scuola e la viabilità lungo le strade di accesso, un'area intorno alla scuola libera dalle macchine e dai motorini parcheggiati sui marciapiedi, la realizzazione di tettoie davanti a scuola per il parcheggio di bici e motorini, ecc.

Attività per gli studenti delle classi seconde

Gli studenti

- 1. Hanno acquisito un'adeguata preparazione relativa alle caratteristiche degli organismi viventi nel corso di biologia.
- 2. Hanno approfondito lo studio dei licheni (caratteri biologici, sistematica, sensibilità agli inquinanti) e del metodo per determinare l'Indice di Biodiversità Lichenica

² A cura della prof. Sonia Manaresi.

(proposto da Nimis e collaboratori nel 1989 e perfezionato nel 1999) che consente di formulare un giudizio sulla qualità dell'aria³;

- 3. Hanno svolto l'attività di biomonitoraggio sul campo, 'tutorando' studenti delle scuole del I ciclo;
- 4. Hanno confrontato i dati raccolti nelle diverse stazioni con quelli delle centraline, forniti dall'ARPA, formulando possibili interpretazioni e valutazioni.

La ricerca 'sul campo' persegue come finalità il potenziamento di capacità trasversali: l'operatività, la collaborazione all'interno del gruppo, l'organizzazione del lavoro in funzione dell'efficace ricerca delle informazioni e della elaborazione critica delle stesse. Il lavoro comune, tra allievi di classi appartenenti ad ordini di scuola diversi, consente l'approfondimento della conoscenza in un clima collaborativo, non condizionato dalla presenza dell'adulto.

Questa attività consente un primo approccio ai principi e alle tecniche di un protocollo di monitoraggio ambientale (protocolli 'ufficiali' anche se calati nella pratica didattica); gli studenti acquisiscono così la capacità di raccogliere, analizzare ed elaborare dati e cominciano a maturare una valutazione critica dei risultati ottenuti, sia in relazione alle metodiche utilizzate sia rispetto al significato che questi assumono nell'analisi ambientale.

Grazie all'attività di tutoraggio nei confronti dei ragazzi più giovani, gli studenti del Liceo acquisiscono, inoltre, consapevolezza degli strumenti in loro possesso, sia in termini di conoscenza, sia di abilità.

Attività per gli studenti delle classi quarte

Alcuni studenti delle classi quarte, nell'ambito del progetto Socrates, hanno partecipato a scambi culturali relativi al monitoraggio ambientale.

In particolare, in questo anno scolastico, 7 studenti del Liceo Scientifico Tecnologico (grazie a borse di studio erogate da Geolab) si sono recati a Colchester, in Gran Bretagna, per presentare il metodo di biomonitoraggio lichenico della qualità dell'aria ai loro coetanei del *Sixth Form College*, corso di '*Enviromental science*'.

Gli studenti, oltre ad approfondire la conoscenza della lingua inglese, con particolare riferimento alle problematiche ambientali, hanno realizzato uno scambio culturale a tutto campo potenziando le capacità logiche e applicative attraverso il confronto con altre realtà europee.

Nella prima parte dell'anno scolastico gli studenti, utilizzando la posta elettronica, si sono scambiati informazioni e conoscenze tecnico-scientifiche per preparare l'incontro che è avvenuto nei primi giorni di Aprile.

³ Un testo di riferimento: M. G. Valcuvia Passadore e C. Malavasi, *Relazioni simbiotiche: dai licheni all'Agenda 21 locale*, Regione Lombardia, 2002.

Si sono confrontati i metodi di studio e le tecniche di approccio alle scienze ambientali in modo proficuo per entrambi i partner.

I ragazzi hanno realizzato, e messo a disposizione dei loro corrispondenti, una presentazione in *Power point* che comprende tutte le fasi del biomonitoraggio (presupposti teorici e pratici) in lingua inglese.

Riferimenti

Per la realizzazione di questi progetti la scuola si è avvalsa della collaborazione di:

- CEA Geol@b: per l'organizzazione di idonei corsi di formazione per i docenti, per poter disporre di esperti e di un sito Web, per la pubblicazione dei dati e di parte del materiale e delle attrezzature per il monitoraggio lichenico;
- ARPA sez. di Imola e ARPA sez. di Faenza: per i dati delle centraline sulla qualità dell'aria urbana e per supportare i docenti nella sensibilizzazione degli studenti;
- ASL Imola e ASL Ravenna, distretto di Faenza: per consulenza gratuita di esperti sulle relazioni allergie/qualità dell'aria e inquinamento/salute.

I materiali utilizzati e prodotti sono disponibili sui siti web:

- www.santerno.it: si può scaricare una dispensa, relativa al corso di formazione per docenti, in cui si possono trovare anche alcuni links utili all'approfondimento;
 - www.sinanet.anpa.it: si può trovare il manuale IBL (Indice di biodiversità lichenica);
- www.polirone.mn.it/utenti/cmalavasi/home.htm: progetto 'licheni in rete' realizzato dalle scuole di Mantova;
 - www.labtercrea.it: laboratorio territoriale;
 - www.comune.re.it/crea/reggio/licheni3.htm: CREA e scuole;
 - www.regione.piemonte.it/ambiente/reti/poli/alessand/progsto.htm.

Quanto è stato prodotto dai docenti e dagli studenti di questo istituto (questionari, dispense, prodotti multimediali anche in lingua inglese) è disponibile su richiesta.

LA SCIENZA E LE SCUOLE IN RETE

Bruno Casadio, Giovanna Foschini¹

Il progetto 'La scienza e le scuole in rete'

L'Istituto Comprensivo 'Carchidio-Strocchi' di Faenza (Ra) partecipa al progetto 'La scienza e le scuole in rete', che coinvolge tutte le scuole secondarie di primo grado del distretto 41; nell'ambito del progetto, di cui è istituto capofila, collabora inoltre all'edizione annuale della Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica promossa dal Comune di Faenza.

Destinatari del progetto sono gli alunni di quasi tutte le classi prime, seconde e terze di tutte le scuole secondarie di primo grado del distretto di Faenza (circa 1.000 studenti, suddivisi in un centinaio di classi appartenenti a 8 scuole secondarie di primo grado).

Gli obiettivi del progetto sono i seguenti:

- suscitare interesse e curiosità per il mondo scientifico;
- potenziare le abilità di osservazione, di analisi e di sintesi attraverso percorsi graduati e progressivi che prevedono l'uso del metodo sperimentale;
- potenziare le conoscenze relative al clima, all'atmosfera e all'inquinamento, e ai viventi;
 - apprendere l'uso di strumenti tradizionali e moderni di raccolta dei dati;
- apprendere l'uso di strumenti di comunicazione per lo scambio di informazioni e dei risultati prodotti;
- motivare maggiormente gli studenti allo studio attraverso la consapevolezza che i risultati dei lavori scientifici realizzati sono elaborati e condivisi con altre scuole grazie alla collaborazione in rete esattamente come si fa nelle comunità scientifiche.

Il metodo scelto per operare in laboratorio è quello sperimentale. Si persegue l'acquisizione del metodo scientifico, induttivo-deduttivo, basato sulla formulazione di ipotesi per risolvere problemi, realizzazione di esperienze controllate per convalidare l'ipotesi o confutarla, costruzione del sapere attraverso le ipotesi confermate. Il lavoro si può suddividere in fasi destinate a diversi livelli di scolarità.

¹ Hanno collaborato alla stesura del presente contributo i docenti delle scuole in rete: Paola Gorini, Gian Paolo Martelli, Federica Mazzotti, Maria Laura Oriani, Paola Pasi, Paola Pescerelli Lagorio, Giovanna Ragazzini, Giovanna Reggidori, Viviana Santandrea, Rosanna Spada, Silveria Zaccherini.

Tab. 11 - Istituzioni scolastiche statali partecipanti al progetto, docenti referenti e stazioni di rilevamento. A.s. 2004/05. Distretto 41

Scuola	Referente	Stazioni di rilevamento				
I.C. 'Modigliana - Tredozio'	Gorini Paola	1-Modigliana				
	Spada Rosanna	2-Tredozio				
I.C. S. 'Brisighella'	Paola Pescerelli Lagorio	3-Brisighella				
I.C. RioloTerme-CasolaValsenio	Viviana Santandrea	4-Riolo Terme				
	Giovanna Ragazzini	5-Casola Valsenio				
I.C. 'Carchidio-Strocchi'	Bruno Casadio Pasi Paola	6-Faenza (Borgo) 7-Reda (Faenza)				
I.C. 'Europa'	Gianpaolo Martelli	8- Faenza (Centro/Sud)				
S.M. 'S.Umiltà'	Federica Mazzotti	9-Faenza (Centro)				
S.M.S. 'Cova-Lanzoni-Bendandi'	Maria Laura Oriani	10-Faenza (Centro/Nord)				
	Silveria Zaccherini	11-Faenza (Zona Industriale)				
		12- Granarolo (Faenza)				
I.C. 'Castelbolognese'	Giovanna Reggidori Dianella Carroli	13- Castelbolognese				
	Giovanna Foschini	14- Solarolo				

Fase 1 – Raccolta di dati meteorologici²

È programmata la raccolta dei dati meteorologici seguenti: temperatura delle ore 12, temperatura massima e minima (la max. è riferibile al giorno precedente, la min. alla notte appena trascorsa), pressione atmosferica, umidità, dati relativi allo stato del cielo, piovosità.

A questo scopo sono utilizzati gli strumenti a disposizione della scuola che consistono in una piccola stazione meteorologica provvista di termometro a lancetta, termometro – a mercurio ed alcool – di massima e di minima, barometro metallico, igrometro a lancetta e pluviometro. Le stazioni meteorologiche sono tutte uguali nelle varie scuole e sono poste sulle pareti Nord.

² Destinata agli studenti delle classi prime della scuola secondaria di primo grado.

Per la raccolta dei dati si utilizza una tabella uguale per tutte le scuole partecipanti al Progetto. Gli studenti ne possiedono una copia appesa al muro della classe ed una sul quaderno personale.

La rilevazione dei dati è effettuata per quattro settimane in genere in Gennaio-Febbraio, contemporaneamente in tutte le scuole aderenti al Progetto. Prima di partire con la rilevazione dei dati, s'introduce il tema o tramite il capitolo sul libro di scienze o prendendo spunto dalle trasmissioni meteo, e si organizza l'attività degli studenti in questo modo:

- si prende contatto con la stazione meteo e si descrivono gli strumenti relativamente alla lettura dei dati e alle grandezze misurate;
- ogni studente alla presenza dell'insegnante legge gli strumenti familiarizzando con loro e con le unità di misura³ relative, imparando attraverso errori di lettura a raccogliere i dati di un barometro espressi in cm H_2O ; mb; mm H_2 .

Si suddivide poi la classe in gruppi di lettura di tre o quattro studenti ciascuno; durante il periodo previsto per la rilevazione, alle ore 12, un gruppo di studenti esce dall'aula, si reca alla stazione meteo posta nell'Istituto, effettua la lettura e riporta i dati sulla tabella predisposta, dalla quale gli altri studenti durante l'intervallo potranno ricopiarli.

Ogni giorno nel gruppo un ragazzo smette e uno inizia. L'attività è prevista per quattro settimane (questi sono i dati ufficiali condivisi in rete, previsti dal Progetto), ma spesso si procede per un paio di mesi per dare a tutti la possibilità di raggiungere adeguate competenze di lettura.

Al termine del rilevamento i dati sono tabulati su tutti i quaderni e si procede alle elaborazioni statistiche: media aritmetica, grafici cartesiani, moda, istogrammi. Inoltre si compila la tabella dei dati per la condivisione in rete su un foglio elettronico che è inviato per posta elettronica alla Scuola secondaria di I grado 'Carchidio-Strocchi'.

Alcuni docenti del gruppo elaborano i dati pervenuti producendo tabelle con le medie per Istituto e i grafici cartesiani delle temperature, pressione e umidità per Istituto; inoltre si elaborano anche una tabella con le medie generali e grafici cartesiani con gli andamenti medi ottenuti su tutto il territorio. Sono inoltre prodotte carte tematiche con questi dati; il tutto è inviato alle scuole.

Presso ciascuna scuola si analizzano i dati medi e, utilizzando un foglio elettronico, si costruiscono i grafici e si confrontano con il grafico medio ottenuto. Lo studente è esercitato alla lettura e descrizione di grafici e tabelle e quindi del fenomeno. Gli studenti producono poi cartelloni illustrativi del lavoro.

Questa partenza operativa consente ad alcuni docenti di ampliare il percorso con ri-

³ In certi casi le classi si sono già avvicinate al problema della misura e della raccolta dati nonché delle grandezze qui citate, in altri casi invece si tratta del primo approccio, che avviene operativamente e costituisce lo spunto per poi approfondire le conoscenze relative a questo campo della fisica.

cerche effettuate da piccoli gruppi di studenti sugli strumenti utilizzati e il loro funzionamento; ad esempio, dal termoscopio al termometro, il termometro di massima e minima e il suo funzionamento, le scale termometriche, il barometro di Torricelli, il barometro aneroide, l'igrometro a capello; tutte ricerche inserite in un ambito più generale di studio dei concetti di calore e temperatura, di pressione e d'umidità, di clima.

Fase 2 – Studio della qualità dell'aria⁴

Lo studio è articolato in due attività.

Prima attività: raccolta dati ed osservazioni

Gli studenti preparano alcune capsule Petri ungendone il fondo con olio, numerandole e annotando i numeri in tabella e, in corrispondenza, la dislocazione di ciascuna capsula; le capsule sono posizionate in spazi scolastici (aule, laboratori, locale caldaia) ed extrascolastici (vicino a strade, camini, abitazioni, campi).

Si lasciano le capsule in sito per una settimana, poi si raccolgono e si osservano con il microscopio stereoscopico, raccogliendo le immagini con una telecamera on-line col PC con adeguato software (tutto il materiale è uguale nelle varie scuole).

Gli studenti descrivono i reperti trovati sulle capsule e, mettendo in relazione tali reperti con la posizione delle capsule stesse, traggono alcune conclusioni; si tratta d'osservazioni di tipo qualitativo e d'ipotesi che nascono da esse.

È uno studio che si potrebbe definire d'introduzione alla qualità dell'aria, è molto semplice ma consente di familiarizzare con tecnologie moderne, imparare ad essere accurati nel fare osservazioni, nel raccogliere dati e mettere in relazione questi per formulare ipotesi. Per gli studenti è un'attività motivante, che non mette in difficoltà e guida all'apprendimento del metodo scientifico.

Seconda attività: licheni

L'attività per il momento è svolta con gli studenti semplicemente raccogliendo licheni (indicatori della qualità dell'aria) dagli alberi e dai muretti prospicienti l'edificio scolastico; tali licheni sono osservati con il microscopio stereoscopico, sono poi fatte alcune classificazioni utilizzando chiavi dicotomiche e i reperti sono fotografati. Gli studenti si avvicinano al problema della conoscenza dei licheni e della classificazione con ricerche in Internet e su testi di scienze.

L'attività è ancora in un fase di formazione e di ricerca.

⁴ Destinata alle classi seconde della scuola secondaria di I grado.

Fase 3 – Raccolta dati meteorologici⁵

Si tratta della stessa esperienza realizzata nelle classi prime, ma questa volta è condotta con tecnologie attualissime: si utilizza una serie di sensori di temperatura, umidità, pressione, in modalità *on-line* oppure *off-line*, collegati con un computer tramite un'interfaccia per raccogliere i dati. Poiché è possibile programmare tali strumenti per raccogliere 100 gruppi di dati, si fissano quattro giorni di raccolta dati (un gruppo di dati ogni ora).

L'attività è svolta con gli studenti, che in parte hanno già avuto occasione di apprendere l'uso dei sensori e del software *on-line* per raccogliere dati in semplici e brevi esperimenti quali l'ebollizione dell'acqua, il punto di fusione del ghiaccio, la misurazione di temperature del corpo umano e dell'atmosfera, il punto di fusione del paradiclorobenzolo; quindi si procede a programmare l'attività per raccogliere dati *off-line* prima per pochi minuti, infine per 100 ore.

Fatta la programmazione sul software utilizzato, si distacca l'interfaccia dal PC e si posiziona in un punto del laboratorio attraverso il quale sia possibile far uscire i sensori a contatto con l'atmosfera esterna all'aula (esempio una piccola finestrella a grate che possa rimanere aperta giorno e notte, esposta a Nord). Dopo le 100 ore, si procede con la classe alla raccolta dati ponendo lo strumento di nuovo on-line e scaricandoli. Con un opportuno software si ottengono direttamente una tabella ed un grafico esportabile su foglio elettronico.

Gli studenti spediscono in rete i dati che vengono confrontati con quelli ottenuti con strumenti cosiddetti tradizionali. Si commentano i risultati facendo osservazioni sull'andamento delle grandezze osservate riferendosi in particolare alle ore notturne ecc, che era prima impossibile raccogliere.

Di seguito sono presentati tre grafici a titolo esemplificativo.

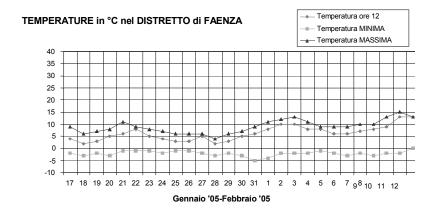


Fig. 30 - Temperature ore 12.00, minima e massima nel distretto di Faenza. Gennaio-febbraio 2005

⁵ Destinata soprattutto alle classi terze.

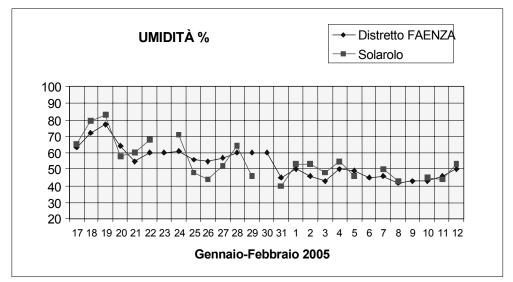


Fig. 31 - Umidità relativa in percentuale a Solarolo e nel distretto di Faenza. Gennaio-febbraio 2005

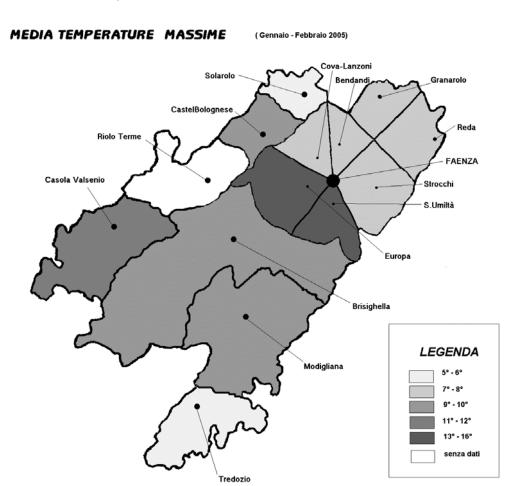
L'attività è un modo per familiarizzare con tecnologie moderne e innovative e osservare grafici, che, essendo rapidamente modificabili, consentono interessanti approfondimenti matematici sulla pendenza delle rette nel piano cartesiano.

Molti studenti osservano che questi strumenti descrivono meglio il fenomeno perché consentono un monitoraggio orario. Naturalmente anche questi dati vanno letti con atteggiamento critico e confrontati con le altre osservazioni effettuate.

Interessante la formulazione delle ipotesi sul momento della giornata in cui si ha la temperatura minima e/o massime, le correlazioni che si possono trovare tra le varie grandezze ecc.

Anche questi dati sono inviati alla scuola 'Carchidio-Strocchi', rielaborati in questa sede ed inviati di nuovo a tutte le scuole che così possono riutilizzarli.

Fig. 32 - Medie delle temperature massime nel distretto di Faenza e localizzazione delle scuole della 'rete'. Gennaio-febbraio 2005



LA RETE GLOBESEREN@

Vanna Nucciotti

"Quando l'uomo non sa verso quale approdo naviga, nessun vento gli è favorevole". SENECA

Introduzione

La nostra conoscenza del mondo che ci ospita è profondamente cambiata in questi ultimi anni e le minacce ambientali che incombono ci hanno portato ad elaborare nuovi strumenti per misurare il nostro impatto ambientale. Ci è ormai chiaro che il sistema socio-economico che abbiamo costruito non è sostenibile per gran parte delle generazioni presenti e non lo sarà per le generazioni future se questa situazione non sarà disinnescata. Il decennio che ci separa dal Summit di Rio (1992) ha mostrato piccoli miglioramenti sulla via della sostenibilità, ma essi sono poi risultati largamente cancellati dai nostri crescenti consumi. Non appare quindi facile trovare soluzioni efficaci affinché la sostenibilità non rimanga una formula retorica e vuota. C'è bisogno della responsabilità di ogni soggetto in causa, raggiungibile però non tanto con un lavoro di sensibilizzazione, ma soprattutto con un lavoro di ascolto dei cittadini, un lavoro capace di comprendere cosa, rispetto ad azioni concrete, integrate, partecipate, la gente sarebbe disposta a fare davvero.

È in questo contesto che la scuola deve e può assumersi le sue responsabilità, valorizzando il suo ruolo di 'primo' spazio pubblico di confronto tra soggetti diversi, nonché la ricerca di nuovi modi di essere uomini e donne responsabili nelle relazioni e nelle scelte. *Il problema non è programmatico, ma paradigmatico*. Occorre organizzare la conoscenza per una società, che richiede agli individui una partecipazione attiva, originale e responsabile; occorre evitare la grande disgiunzione tra cultura umanistica e scientifico-tecnologica; infine occorre operare un riaccorpamento polidisciplinare attorno ad un nucleo organizzatore sistemico, superando la pretesa di esaustività, tendente ad offrire 'tutto' all'interno del percorso scolastico (scuola del 'sapere', 'saper fare', 'saper essere').

L'Istituto Tecnico Industriale Statale 'O. Belluzzi' di Bologna si è in questo senso impegnato con iniziative in campo ambientale già dagli anni '70-'80. Ma è negli anni '90 con la nascita del corso sperimentale nazionale FASE (Fisica Ambientale Sanitaria

Europea) che il Belluzzi ha puntato su strategie 'forti' come: la struttura organizzativa interna, la revisione dei curricoli, il laboratorio diffuso, l'aggiornamento. Il Belluzzi ha messo in campo, in convenzione con Enti del territorio, le proprie professionalità, ha lavorato a progetti di sensibilizzazione, ha utilizzato 'l'arte' del riciclo con un laboratorio creativo dell'alluminio, ha stimolato la creatività e la comunicazione.

È certamente quella della struttura organizzativa interna uno dei punti nodali; ogni scuola può individuare la sua: al Belluzzi opera da anni una Commissione ambiente, espressione del Collegio dei docenti, che individua le linee generali del progetto ambiente dell'Istituto e supporta i Consigli di Classe nella realizzazione delle attività.

È così che progressivamente si sono potuti mettere in campo progetti di respiro pluriennale, in grado di coinvolgere più classi su diverse fasce di età e ci si è esercitati nella 'pratica' della metodologia di Agenda 21 come momento didattico/formativo. Infatti, attraverso questo processo, la scuola non solo mantiene un collegamento col proprio territorio partecipando alla soluzione dei suoi problemi, ma diviene una vera e propria risorsa, condividendo a livello locale ricerca, progettualità, riflessione ed azione e promuovendo la formazione di persone autonome, consapevoli ed attive.

La rete GlobeSeren@1

La rete Globe è una rete di monitoraggio di parametri ambientali che 'muove' più di 1000 scuole nel mondo. Essa contribuisce alla conoscenza dinamica dello stato ambientale della Terra, offre agli scienziati un'occasione in più per 'provare' i modelli a scala planetaria, instaura una comunicazione fra giovani e scienziati, si mantiene in vita con i finanziamenti e l'organizzazione di una Agenzia come la NASA. Un rapido viaggio nel sito Internet di Globe permette di scoprire le diverse potenzialità del suo progetto ispiratore. Alla rete Globe partecipa il Belluzzi, una delle 22 scuole italiane scelte dal MIUR.

La rete Seren@ è una rete meteorologica di scuole a scala regionale, nata quattro anni fa su un'idea del Belluzzi e cresciuta con la collaborazione di ARPA-SIM (Servizio Idro-Meteorologico), che funge da tutor tecnico-scientifico del progetto. Essa sta organizzandosi per trasformare in patrimonio comune le sue informazioni raccolte sul territorio e garantire la pubblicazione di un archivio di dati attendibili. La rete attinge da fondi TARSU, fondi dell'Istituzione, fondi della Regione Emilia-Romagna, eventuali sponsor, ma non gode di finanziamenti stabili. Chi saranno i suoi utenti, ma soprattutto di quali valori sarà portatrice dipenderà da quanto sarà responsabile, credibile e creativa nel tempo. Attualmente consta di 20 scuole delle province di Bologna, Ravenna e Reggio Emilia e ad essa lavorano più di 1000 studenti. Le risorse umane a cui

¹ Per una descrizione ulteriore delle attività della rete, si possono consultare alcune schede nel capitolo seguente.

fa riferimento sono in parte interne all'Istituto Belluzzi e alle scuole partner, ma in gran parte di Enti ed Istituzione del territorio, con cui la scuola ha stipulato convenzioni. Le stazioni meteo che utilizza sono state acquistate da Comuni e Province e cedute in comodato gratuito alle scuole. Purtroppo atti di vandalismo e furti stanno riducendo le potenzialità iniziali delle scuole.

In GlobeSeren@ gli studenti 'piccoli' fanno osservazioni giornaliere utilizzando la stazione meteo sistemata nel cortile della loro scuola, leggono le nubi, compilano bollettini, elaborano dati, partecipano ad eventi e manifestazioni, realizzano materiali (anche creativi). Gli studenti 'grandi', invece, fanno osservazioni, ma con strumentazioni più sofisticate, partecipano al progetto internazionale Globe, validano i dati che vanno a costituire un data-base da loro realizzato con l'aiuto degli esperti di ARPA-SIM e visibile nel sito del Belluzzi, partecipano ad eventi e manifestazioni, si formano in stages presso Enti ed Aziende del territorio. Ma la loro attività in campo è finalizzata anche ad un lavoro di tutorato verso gli 'studenti più piccoli', per i quali realizzano materiali didattici, scientificamente corretti: diventano quindi gli 'esperti' di riferimento per i 'piccoli'.

						- Σ)		The state of the s		Contract of the last	201								
Arial	P16 *	8 - (G C	S I	F 8	■国	€€0	00 €	语 語	H + 0	· 🛆 ·	A .							
	A	В	С	D	Е	F	G	Н	1	J	K	L	M	N	0	Р	Q	R	
6								- 12	Precipitazione						1115				
7	data	ora	В	M	A	nuv	Tx	Tn	Td	Ti	Δ	UR	Р	Ptot	gp	Н	Eql	gn	Т
8	99	UT	S	S	S	decimi	°C	°C	°C	°C	°C	%	mbar	mm	n	mm	mm	n	5
9	1-mag	12								8									Г
10	2-mag	12					30.0	10.0	20.0	10.0	20.0	100	991.0	0					Г
11	3-mag	12					20.0	5.0	12.5	19.0	15.0	80	991.0	2					П
12	4-mag	12					19.0	11.0	15.0	18.0	8.0	55	989.0	19					T
13	5-mag	12										3					-	-	
14	6-mag	12					19.0	7.0	13.0	14.0	12.0		750	0					П
15	7-mag	12					21.0	7.0	14.0	15.0	14.0		748	0					
16	8-mag	12					24.0	14.0	19.0	17.0	10.0	96	992.0	1					Γ.
17	9-mag	12					26.0	11.0	18.5	23.0	15.0		903.0	10					Г
18	10-mag	12					21.0	9.0	15.0	20.0	12.0	56	992.0	5					T
19	11-mag	12					12.0	10.0	11.0	11.0	2.0	85	992.0	2					Г
20	12-mag	12																	T
21	13-mag	12					25.0	10.0	17.5	22.0	15.0	48	980.0				ĵ		T
22	14-mag	12					25.0	23.0	24.0	24.0	2.0	47	998.0	0			Į.		T
23	15-mag	12					39.0	24.0	31.5	34.0	15.0	50	1003.0						T
24	16-mag	12					27.0	26.0	26.5	27.0	1.0		993.0	0					t
25	17-mag	12												0					T
26	18-mag	12					30.0	13.0	21.5	26.0	17.0	30	991.0						T
27	19-mag	12				5						9						,	T
28	20-mag	12								4	[4]			1000					1.9

Fig. 33 - Il Bollettino delle osservazioni GlobeSeren@

È questa della solidarietà fra 'grandi' e 'piccoli' una delle leve più importanti del progetto, che ha riscosso l'interesse del territorio in occasione della 'Conferenza internazionale sui cambiamenti climatici' tenutasi a Buenos Aires dal 6 al 17 dicembre 2004, 'Milioni di passi contro l'effetto serra'. La rete GlobeSeren@ ha partecipato su richiesta all'iniziativa 'Bologna per un buon clima', promossa dal Centro Antartide con l'obiettivo di far riflettere tutti i cittadini, bambini, giovani e adulti, sulla necessità di compiere gesti concreti per ridurre le emissioni di anidride carbonica. In quella occasione 10 gruppi di ragazzi 'grandi' Globe Seren@ sono stati educatori per un giorno, in 20 scuole primarie e secondarie di primo grado di Bologna e provincia, tenendo lezioni accompagnate da esperimenti sul clima.

Seren@, infatti, non è solo una rete di monitoraggio, ma anche una comunità d'interesse, che vuole condividere idee, attività, azioni e accumulare capitale sociale. Sta sperimentando, con un gruppo più consolidato, un laboratorio delle idee per una *scuola capace di futuro* e cerca di acquisire alcuni punti fermi sulle rappresentazioni didattiche del pensiero sistemico e della sostenibilità lavorando in maniera integrata a diversi livelli scolastici. Lavora sui *curricula* verticali per integrare le scienze della natura con le scienze sociali e lo fa descrivendo e vivendo realtà locali e globali. Pratica un pensiero attivo costruendo relazioni interne ed esterne alla scuola e processi di 'Agenda 21'.

Il tema di cui si occupa GlobeSeren@ è 'Atmosfera e clima', che riunisce in sé diverse valenze e/o potenzialità:

- non è parte di nessuna disciplina specifica, ma ha bisogno delle discipline in modo approfondito per poter essere studiato;
- tiene insieme i problemi vicini, quelli che coinvolgono i nostri comportamenti quotidiani e riguardano il territorio che abitiamo, ma legge anche i fenomeni globali;
- è di grande rilevanza e di grande attualità, infatti, è quasi giornalmente presente nei nostri media con notizie, che creano grande ansia e generano un senso di impotenza;
- abbisogna di decisioni tempestive, sia a livello di cittadini sia a livello di istituzioni, decisioni che vanno prese in situazione d'incertezza, condividendo una priorità di valori.

I 'percorsi d'ambiente' che sono realizzati nell'ambito di GlobeSeren@ si prefigurano come Aree di Progetto pensate flessibili nei tempi, nei modi e nei temi specifici da approfondire, per lasciare spazio agli interessi degli studenti e per raggiungere anche momenti di co-progettazione alla pari. È questo, quando si realizza, un momento molto importante perché significa che si è riusciti a fare un buon lavoro di ascolto e ad intercettare i modelli mentali degli studenti.

Anche l'intelligenza emotiva ha bisogno di essere educata ed allenata. Lasciare al caso l'apprendimento emozionale rischia di sprecare l'opportunità di creare nei giovani un'autoconsapevolezza emozionale. La rete a questo proposito ha sperimentato un laboratorio di scrittura creativa con sette classi, quattro di scuola media e tre del Belluzzi coinvolgendo tutti i docenti, compresi quelli di discipline artistiche e letterarie, che spesso si sentono esclusi dai percorsi di educazione ambientale. Il breve percorso di

'attenzione emotiva', durato tre mesi, ha guidato ed orientato con l'aiuto di un esperto attore-regista l'invenzione di scritture e di situazioni teatrali ed è terminato con una rappresentazione conclusiva nell'aula magna del 'Belluzzi', durante la 'Festa del clima', evento cittadino nell'ambito delle manifestazioni 'Il cielo in un'aula' di Scuolambiente.

L'obiettiva complessità della rete e le difficoltà incontrate spingono i partner nella fase attuale a ricercare aggiustamenti e strategie di consolidamento. La rete mantiene quindi ancora un carattere sperimentale: si concentra su alcuni obiettivi fondamentali per definire meglio la propria identità, rivedere la distribuzione dei compiti, lavorare per integrare le scuole in difficoltà, continuare a sperimentare con il gruppo più avanzato metodologie nuove e nuovi 'percorsi d'ambiente', con l'aiuto dei CEA locali, della *Showroom* dell'energia, di ISAC-CNR e di Partecipando (Centro di documentazione per l'educazione ambientale della provincia di Bologna con sede al Belluzzi), come nuove risorse non occasionali.

Gli ipertesti prodotti dagli studenti e i materiali del progetto sono a disposizione di tutti in un sito web del Belluzzi:

http://belluzzi.scuole.bo.it/progetti/globeseren@/globeseren@.htm.

Il sito della banca dati meteorologica di globeserena è:

http://globe.belluzzi.scuole.bo.it/; nella scuola vi è un altro sito con dati meteorologici aggiornati: http://studenti.scuole.bo.it/meteo2/

Il partenariato fra scuole

Uno dei nodi centrali del progetto sta nella realizzazione di un partenariato tra scuole di livello diverso (primaria e secondaria). Il partenariato è un modello non frequente nel nostro paese, in particolare nel mondo della scuola, specialmente se si tratta di mettere insieme scuola primaria e scuola secondaria.

L'accordo di rete è lo strumento attraverso cui nel progetto si definiscono obiettivi e vincoli; le singole scuole poi hanno la libertà e l'onere di organizzare e gestire le azioni, che permettono di raggiungere gli obiettivi rispettando i vincoli. L'accordo di rete definisce cioè il cosa, le scuole definiscono il come (POF). Programmi annuali e incontri periodici costituiscono elementi di stimolo e di controllo dei processi avviati. I contatti Internet facilitano le relazioni, a volte quotidiane.

All'interno del progetto il 'Belluzzi' mette a disposizione relazioni e competenze che permettono alle scuole partner di conseguire risultati non facili e dispendiosi in termini di tempo e di risorse, ma anche di far crescere il proprio *know-how* e la propria organizzazione. La presenza stabile nell'accordo di rete di soggetti esterni alla scuola in qualità di tutor e/o consulenti aiuta la spinta al superamento dell'autoreferenzialità del 'mondo scuola' e garantisce che il 'prodotto' a cui tendere sia di qualità quanto il processo che stimola la capacità di crescere insieme.

Il Belluzzi come scuola capofila è il principale responsabile del raggiungimento dei

risultati e esercita il ruolo di coordinamento e di controllo senza avere un rapporto di autorità gerarchica.

È evidente la difficoltà di gestire in modo operativamente efficace una struttura in cui sono rappresentati molti interessi diversi, a volte in conflitto, e dove occorre imparare a:

- lavorare insieme su obiettivi concordati, secondo percorsi che vanno negoziati, per raggiungere risultati che ciascun partner possa considerare validi;
- interagire con l'altro, dandosi regole comuni, che sappiano non solo rispettare, ma anche valorizzare le diversità.

Ogni partner vede il mondo attraverso filtri in parte determinati dalle proprie esperienze. È come avere una mappa che descrive il territorio, ma la mappa non è il territorio, ne è solo una rappresentazione e ognuno di noi ha una mappa diversa per lo stesso territorio. Riuscire a rendere esplicite le diverse 'mappe', con cui ogni scuola esprime se stessa e le proprie esigenze, per costruirne una, non completa, non definitiva, ma più ricca è uno dei compiti della scuola coordinatrice, che raccoglie le proposte e interpreta i bisogni che di volta in volta vengono espressi, proponendo e ricercando soluzioni per successive approssimazioni. È un lavoro continuo che soddisfa parzialmente le aspettative delle scuole partner, ma riuscire sul serio a trovare una struttura delle scuole, gestita dalle scuole, che ascolta le scuole e, sia pure con difficoltà, dà risposte concrete, è una condizione essenziale di successo. È questa forse la ricchezza meno evidente di questa situazione.

Restano comunque ad appesantire la gestione i pur necessari vincoli amministrativi e contabili e le regole che a volte si scontrano con la necessità di flessibilità che il modello propone. L'autonomia della scuola ha sicuramente bisogno di crescere assieme alla consapevolezza dei suoi operatori.

Alcune note informative sulla rete GlobeSeren@

Obiettivi:

- mantenere, consolidare, ottimizzare ed implementare tutte le attività della 'rete meteorologica regionale di scuole';
- pubblicare e aggiornare l'archivio del Belluzzi di dati meteo raccolti dalle scuole della rete e validati;
- approfondire le tematiche relative al clima e ai cambiamenti climatici, facilitando l'analisi comparativa dei dati acquisiti e sperimentando nuovi strumenti e metodi di approccio alla molteplicità degli aspetti ecosistemici;
- conoscere lo scenario complessivo, che lega energia e ambiente alle attività economiche, politiche e sociali di un territorio;
- lavorare all'arricchimento e alla manutenzione dello spazio web costruito per pubblicare i materiali del progetto e documentare il lavoro svolto;

- promuovere una 'cultura di rete' che consenta di muoversi dall'orizzonte individuale a quello relazionale, anche attraverso lo sviluppo delle capacità e potenzialità dei singoli in relazione con il gruppo;
- progettare e realizzare percorsi didattici che aiutino a interiorizzare i valori della sostenibilità, migliorando la consapevolezza ambientale degli individui e rintracciando la coerenza tra conoscenze, valori e comportamenti;
- costruire competenze di cittadinanza attiva attraverso percorsi che provano a ridisegnare un diverso interagire tra amministratori ed amministrati e progetti di risposta a problemi concreti in coerenza con i piani locali di azione ambientale;
- sviluppare attività di sensibilizzazione e comunicazione, anche creative, all'interno della rete e/o verso il territorio sul tema atmosfera e clima.

Collaborazioni:

- ARPA-SIM (Tutor tecnico-scientifico del progetto): supporto gratuito nella progettazione e nella realizzazione di attività tecnico-scientifiche, nella formazione di docenti della rete e di studenti del 'Belluzzi';
 - ARPA BO: supporto gratuito formativo, informativo, organizzativo;
 - ENEA: supporto nella formazione dei docenti e nella progettazione di unità didattiche;
- Università di Bologna, dipartimento di fisica, chimica e biologia: supporto nella formazione dei docenti e nella progettazione di unità didattiche;
- CNR-IBIMETT, CNR-ISAC: supporto nella formazione, nella progettazione e nella realizzazione del progetto;
- CEA (Centro Antartide, Scuolambiente, Anima Mundi, Villa Ghigi), Parco di Monteveglio, Parco dei Gessi: supporto di progettazione, di formazione e di realizzazione dei percorsi e delle attività, Showroom energia;
- Comune di Bologna: formazione docenti e studenti, progettazione e realizzazione di attività di *audit* energetico *Partecipando*;
- Provincia di Bologna Centro di documentazione per l'educazione ambientale: supporto nella formazione e nella realizzazione.

Scuole partner (al 2005)

Capofila: ITIS Belluzzi - Bologna

I.C. n. 16 - Scuola media 'Guido Reni' - Bologna

I.C. n. 9 - Scuola media 'Il Guercino' - Bologna

I.C. 'Dozza' - Bologna

I.C. Centro - Scuola media 'Marconi' - Casalecchio di Reno (Bo)

I.C. Croce - Scuola media 'Galilei' - Casalecchio di Reno (Bo)

I.C. Ceretolo - Casalecchio di Reno (Bo)

I.C. di Castel Maggiore 'Donini Pelagalli'- Castel Maggiore (Bo)

- I.C. Granarolo Scuola media 'Matteucci' Granarolo (Bo)
- I.C. Zola Predosa Scuola media 'Francia' Zola Predona (Bo)
- I.C. Pepoli Scuola media 'Morandi' Camugnano (Bo)
- S.M. 'Lelio Orsi'- Novellara (Re)
- IPSAA 'A. Motti' Castelnovo ne' Monti (Re)
- I.C. Villa Minozzo Villa Minozzo (Re)
- Liceo Scientifico 'A. Moro' Reggio Emilia
- I.C. di Gattatico Gattatico (Re)
- I.S. Morigia Istituto Agrario Perdisa Ravenna
- I.C. S.Pietro in Vincoli Scuola Elementare 'Campagnoni' S.Pietro in Campiano (Ra)
- I.C. San Biagio Scuola media 'Don Minzoni' Ravenna
- I.C. Mameli Scuola media 'E.Mattei' Marina di Ravenna

RACCOLTA, ELABORAZIONE E PUBBLICAZIONE DI DATI AGRO-METEOROLOGICI¹

Ivana Mazzolani, Franco Poggiali, Anna Maria Ricci

Finalità ed obiettivi del progetto

Il progetto, attivato presso l'Istituto Tecnico Agrario Statale 'L. Perdisa' di Ravenna (aggregato all'Istituto Tecnico Statale per Geometri 'C. Morigia') a partire dall'anno scolastico 1988, è rivolto alle classi terze e nasce dall'esigenza di porre le basi per la conoscenza e lo studio degli ecosistemi in generale e di quello agrario in particolare, inoltre evidenzia l'importanza del clima sulle produzioni vegetali. Infatti, all'inizio del triennio gli alunni affrontano, così come previsto dal piano di studio, materie professionali quali Agronomia generale e Biologia, che implicano conoscenze specifiche sugli elementi climatici e sulle interazioni che esistono fra ambiente e comportamento degli organismi viventi.

Nell'ottica di una moderna gestione dell'impresa agraria, le innovazioni organizzative implicano conoscenze e competenze relative alle previsioni climatiche, questo per scegliere i tempi più opportuni delle operazioni colturali e della raccolta delle produzioni vegetali, con risvolti positivi sia dal punto di vista quantitativo, sia da quello qualitativo.

Gli obiettivi del progetto sono articolati sia a livello cognitivo, sia formativo.

Obiettivi cognitivi	Obiettivi formativi				
- conoscere i fattori climatici;	- raccogliere dati agrometeorologici;				
- conoscere la loro interazione con gli orga-	- produrre tabelle e grafici;				
nismi viventi e l'attività dell'uomo;	- confrontare grafici e dati;				
- conoscere la strumentazione specifica e il	- produrre un fascicolo cartaceo;				
suo funzionamento;	- organizzare lavoro individuale e in gruppo;				
- conoscere il sottocodice linguistico.	- esprimere le proprie idee;				
	- saper creare;				
	- utilizzare il sottocodice specifico.				

¹ Lisetta Lega ha partecipato alla stesura di questo contributo.

Clima e ambiente

Le piante crescono in due ambienti ben diversi, ugualmente importanti per assicurare un armonioso sviluppo. Questi ambienti sono il terreno, esplorato dall'apparato radicale, e l'atmosfera dove la pianta sviluppa l'apparato aereo, responsabile dell'elaborazione della maggior parte della materia secca.

L'agricoltura non può fare a meno di considerare le informazioni meteorologiche e climatologiche e il loro continuo sviluppo come supporto operativo specializzato. Si tende, infatti, ad acquisire informazioni da introdurre nella gestione delle imprese al fine di ottimizzarne i risultati operativi.

Il rapporto tra lo stato fisico dell'atmosfera e l'agricoltura, pertanto, deve essere visto in termini di tattica e di strategia. Per la prima occorre fare ricorso alla meteorologia, cioè alle condizioni del tempo presente e di quello previsto a breve termine (fino a 3-4 giorni); per la seconda è necessario affidarsi a una moderna climatologia. Ciò perché non si è ancora in grado di disporre di previsioni a medio e lungo termine che diano un affidamento tale da poter concorrere alla pianificazione generale delle operazioni agricole.

I fattori principali della produzione agraria sono il clima, il terreno e la pianta. L'agronomia studia gli interventi dell'uomo su tali fattori, al fine di esaltarne la produzione sia sotto gli aspetti quantitativi che qualitativi.

Il clima ha sempre avuto un ruolo determinante per le attività economiche intraprese dall'uomo. Gli antichi avevano intuito l'esistenza di rapporti intercorrenti fra clima e utilizzo del suolo. Teofrasto sosteneva infatti che "è l'anno a produrre, non il campo". Ciò significa che il raccolto è notevolmente influenzato dai fattori climatici. Questo aforisma, ancora oggi valido, mette in luce la scarsa incisività che ha l'uomo nel modificare i fattori del clima.

L'influenza del clima sulle produzioni agrarie e lo stretto legame fra agricoltura e tempo sono presenti in maniera suggestiva anche nella tradizione contadina ricchissima di proverbi. Molti di essi evidenziano chiaramente lo stato di rassegnazione dell'uomo di fronte agli eventi climatici e la speranza nella benevolenza della divinità.

Lo sviluppo economico ha dato vita ad industrie e servizi quali l'edilizia, i trasporti e il turismo che come l'agricoltura sono influenzati, anche se con specificità diverse, dal clima. È vero che il clima è da accettarsi come viene, ma è anche vero che quanto più esso è conosciuto e studiato, tanto più i danni che può arrecare alle nostre attività possono essere ridotti ed evitati. È opportuno quindi sottolineare l'utilità e la produttività che i servizi meteorologici assumono nei confronti della collettività.

Negli ultimi decenni lo sviluppo dell'agricoltura ha incrementato notevolmente le produzioni, nonostante la contrazione delle superfici coltivate. Tutto ciò è stato possibile grazie alle innovazioni tecnologiche introdotte nel settore, che possono essere raggruppate in:

- *innovazioni meccaniche* riguardanti un utilizzo sempre maggiore di macchine operatrici ed attrezzature per l'esecuzione di operazioni colturali;

- *innovazioni chimiche* basate sull'utilizzo di fertilizzanti, erbicidi, antiparassitari, fitoregolatori, ecc.;
- *innovazioni agronomiche e zootecniche* relative agli avvicendamenti colturali, alle tecniche colturali, ecc.;
- *innovazioni biologiche* riguardanti il miglioramento genetico con la costituzione di nuove varietà ed ibridi, con la micropropagazione, con gli organismi geneticamente modificati, ecc.;
- *innovazioni organizzative* comprendenti le soluzioni per la combinazione e ottimizzazione dei fattori della produzione: basti pensare all'analisi di gestione aziendale e all'applicazione dell'informatica, alla elaborazione delle previsioni climatiche per scegliere i tempi più opportuni per l'esecuzione delle operazioni colturali e la raccolta dei prodotti.

Nonostante tutto, il clima gioca ancora un ruolo determinante nel definire i risultati produttivi; un esempio eclatante è rappresentato dall'annata agraria del 2003 in cui i fattori meteorici avversi (siccità) hanno avuto ripercussioni negative, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, sulla produzione del settore.

Gli elementi del clima e l'attività agricola

Gli elementi del clima che influenzano il settore agricolo sono: temperatura, umidità, idrometeore (pioggia, neve, grandine, brina, ecc.), radiazione solare (effetto luminoso ed effetto termico), vento, atmosfera (composizione atmosferica e venti o correnti aeree).

La temperatura è uno dei grandi elementi climatici e da essa dipendono, in larga misura, l'estensione e la localizzazione delle aree di coltivazioni. Il fattore che influenza maggiormente la temperatura è certamente la radiazione solare, la principale fonte di calore per il nostro pianeta. Gli scambi di calore fra suolo ed atmosfera determinano le variazioni giornaliere e stagionali. La superficie terrestre funge da sorgente di calore per l'atmosfera. La temperatura varia con latitudine, altitudine, pioggia, vento e correnti marine. L'ambiente aereo è un fattore molto importante per la crescita e lo sviluppo delle colture grazie alla velocità delle reazioni metaboliche che in esse si svolgono.

Per ciascuna specie ci sono tre punti cardinali di temperatura:

- valore ottimale (massima velocità di accrescimento);
- valore di minima (arresto dello sviluppo della pianta);
- valore di massima (arresto dello sviluppo della pianta).

Per una stessa coltura le tre temperature cardinali variano in funzione delle fasi fenologiche e per ogni processo fisiologico esiste un *optimum* di temperatura. Ogni coltura raggiunge la maturazione quando ha accumulato una certa quantità di calore.

Per perdite d'acqua colloidale e conseguente coagulazione delle proteine, le basse temperature possono arrecare danni alle colture, soprattutto in attività vegetativa.

Quando la temperatura diventa troppo elevata, si osserva un arresto vegetativo delle colture. I sintomi più caratteristici sono: ingiallimento fogliare, appassimento, essiccamento parziale e conseguente morte delle piante.

L'umidità dell'aria indica il contenuto di vapore acqueo dell'atmosfera. Esso è generato dall'evaporazione dell'acqua presente allo stato liquido negli oceani, laghi, fiumi, terreno e vegetazione. L'umidità, insieme ad altri fattori, controlla il processo di traspirazione delle piante e di evaporazione dell'acqua dal terreno. Il contenuto di vapore acqueo atmosferico varia con la temperatura.

Il contenuto di umidità può essere indicato come umidità assoluta, cioè la quantità di vapore acqueo contenuto in un certo momento in un metro cubo di atmosfera, oppure come umidità relativa che è il rapporto, generalmente espresso in percentuale, fra la massa di vapore acqueo presente nell'atmosfera e quella che ci sarebbe se l'aria fosse satura di vapore. Il deficit di saturazione è la differenza tra la tensione di saturazione e la tensione di vapore reale.

Le idrometeore chiudono il ciclo dell'acqua sulla terra. Sono la fonte principale di rifornimento idrico per le piante. Attraverso le idrometeore l'acqua passata sotto forma di vapor acqueo nell'atmosfera raggiunge nuovamente la superficie del terreno.

Le principali idrometeore sono: pioggia, rugiada, brina, galaverna, neve e grandine; fra queste la più importante è la pioggia. Per valutare tale fenomeno è opportuno conoscere la quantità di pioggia (espressa in mm), la distribuzione nell'arco dell'anno, la frequenza (numero di giorni di pioggia) e l'intensità delle singole precipitazioni (mm/h). Va precisato che 1 mm di pioggia corrisponde a 1 litro di acqua per mq ed a 10 m³ di acqua per ettaro.

Il clima italiano è caratterizzato da un'irregolare distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni e da una forte variabilità sia annuale che mensile. Poiché esse presentano il più alto indice di variabilità è molto difficile prevederne l'andamento, di conseguenza è assai utile disporre di serie storiche da cui poter ricavare le probabilità di pioggia.

La radiazione solare, altro elemento importante, influisce direttamente o indirettamente sulle funzioni fisiologiche. La quantità di radiazione solare determina la produzione vegetale e l'efficienza fotosintetica delle piante in termini di sostanza secca, che nel futuro potrebbe essere utilizzata come fonte energetica alternativa. La quantità di radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre varia con la latitudine, l'esposizione, la giacitura, la nuvolosità, ecc.

Il vento, o corrente aerea, si origina per gli squilibri di pressione tra i diversi punti dell'atmosfera terrestre ed esplica significativi effetti tra cui trasporto di aria calda o fredda, accelerazione dei processi di maturazione e di essiccamento, allettamento, rottura di rami o di intere piante, trasporto di semi di malerbe, di polline e di sostanze tossiche. Inoltre interferisce sui processi di diffusione e attacco di determinati parassiti. Le

correnti d'aria, prevalentemente orizzontali, sono la manifestazione della tendenza di tutta l'atmosfera a raggiungere l'equilibrio, mai completamente conseguito se non per brevi periodi e su aree limitate.

La strumentazione agrometeorologica

Gli studenti al termine di lezioni frontali e sopralluoghi aziendali devono essere in grado di conoscere il funzionamento di una stazione meteorologica e di rilevare i dati da essa trasmessi. I dati sono raccolti da una stazione automatica progettata per l'acquisizione e la memorizzazione di informazioni agrometeorologiche. Tale stazione, di proprietà dell'Istituto Tecnico Agrario Statale 'L. Perdisa' di Ravenna, è collocata presso l'Azienda agraria, a pochi chilometri di distanza dalla città di Ravenna.

La stazione è costituita da due sezioni distinte: sensori agrometeorologici e sistema di acquisizione dati.

I sensori sono in grado di rilevare:

- temperatura dell'aria a 180 cm di altezza;
- umidità relativa dell'aria espressa in percentuale;
- precipitazioni (pioggia e rugiada) espresse in mm;
- bagnatura fogliare espressa in ore;
- radiazione solare globale espressa in cal/cmq nel periodo di tempo considerato;
- vento sfilato espresso in km al giorno.

I diversi rilevatori sono montati su pali di sostegno infissi nel terreno. Un cavo multipolare collega il gruppo dei sensori con il sistema di acquisizione alloggiato all'interno del laboratorio di agrometeorologia. Tramite un cavo di collegamento è possibile trasmettere i dati della centralina (sistema di acquisizione) ad un personal computer, garantendo l'archiviazione delle informazioni. Tale sistema interroga i sensori meteorologici e, tramite il personal computer, consente una lettura estemporanea dei dati meteo. Gli intervalli di acquisizione sono di 15 minuti per la temperatura, l'umidità, la radiazione solare, il vento, 5 minuti per la pioggia. L'unità di alimentazione, a batteria in tampone, garantisce la continuità di acquisizione dei dati anche in assenza di tensione di rete.

Con programmi specifici i dati sono elaborati e riportati in forma grafica.

Nei paragrafi seguenti si illustrano alcune esperienze.

Pubblicazione cartacea 'Dati agrometeorologici 2004'

1^a fase – Osservazione e conoscenza

Gli allievi effettuano sopralluoghi aziendali e assistono a lezioni frontali per la conoscenza delle strumentazioni e del loro funzionamento.

2ª fase - Raccolta ed elaborazione dei dati forniti dalla centralina agrometeorologica.

Gli studenti con specifici programmi analizzano le informazioni trasmesse ed elaborano i grafici che saranno riportati nella pubblicazione.

Dai dati riportati si può rilevare l'andamento climatico nei diversi periodi dell'anno e le eventuali ripercussioni sulle rese produttive delle specie coltivate in azienda, nonché sull'attività degli organismi patogeni. Come esempio si riporta la tabella dei dati agrometeorologici di un mese.

Tab. 12 - Dati agrometeorologici Gennaio 2004

Giorni	Tem	peratura	°C	Umidi	ità relat	iva %	Bagnatura fogliare	Pioggia	Radiazio- ne solare	Vento sfilato
	med	min	max	med	min	max	ore	mm	cal/cm2	km
1	5,2	0,8	11,4	92	68	98	20	0,6	168,3	19,1
2	3,7	-1,7	7,8	88	73	98	16	0,0	60,6	29,3
3	1,1	-2,0	5,9	85	59	94	12	0,0	92,7	19,8
4	-1,0	-4,3	3,0	85	67	92	18	0,0	140,7	11,5
5	-1,1	-5,9	5,9	85	61	95	18	0,2	188,2	13,7
6	-0,9	-3,3	0,4	95	92	96	24	0,0	32,1	12,0
7	1,6	-1,1	3,5	90	84	94	10	0,0	72,8	14,3
8	2,6	1,4	4,1	89	78	94	2	0,0	41,7	3,4
9	2,9	1,7	4,4	93	88	96	10	1,6	30,5	10,7
10	2,1	-3,4	5,2	92	83	96	6	0,2	79,3	27,7
11	0,6	-5	6,1	95	82	97	20	0,4	121,6	13,0
12	2,2	-2,1	10,0	92	63	97	18	0,0	138,3	9,5
13	2,9	-0,4	9,1	93	74	96	18	0,0	102,3	6,1
14	3,5	0,1	7,5	95	89	98	12	0,2	90,3	7,9
15	6,2	2,5	11,5	69	46	98	6	7,4	152,9	78,7
16	6,2	0,2	12,7	59	37	76	0	0,0	167	36,3
17	6,3	1,7	13,0	83	63	97	8	5,8	49,4	33,6
18	6,9	3,4	9,0	97	95	99	24	32,2	11,0	96,9
19	4,3	0,6	7,6	92	70	97	16	3,0	111,6	59,2
20	2,6	-0,5	8,5	89	70	96	14	0,0	106,9	7,5
21	2,7	-1,1	9,1	71	50	92	12	0,0	142,3	11,1
22	0,9	-3,0	6,8	65	44	90	14	0,0	87,1	10,7
23	0,0	-4,0	4,9	73	52	92	12	0,0	89,5	12,8
24	-0,6	-5,0	5,7	88	58	97	14	0,0	153,3	6,5
25	-0,8	-3,0	2,3	97	94	100	16	0,8	27,6	3,9
26	-1,7	-1,8	0,7	94	94	96	24	5,8	62,7	4,1
27	0,1	-0,9	1,3	97	96	97	18	6,2	51,1	8,7
28	1,2	0,0	2,2	93	90	96	14	1,2	62,1	30,9
29	1,8	-3,0	6,8	84	57	95	10	0,0	157,6	27,6
30	1,4	-3,3	9,0	65	33	92	0	0,0	273,9	26,4
31	3,0	-4,5	11,2	75	52	89	0	0,0	218,5	16,0
		media			media		somma	somma	somma	somma
1°dec	1,6	-1,8	5,2	89	75	95	136	2,6	906,9	161,5
2°dec	4,2	0,1	9,5	86	69	95	136	49,0	1051,3	348,7
3°dec	0,7	-2,7	5,5	82	65	94	134	14,0	1325,7	158,7
Mese	2,1	-1,5	6,7	86	70	95	406	65,6	3283,9	668,9

3° fase – Elaborazione dei dati annuali in veste grafica

La pubblicazione presenta numerosi grafici: grafico temperatura (evidenzia la temperatura media, minima e massima mensile); grafico temperature medie mensili (i diversi stati termici vengono confrontati con il periodo dal 1988 in poi); grafico umidità (visualizza l'umidità media, minima e massima per ciascun mese); grafico precipitazioni (le precipitazioni distribuite nell'arco dell'anno); grafico precipitazioni mensili (le medie mensili vengono confrontate con il periodo dal 1988 in poi); grafico radiazione solare (le variazioni mensili della radiazione solare globale nell'arco dell'anno); grafico radiazione solare mensile 2000 (confronto con le medie mensili a partire dall'anno 1988); grafico vento sfilato (somma dei dati rilevati mensilmente).

Metodologia

Strategie operative	Тетрі	Spazi
Lezione frontale	Ottobre/febbraio	Aula
Lezione interattiva	(attuazione delle	Laboratorio di agronomia
Discussione guidata	metodologie didattiche)	Laboratorio di informatica
Lavoro domestico	Aprile-maggio	Laboratorio di agrometeorologia
Lavoro di gruppo	(personalizzazione e	Azienda agraria
Sopralluoghi aziendali	presentazione del lavoro finale)	

Verifiche

Iniziale: colloquio per saggiare disponibilità, interesse, impegno della classe alla realizzazione del progetto.

Intermedie: prove scritte come quesiti a risposta aperta, risoluzione di problemi e colloqui orali.

Finale: fascicolo cartaceo.

Valutazione

Discussione di classe sulla strutturazione del prodotto finito e sulle procedure seguite; osservazioni, suggerimenti e proposte per l'attuazione del progetto nell'anno successivo. In occasione di 'Una giornata all'I.T.A.S.', presentazione da parte degli studenti del prodotto finale, elaborato in modo originale e personalizzato dalla classe.

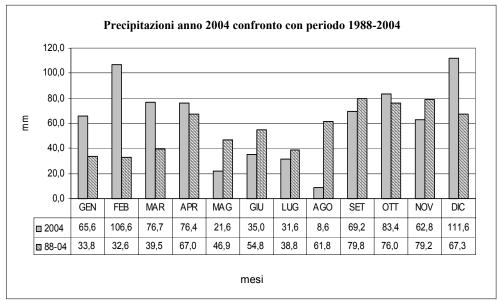


Fig. 34 - Precipitazioni in mm nell'anno 2004 e confronto con il periodo 1988-2004

'Clima ... a scuola': realizzazione di un ipertesto

Gli studenti della classe terza nell'anno scolastico 2003/04 hanno proposto la realizzazione di un ipertesto complementare alla produzione della dispensa 'Dati agrometeorologici'. La richiesta è stata valutata con una discussione in classe da cui è emerso il consenso degli studenti e dei docenti alla creazione di un nuovo prodotto che richiedeva una nuova raccolta di dati (immagini e documentazione cartacea), competenze informatiche e multimediali, disponibilità ad un'attività interdisciplinare (italiano, agronomia, inglese ed informatica).

Il lavoro è stato svolto in ore curricolari ed extra per un totale di 20 ore.

La classe, di 31 alunni, è stata suddivisa in 7 gruppi con i seguenti incarichi di lavoro:

- a) ricerca in archivio di dati meteorologici relativi al periodo 1988-2003 per presentare tabelle e grafici di comparazione; per ricostruire una storia della pubblicazione; per la compilazione di un *meteorecord Itas*;
- b) ricerca immagini e produzione fotografie della strumentazione agrometeorologica e idonei approfondimenti relativi al funzionamento;
 - c) stesura di una mappa logica delle conoscenze raccolte;
- d) gruppo operativo informatico per la realizzazione della *home page* e dei vari collegamenti ipertestuali;
 - e) gruppo di ricerca e raccolta musiche, immagini di abbellimento;

- f) un gruppo ha raccolto i proverbi relativi al clima in dialetto romagnolo, lingua italiana, inglese e ha elaborato un glossario;
- g) i rimanenti hanno illustrato attraverso *flash* alcuni momenti del lavoro svolto con fotografie e vignette; hanno inoltre elaborato un testo di base alla presentazione, parziale e tuttavia piacevole, che è stata allestita in occasione della manifestazione 'Una giornata all'ITAS'.

'Meteo wars': realizzazione di un CD

Nell'anno scolastico 2004/05 sulla base dell'esperienza precedente una delle classi terze, volendo partecipare alla *giornata ITAS* con la stessa attività della raccolta dei dati agrometeorologici, ha preparato la presentazione in modo originale attraverso la realizzazione di un CD dal titolo *Meteo wars*. Seguendo l'impostazione originale del film *'Star wars'* ha realizzato una prima parte simpatica ed originale con musiche e immagini sostituendo i volti dei protagonisti con quelli dei loro insegnanti. Sono stati creati dialoghi a supporto delle immagini. Successivamente è stata presentata la parte tecnica del lavoro attraverso una mappa logica del percorso, esempi di tabelle e grafici. Il lavoro termina con fotografie, vignette ed immagini degli studenti al lavoro.

Progetto Globe-Seren@

Il Progetto Globe è un progetto internazionale di educazione ambientale che coinvolge 7000 scuole nel mondo ed in Italia è autorizzato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. Ha l'obiettivo di costruire una rete finalizzata al rilevamento dei dati meteorologici nell'ambito dello studio dei mutamenti climatici attraverso misurazioni ambientali standardizzate. A questo scopo è nato il Progetto Globe Seren@ che è una rete meteorologica scolastica regionale presente nelle province di Ravenna, Bologna e Reggio Emilia. Collaborano al progetto ARPA-Sim della Regione Emilia-Romagna per il supporto logistico e la Provincia di Ravenna che ha donato la strumentazione.

A partire dal corrente anno scolastico 2005-06 il nostro Istituto ha inserito Globe Seren@ all'interno del Progetto curricolare 'Cibele', che si occupa di favorire l'apprendimento teorico-pratico attraverso la conoscenza dell'ecosistema agrario e lo svolgimento di attività pratiche legate alle esigenze di un'azienda agraria.

Il progetto, attivato a partire dall'anno scolastico 2004-05 e attualmente in corso, coinvolge i 38 alunni delle due classi prime.

Gli obiettivi sono:

- rilevare i dati meteo dalla stazione preposta;
- osservare il cielo per valutarne la copertura ed identificare il tipo di nubi;
- compilare una tabella mensile;
- inviare i dati per posta elettronica alla scuola capofila di Bologna.

Da ottobre a maggio i rilievi meteorologici sono effettuati direttamente dagli studenti; nei restanti mesi è il personale tecnico in servizio presso l'istituto ad occuparsene. Ogni settimana il personale tecnico verifica che il lavoro sia stato svolto.

Le rilevazioni sono svolte nel laboratorio di azienda agraria e in quello di agrometeorologia.

Le due classi prime sono coinvolte in questa attività a mesi alterni per non incidere in modo significativo sul tempo curricolare. Quotidianamente due alunni escono dalle ore 12.00 alle 12.20 per rilevare: la temperatura minima, massima ed istantanea per mezzo di un termometro a minima e a massima; l'umidità relativa attraverso la lettura dell'igrometro; la pressione atmosferica con il barometro; le precipitazioni con il pluviometro. I dati rilevati sono prima trascritti sul posto in una tabella cartacea e successivamente registrati in un archivio dati a computer.

La valutazione delle procedure attuate e del lavoro svolto viene effettuata mensilmente al termine di ogni modulo.

Alcune informazioni possono essere ricavate dal sito Internet: http://www.racine.ra.it/morigia

PROGETTO 'SCOOTER A METANO'

Roberto Rossi

Ricerca, innovazione tecnologica e didattica

L'Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato 'Leon Battista Alberti' di Rimini, fondato alla fine dell'Ottocento, è oggi strutturato su tre settori formativi principali: meccanico, elettrico ed elettronico. Tra le specializzazioni del ramo meccanico una è afferente all'assistenza post-vendita del settore automotive.

Da diversi anni, è stato avviato un innovativo metodo d'integrazione con le realtà industriali che operano nel settore dei veicoli, denominato 'Rimini, imprese e scuola nel futuro', che ha portato l'Alberti, grazie a particolari forme di collaborazione con diverse aziende private, a dotarsi a costo quasi zero, di un grande, moderno ed attrezzato laboratorio di 'Diagnostica Avanzata e Collaudo Veicoli'.

La logica di tale metodo prevede che i costruttori di apparecchiature diagnostiche forniscano i loro prodotti, per promuoverli, gratuitamente alla scuola e che questa, mettendo a disposizione la propria struttura e coinvolgendo i docenti, istruisca gli allievi su queste tecnologie; prevede inoltre che i concessionari auto assumano i diplomati della scuola, per utilizzare le stesse apparecchiature di loro proprietà.

Ecco perché l'Istituto 'L.B. Alberti' vanta il totale assorbimento dei suoi diplomati da parte del mondo del lavoro e perché, con i contributi del Fondo Sociale Europeo, organizza pure un corso di un anno post-diploma, denominato Tecnico Diagnostico d'Autoveicoli

Nel laboratorio di motoristica, di circa 500m², sono presenti tutte le attrezzature tipiche di una moderna grande concessionaria che effettua anche le revisioni, oltre ad un banco prova potenza a rulli per moto, valido supporto per testare le caratteristiche tecniche delle applicazioni oggetto di quest'articolo.

Ogni anno, docenti e tecnici che operano nel laboratorio, finalizzano il monte ore di esercitazioni pratiche e quello di Terza area, previsto dal piano orario ministeriale, sia per fare entrare a scuola le realtà del mondo del lavoro, sia per lo sviluppo e la realizzazione di idee e progetti il più possibile innovativi e didatticamente validi.

Qualche anno fa, per fare un esempio, si è studiato e costruito a scuola, con profili in alluminio saldati al TIG, un trattorino per raccogliere verdure a terra tipo fragole o fagiolini, a propulsione elettrica, alimentato da pannelli fotovoltaici con inseguitore azimutale, per ottimizzarne la resa.

Questo lavoro è risultato interessante principalmente per questi motivi:

- si tratta di un veicolo ZEV, cioè senza emissioni tossiche che, dato l'utilizzo, oltre ad inquinare l'aria, avvelenerebbero frutta e verdura;
- i pannelli fotovoltaici, che normalmente nei veicoli ad energia solare, pesano, ingombrano, rovinano l'aerodinamica e l'estetica, qui hanno anche il compito importante di fare ombra all'operatore ed al prodotto raccolto, oltre che catturare l'energia: hanno quindi doppia funzione;
- è un veicolo che, muovendosi lentamente e con intermittenza per alcune centinaia di metri al giorno, è egregiamente alimentato da una fonte d'energia a bassa densità quale quella solare, cosa rara in altri tipi di veicoli con lo stesso tipo di propulsione, che normalmente sono in deficit d'energia.

Progetto e costruzione dei prototipi di scooter

Sulla scia di questa esperienza, si è pensato di studiare qualcosa di analogo per il settore veicoli per uso stradale, per il quale la nostra scuola è particolarmente attrezzata e gli allievi mostrano sempre particolare interesse.

Visto il disagio sorto a Rimini a causa delle prime giornate di limitazione al traffico urbano con targhe alterne, è risultato evidente che sarebbe stato di particolare efficacia studiare un sistema innovativo per abbattere le emissioni inquinanti dei veicoli, magari dei ciclomotori, che sono i mezzi utilizzati normalmente dagli allievi.

L'idea si è sviluppata con il supporto dei colleghi Vallicelli e Massari e degli assistenti Ciotti e Boschini, ed ha interessato all'inizio gli allievi delle classi IV e V sezione 'Tecnici dei Sistemi Energetici'. Tutti hanno dato il loro contributo mostrando buon interesse

La ricerca di un partner, possibilmente locale per motivi logistici, ha portato ad individuare per il primo prototipo la Benelli di Pesaro, per il secondo la Malaguti di Bologna.

L'eventuale, ipotetica proposta di una modifica o di un kit, finalizzato a questo scopo, si è ritenuto fosse più facile, almeno in fase iniziale, per l'ovvio aggravio di costo, se indirizzato ad una clientela con particolari esigenze operative e d'immagine, quali, ad esempio, le amministrazioni comunali.

A questo scopo, lo scooter Adiva Benelli appariva già sulla carta un prodotto con quel qualcosa in più, cioè il tetto rigido ripiegabile, rispetto agli analoghi prodotti realizzati da altri costruttori.

Ottenuta gratuitamente dalla Benelli l'Adiva, grazie alla disponibilità dell'allora direttore tecnico ing. Marconi, dapprima si era pensato di completare il suo equipaggiamento con un dinamo-motore a corrente continua e relativo chopper e con un gruppo di batterie a ricomposizione di gas, per ottenere un veicolo ibrido relativamente semplice, in modo da poterlo azionare elettricamente nei centri urbani ed a scoppio fuori città, ricaricando contemporaneamente le batterie. Avremmo adottato, su uno scooter, la stessa filosofia pur semplificata, che supporta le uniche due autovetture ibride presenti allora sul mercato, la Toyota Prius e l'Honda Insight. Ma sia il dinamo-motore che il chopper andavano fatti costruire ad hoc con impegno di tempo e di spesa, in conflitto con le nostre risorse e con l'avvicinarsi della fine dell'anno scolastico.

Per aggirare l'ostacolo pensammo di utilizzare il gas, anche perché, avendo visitato con gli allievi a dicembre 2001 uno stand dedicato al Motor Show di Bologna, constatammo che l'alimentazione a GPL per gli scooter, ed in genere per motori di bassa potenza, era già una realtà commerciale, in attesa solo delle necessarie omologazioni. Per andare oltre, pertanto, era necessario pensare ad un combustibile ancora più ecologico, ed ecco l'idea: il metano!

Il metano infatti, anche se è stoccato ad alta pressione (200 bar), per cui richiede componenti più robusti e performanti rispetto al Gpl (stoccato a 10 bar), ha diverse caratteristiche che lo rendono interessante:

- 1. abbatte circa del 70% i costi del carburante rispetto alla benzina;
- 2. inquina molto meno di derivati del petrolio alla cui filiera non è legato¹;
- 3. è presente in Italia come risorsa;
- 4. ha una discreta rete di distribuzione in alcune regioni d'Italia e nelle altre è in crescita;
- 5. fa funzionare bene il motore aumentandone la durata e diminuendone le emissioni acustiche.

Appurato che nessuno si fosse già avventurato nello studio e nell'applicazione dell'alimentazione a metano per scooter, è decollata la nostra idea ed è partito il progetto, con ditte partner-fornitore, interessate a trovare qualcuno che facesse esperienza in questa innovativa applicazione specifica.

A questo punto, oltre a dover progettare e realizzare alcuni componenti non esistenti in commercio, il grosso problema restava il reperimento delle bombole.

Finalmente, dopo molte peripezie, ci è stata accordata la costruzione su misura di 2 bombole, fatto che, per un'industria leader al mondo come quella interpellata da una minuscola realtà come la nostra scuola, ha rappresentato quasi un miracolo.

Infatti il metano, storicamente impiegato per risparmiare sui costi, non era utilizzato su piccoli motori che di per sé già consumano poco, come quelli degli scooter, per cui bombole, che per legge devono esser realizzate senza saldature, e che quindi solo poche acciaierie al mondo sono in grado di produrre, non erano mai state costruite di taglia così piccola come quelle che servono per uno scooter.

¹ L'analisi comparata delle emissioni tra alimentazione a benzina e metano sul Malaguti Madison evidenzia: CO: 6,78% (benzina); 0,03% (metano);

CO2: 10,7% (benzina); 8,6% (metano);

HC: 210ppm (benzina); 89ppm (metano).

Così abbiamo iniziato a pensare con maggior determinazione a come e dove applicare razionalmente la componentistica del kit; cosa non banale, se si pensa ai pesi ed agli ingombri disponibili in uno scooter.

A parte le normali avvertenze di ubicazione delle valvole e del riduttore di pressione, il problema sono le bombole, voluminose e pesanti. Infatti, nessuno si è mai cimentato prima nell'applicazione del metano sulle moto, anche perché queste non presentano spazi adeguati per collocare la o le bombole.

Solo la nascita dei moderni scooter, quelli grandi dotati di ampi vani vuoti, ha permesso di trovare la sede ideale per collocare questi componenti, senza aver progettato preventivamente il veicolo per accoglierli.

Fig. 35 - Il primo prototipo di scooter a metano funzionante su strada mai realizzato: l'Adiva Benelli 150 cm³ con il tetto rigido ripiegato nel baule posteriore e la parte inferiore priva del carter di protezione, per poter vedere bombole e riduttore di pressione.



Si è cercato di limitare al minimo le modifiche e si è fatto in modo che non fossero strutturali, pensando proprio ad una produzione di serie a basso costo con la logica dell'aftermarket, cioè quella di realizzare un kit applicabile al maggior numero di modelli di scooter possibile, nel caso gli utenti che li acquistano fossero interessati all'applicazione. I dati tecnici del primo prototipo sono stati da subito incredibilmente interessanti: 100 km con 1 Euro!

Così, dopo la presentazione alla stampa, i contatti con le istituzioni ed una mirata opera divulgativa nasce un sodalizio importante con l'Assessorato all'Ambiente ed allo Sviluppo Sostenibile della Provincia di Rimini (in particolare con l'Assessore dott. Cesare Romani); questo progetto diviene un fiore all'occhiello tra quelli supportati, data l'importanza della lotta per il miglioramento della qualità dell'aria. La fiducia accordataci ha reso possibile il decollo di questa idea, oggi universalmente riconosciuta come strategica dal punto di vista della sostenibilità della mobilità urbana.

Questa collaborazione ha portato alla costruzione di altri tre prototipi a metano:

- scooter Malaguti 'Madison';
- scooter Piaggio 'X8';
- scooter Honda 'Zoomer'.

Le caratteristiche di quest'ultimo sono l'autonomia a metano (110 km, cui si somma quella a benzina prevista dal costruttore), ed il costo del carburante per 100 Km: 0,60 €.

Fig. 36 - Scooter Honda Zoomer 50 cm³ su uno dei ponti sollevatore del laboratorio di motoristica dell'Istituto Alberti: si noti la zona sotto la sella, dov'è alloggiato l'impianto di alimentazione a metano, non compartimentato dalla copertura, per vedere l'impianto.



Presentazioni in pubblico

Gli scooter, prodotti dal lavoro di docenti e studenti, sono stati presentati al pubblico in numerose occasioni: dalla partecipazione al Motorshow 2003 a Bologna, ospiti nello Stand dell'Osservatorio per la Sicurezza Stradale della Regione Emilia Romagna, alla 'Marcia Ecologica su Roma' (viaggio da Rimini a Roma in scooter), sino alla partecipazione nel novembre 2003 all'EXPO GNV 2003 a Rio de Janeiro in Brasile (la più importante fiera al mondo del metano per autotrazione). All'appuntamento di Rio siamo giunti grazie alla sponsorizzazione del Ministero dell'Ambiente Italiano, che ci ha voluti come testimoni dell'impegno della nostra nazione nel campo della mobilità sostenibile; sono stati esposti due dei prototipi di scooter a metano, che hanno ottenuto, tra gli altri riconoscimenti, anche il premio per la miglior innovazione tecnologica presente in fiera.

Qualche altra importante iniziativa ha coinvolto la scuola e gli scooter: Europolis, Fiera di Bologna, Manifestazione internazionale biennale sulle tecnologie per le città del futuro; *European Natural Gas Vehicle Association*, a Graz, in Austria, a maggio 2004; a Bolzano, un'altra fiera mondiale del metano per autotrazione, per la prima volta in Italia.

Problemi e prospettive

Per migliorare le prestazioni e diminuire le emissioni ci stiamo avventurando nella gestione elettronica dell'alimentazione a metano, unica strada secondo noi percorribile in futuro, visto l'entrata in vigore da gennaio 2006, della normativa EURO 3 per le moto.

Ma non esiste il mercato per questa applicazione: il Codice della Strada Italiano, infatti, non prevede l'utilizzo del metano per veicoli con meno di 4 ruote, anche se non lo vieta. Per risolvere questa lacuna normativa, la Motorizzazione Civile richiede che sia realizzata una flotta di prototipi che, sottoposti con esito positivo a dei test di durata di circa 5.000 km per ognuno, consentano di procedere alla modifica del Codice della Strada.

Per questo, altri progetti per il futuro sono già in cantiere: dopo 4 anni di impegno, si ha un finanziamento da parte della Provincia di Rimini e della Regione Emilia-Romagna, per realizzare una flotta di scooter nel corso dell'anno scolastico 2005/06.

Una volta messa a punto, sviluppata ed omologata la tecnologia del metano sugli scooter, l'obiettivo di questo progetto per il prossimo futuro sarà la sperimentazione delle miscele metano-idrogeno (hymet) sui veicoli della flotta, per studiare le modifiche necessarie sugli impianti e sui motori. A questo scopo, stiamo progettando un impianto fotovoltaico da collocare sul tetto dell'Istituto, in modo da poter disporre dell'energia necessaria a far funzionare un elettrolizzatore, per produrre idrogeno scindendo l'acqua, senza utilizzare il petrolio, fatto che vanificherebbe dal punto di vista delle emissioni il ricorso a questo vettore energetico. Disponendo di un semplice siste-

ma di miscelazione e di uno dei compressori di nuova generazione denominati domestici, in grado di prelevare il metano da rete, dovremmo essere autonomi, come centro ricerche, dal punto di vista dell'approvvigionamento del carburante e della carica delle bombole. Questi compressori, presentati dall'Istituto 'L.B. Alberti' nello stand della Provincia di Rimini ad Ecomondo 2004, fiera del riciclaggio e delle tecnologie sostenibili, sono una realtà commerciale molto interessante, perché svincolano in gran parte l'utente del veicolo a metano dalla dipendenza dei distributori sul territorio, consentendo di fare il pieno presso il proprio garage.

Le motivazioni di un impegno

Perché tanto impegno sul fronte dell'innovazione, da parte di una scuola secondaria, pur tecnica, ma normalmente non organizzata come un centro ricerche?

In primo luogo lo slancio è nato da un sogno: trasformare il proprio lavoro in un'interessante avventura quotidiana, dove la passione per le attività svolte possa alleviare la fatica dovuta al maggior impegno necessario.

D'altro canto, i ragazzi di oggi, specialmente quelli che frequentano l'Istituto Professionale, provengono spesso da situazioni disagiate e non sempre sono inclini allo studio teorico: uno dei pochi sistemi per affezionarli alla scuola è interessarli, coinvolgerli, facendoli sentire protagonisti. Infatti, la capacità persuasiva del mondo dell'istruzione nei confronti degli allievi è ogni giorno più modesta, specie quando si ha a che fare con giovani selezionati con la logica, normalmente seguita dagli addetti all'orientamento della scuola secondaria di I grado, sintetizzabile in: "Hai poca voglia di studiare? Vai a far l'Istituto Professionale!". Tale logica è insensata: si pensi a quanto si è evoluta la tecnologia negli anni, per cui oggi un tecnico deve conoscere e saper fare con precisione molte più cose, e molto più complesse, che in passato.

Il mondo in effetti sta cambiando e l'istruzione, per adeguarsi, ha trasformato con l'autonomia la scuola da scuola dei programmi a scuola dei progetti, in modo da riuscire con la propria offerta formativa a soddisfare le mutanti esigenze del mondo del lavoro.

Realizzare quindi progetti come quello descritto è diventato importantissimo, se si vogliono ottenere risultati formativi soddisfacenti, in grado di dare un mestiere in mano e meritate possibilità occupazionali a ragazzi spesso meno seguiti e meno fortunati di quelli che frequentano i licei.

ANALISI CHIMICA DELLE EMISSIONI DI MOTORI

Aurelio Geremia

La storia, presso l'Istituto Tecnico Industriale 'Aldini Valeriani', nasce più o meno così: qualche anno fa l'ARPA di Bologna, l'agenzia che si occupa di inquinamento, dovendo ristrutturare i laboratori della sua sede storica di Via Trachini ha trasferito temporaneamente il suo laboratorio sull'inquinamento dell'aria presso gli Istituti 'Aldini Valeriani'. Dovevano stare da noi un anno, ci sono rimasti per sei. Ovviamente abbiamo approfittato di questa vicinanza fisica per instaurare tutta una serie di collaborazioni e di scambio di esperienze. E quando se ne sono andati ci è dispiaciuto.

La quotidiana frequentazione dei chimici dell'istituto con i tecnici del laboratorio dell'ARPA, diretto allora dal Dott. Benfenati, ha portato, oltre che ad un continuo scambio di esperienze, alla nascita e alla realizzazione di parecchie idee che si sono concretizzate in alcuni progetti, il più significativo dei quali è stato quello sulla messa a punto di un metodo per studiare l'emissione di idrocarburi aromatici da parte dei motori a due tempi (i motorini, per capirci).

Ci piace raccontare questa storia anche se ci rendiamo perfettamente conto che essa è difficilmente ripetibile al di fuori del contesto in cui si è sviluppata. Al di là dei risultati dello studio che, come vedremo in seguito, ha dei limiti piuttosto severi, la nostra ricerca presenta degli aspetti interessanti da un punto di vista della didattica che si può realizzare in un istituto tecnico.

Scopo e limiti della ricerca

L'ARPA, dicevamo, è l'agenzia che effettua, fra le altre, tutta una serie di misure sul territorio per il monitoraggio degli inquinanti. Per esempio misura in diversi punti della città la quantità di polveri e di benzene nell'aria. Sappiamo benissimo che quando questi valori eccedono una certa soglia le autorità cittadine bloccano il traffico. La domanda è questa: qual è il contributo che dà la miscela bruciata dai motorini all'inquinamento da benzene? L'ARPA aveva già fatto prove, campionando lo scarico di un motorino (ovviamente fermo!), e facendo qualche misura; nel nostro istituto si offriva loro la possibilità, disponendo di un banco motori, di poter effettuare delle misure simulando diverse condizioni di traffico.

Lo scopo della ricerca è quindi quello di misurare le emissioni di benzene in diverse condizioni di esercizio del motore (da fermo come al semaforo, a 10 Km/h, a 20, ecc.).

Prima di addentrarci in alcuni particolari tecnici è bene sottolineare alcuni requisiti

metodologici che ci siamo imposti. La ricerca è stata affrontata con gli allievi di quinta, nell'ambito del corso di analisi strumentale, questo per ribadire che a noi interessa far lavorare gli studenti in questo tipo di proiezioni all'esterno se, e solamente se, gli allievi sono stati previamente istruiti sui principi delle metodologie analitiche che andranno ad usare. Questa è la condizione *sine qua non* per realizzare delle collaborazioni. Se l'allievo conosce già il principio del metodo, e magari si è già esercitato su di una strumentazione analoga, può essere il protagonista della ricerca, altrimenti è uno spettatore più o meno disinteressato di un lavoro che altri svolgono e di cui gli sfuggono le implicazioni.

Nel nostro caso gli studenti avevano già studiato la gascromatografia e si erano già cimentati in analisi gascromatografiche con gli strumenti a nostra disposizione. Inoltre in genere solo poche persone (nel nostro caso tre su diciotto) possono partecipare fattivamente allo svolgimento della ricerca, se non altro per questioni di spazio. L'attività deve quindi essere limitata nel tempo e organizzata in modo da articolare gli insegnamenti per il resto della classe, mentre gli altri sono all'opera. In tal modo siamo riusciti ad eseguire tutti i campionamenti in una mattina ed a fare tutte le misure in una giornata non stop. Gli studenti hanno poi dovuto relazionare ai compagni sulle modalità dei prelievi e delle misure. L'elaborazione statistica dei risultati e la loro interpretazione ha invece coinvolto tutta la classe. In questo modo gli 'altri' non sono stati affatto emarginati, in quanto tutti avrebbero saputo fare quelle operazioni sapendo perché andavano fatte in quel modo. Da parte dell'insegnante è anche stata motivata la scelta dei tre protagonisti, non tanto sulla base piuttosto astratta dei più bravi (chi ha la media migliore?) quanto sulla base delle capacità, riscontrate in tre anni di frequentazione in laboratorio, di sapersi organizzare e di saper fronteggiare gli imprevisti. Avendo poco tempo per i prelievi andava privilegiato questo tipo di capacità rispetto alla accuratezza ed alla precisione che contraddistinguono un buon analista da uno medio.

Perché gli idrocarburi aromatici

Modernamente si chiamano aromatici quegli idrocarburi la cui molecola ha delle similitudini strutturali con quella del benzene. Il nome è però fuorviante per il profano in quanto fa pensare a composti in qualche modo profumati. In effetti, i primi composti aromatici studiati lo erano, ma oggi nella categoria 'aromatici' sono comprese anche sostanze inodori o francamente maleodoranti. L'analogia che le accomuna è strutturale, non olfattiva come agli albori della chimica.

Alcuni idrocarburi aromatici sono fortemente cancerogeni. Sono insolubili in acqua e l'organismo, nel tentativo di espellerli, li trasforma in composti che possono causare dei tumori.

Sono presenti nelle benzine, alle quali conferiscono potere antidetonante.

Banco motori

Il banco motori delle Aldini-Valeriani consiste in una coppia di rulli su cui posizioniamo le ruote motrici del veicolo; acceso il motore lo si può fare andare in folle o a varie velocità, simulando diverse condizioni di esercizio. Lo scopo delle nostre misure era vedere come variava l'emissione degli idrocarburi aromatici in funzione della velocità.

Gascromatografo con colonna capillare e FID

Il gascromatografo è uno degli strumenti più importanti per separare i singoli componenti di una miscela complessa e riconoscerli. Consta sostanzialmente in un lungo tubo (in gergo: la colonna) le cui pareti sono ricoperte da una sostanza che presenta affinità differente nei confronti delle sostanze che costituiscono la miscela. Un gas inerte spinge queste molecole lungo la colonna ed esse si 'aggrappano' alle pareti ognuna come può. Alla fine del percorso escono dalla colonna una alla volta e vengono riconosciute da un rivelatore. Detta così è un po' semplice, se non semplicistico; basti pensare che oggi è di routine usare delle colonne capillari lunghe trenta metri, del diametro interno di 0,25mm con un rivestimento interno di 0,5m.

Ho citato questi dati per far comprendere, con questi numeri, come le iniezioni di campione sono dell'ordine di grandezza del milionesimo di litro, con tutti i problemi di precisione che ne derivano.

Come tutti gli strumenti il gascromatografo deve essere tarato in precedenza, occorre cioè preparare delle miscele a varie concentrazioni delle sostanze cercate, iniettare, leggere la risposta strumentale e per ogni sostanza tracciare la retta di regressione che correla la risposta dello strumento alle singole concentrazioni. A questo punto si può fare l'iniezione della miscela incognita e dalla relativa intensità dei segnali risalire alla concentrazione delle singole sostanze.

Il campionamento

Abbiamo preso 'a casaccio' 5 motorini di marche diverse ed abbiamo eseguito i prelievi, come diremo. Voglio ribadire il termine 'a casaccio', non 'a caso' quindi, termine che per un esperto di analisi statistica dei dati sperimentali avrebbe tutt'altra valenza. Gli studenti hanno portato 5 dei loro motorini diversi per marca, età, stato di manutenzione e così via. È quindi impensabile, con un campionamento così fatto, porsi il problema se la tal marca inquina più della tal altra, o quanto aumenta l'emissione di inquinanti con il passare degli anni.

Abbiamo posto il motorino sul banco motori, collegato lo scappamento mediante un tubo a delle fiale ed effettuato i prelievi a diverse velocità.

Finita la fase di prelievo abbiamo trasferito i campioni nel laboratorio di analisi ed effettuato le misure.

Gascromatografia

Naturalmente prima di procedere all'analisi vera e propria si sono dovute ricercare le condizioni ottimali per la conduzione della stessa (tipo di colonna, strumenti di campionamento, temperatura del forno, flusso del gas, tipo di rivelatore, ecc.). Normalmente questa è una fase molto lunga e richiede una notevole dose di esperienza. Basti pensare che partendo da zero può richiedere tempi che vanno da alcune settimane a mesi addirittura. È qui che è stato decisivo il contributo dei tecnici ARPA e della loro esperienza.

L'elaborazione dei dati

Mentre la fase precedente (campionamento ed esecuzione dell'analisi) è stata realizzata da soli tre studenti (gli altri nel frattempo si esercitavano sempre sulla gascromatografia ma su campioni più banali), l'elaborazione dei dati è stato un lavoro di tutta la classe.

I dati sono stati elaborati in aula informatica mediante il foglio di lavoro Excel e riportati in grafico per una prima lettura e discussione.

È apparso subito chiaro che non aveva alcun senso chiedersi quale marca di motorino inquinasse meno; il valore dell'inquinante dipendeva da troppe altre variabili fuori controllo (età del mezzo, storia, modalità di manutenzione, miscela usata, ecc.)

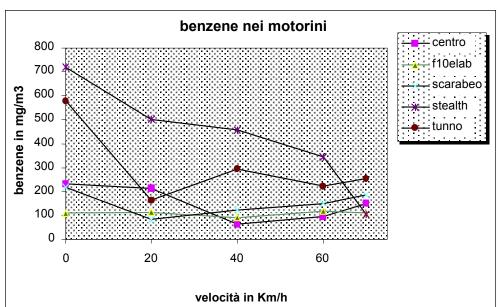


Fig. 37 - Confronto fra i motorini

Primo dato interessante: in tutti i casi si ha una diminuzione delle emissioni all'aumentare della velocità. Questo è ragionevolmente spiegabile col fatto che più è alta la velocità, più è alta la temperatura: quindi la combustione della miscela distrugge più a fondo tutti i singoli componenti. Per avere una certezza su questa ipotesi occorrerebbe misurare la temperatura della camera di combustione e cercare la correlazione temperatura/emissione; si può fare tecnicamente ma richiederebbe una notevole quantità di tempo. È comunque una riprova del fatto che le punte di inquinamento si hanno quando le moto sono ferme coi motori accesi.

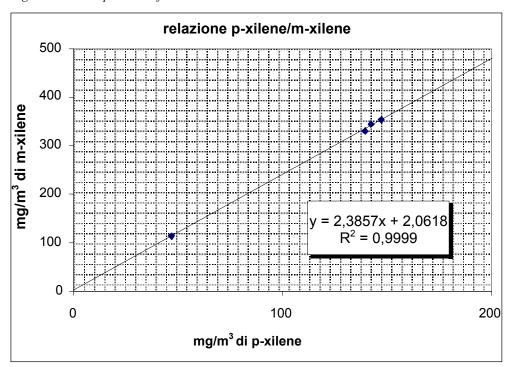


Fig. 38 - Due componenti in forte correlazione

Altro risultato importante per ampliare le conoscenze tecnico-scientifiche dello studente è stato la ricerca di correlazioni fra i diversi inquinanti. Gli studenti conoscevano già il concetto di indice di correlazione; qui hanno potuto toccare con mano l'importanza pratica di certi strumenti statistici. Infatti una delle operazioni più gravose in termini di tempo è quella della preparazione degli standard per l'analisi. Se io so che fra due di questi componenti c'è una fortissima correlazione, è evidente che sarà sufficiente misurare la quantità del primo e calcolare quella del secondo con pochi semplici calcoli.

Come si può vedere c'è una correlazione pressoché perfetta fra alcune componenti (ad esempio gli xileni, vedi figura 38) e questo è ben comprensibile chimicamente. Trattandosi di molecole pressoché identiche, bruciano con la stessa modalità. Fra altre molecole, la correlazione si fa meno evidente man mano che aumenta la diversità fra le strutture molecolari (fig. 39).

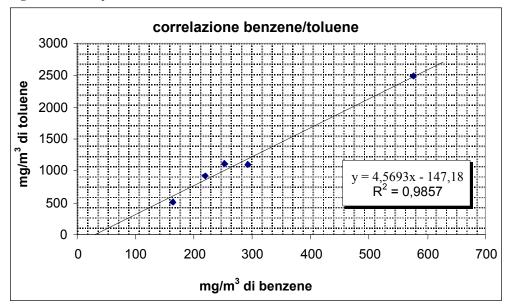


Fig. 39 - Due componenti discretamente correlati

Ringraziamenti

Questo lavoro è nato da discussioni fra il Dott. Benfenati, allora direttore del laboratorio ricerca sull'aria dell'ARPA, il Preside dell'Istituto Prof. Giovanni Sedioli e l'autore.

Hanno partecipato in momenti diversi del lavoro, oltre agli allievi Francesca Bortolani, Massimo Ricci e Massimo Ruggeri della V Chimici che si è diplomata nel 2001, il collega Prof. Alessandro Mazzetti dell'officina motori ed il Sig. Silvano Ruiba dell'ARPA.

ESPERIENZE DIDATTICHE E MATERIALI

LE SCIENZE DELL'ATMOSFERA: REPERTORIO DI ESPERIENZE DIDATTICHE IN ALCUNE SCUOLE SECONDARIE DI PRIMO E SE-CONDO GRADO DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

a cura di Maria Teresa Bertani. Assunta Parrillo

Il capitolo presenta un repertorio di esperienze realizzate in alcune istituzioni scolastiche emiliano-romagnole, secondarie di primo e secondo grado, negli ultimi cinque anni scolastici

Si tratta di schede di progetti finalizzati prioritariamente all'acquisizione di una coscienza 'ecologica' e alla maturazione del senso di responsabilità verso l'ambiente circostante, con specifico riferimento alle attività didattiche e di ricerca in fisica dell'atmosfera, clima ed inquinamento dell'aria.

La raccolta non ha la pretesa di essere esaustiva delle molteplici esperienze in atto nelle scuole della nostra Regione, ma vuole semplicemente offrire idee, suggerimenti, spunti di carattere didattico-metodologico derivanti da percorsi già sperimentati.

Le schede di rilevazione sono state compilate dalle istituzioni scolastiche su richiesta della Direzione Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale al termine dell'a.s. 2004/05¹.

¹ Le schede, distinte per ordine di scuola e per provincia, sono state riportate, quando possibile, integralmente; non sono state accolte nel repertorio esperienze, se pure interessanti, non attinenti al tema. Alcune esperienze sono state descritte in modo più ampio nel capitolo precedente.

SCUOLE SECONDARIE DI PRIMO GRADO

Provincia di Bologna

Istituzione scolastica

SCUOLA SEC. DI 1º GRADO PARITARIA 'S. TERESA DEL BAMBIN GESÙ'

Via Montello, 42 - 40131 Bologna Tel 051 6491372 - Fax 051 556600

E-mail: mpa-segrdidattica@iperbole.bologna.it

Titolo

CONOSCIAMO L'AMBIENTE E IL TERRITORIO IN CUI VIVIAMO E ... LE SOLUZIONI PER LA SALVAGUARDIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Il progetto di Educazione Ambientale 'Conosciamo l'ambiente e il territorio in cui viviamo e... le soluzioni per la salvaguardia' ha coinvolto 5 classi di scuola secondaria di I grado (tre prime e due seconde). Esso ha avuto lo scopo di:

- sviluppare negli alunni una conoscenza generale delle componenti ambientali (aria, acqua, suolo) e dell'ambiente circostante (sia naturale: es. parchi, zone verdi presenti nella città di Bologna; sia come infrastrutture: due classi prime hanno visitato l'impianto di potabilizzazione in Val di Setta); l'insegnante che guidava il progetto ha suddiviso in un certo numero di zone verdi la città di Bologna ed è stato chiesto ai ragazzi di visitare ciascuno un parco, villa, ecc. e di eseguire una relazione scritta con l'ausilio di fotografie, piccoli campioni vegetali raccolti durante la visita;
- evidenziare i danni ambientali dovuti al consumismo e le problematiche di inquinamento sorte a seguito dell'industrializzazione;
- indurre gli alunni a riflettere sull'importanza del rispetto dell'ambiente dove le risorse sono irreversibili;
- informare gli alunni sui possibili comportamenti etici: sono stati realizzati (in collaborazione con i
 docenti di educazione tecnica e di educazione artistica) contenitori per il riciclaggio di bottiglie di
 plastica, lattine, carte e posti nei corridoi della scuola: sono stati effettuati due incontri con due classi
 seconde sul Percorso didattico 'Ridurre, recuperare e riciclare i rifiuti' proposto da Scuolambiente;
- sviluppare una coscienza ecologica (es. questionario di educazione ambientale, cfr. www.parks.it).

Numero studenti: 100 Numero classi: 5

Materiali prodotti

Le ricerche realizzate dagli studenti sono state raccolte dal coordinatore del progetto.

Enti esterni: Ing. Silvia Gallerani, Progetto Scuolambiente.

Docente referente: Silvia Brandi

SCUOLA PARITARIA SEC. DI I GRADO - ISTITUTO SALESIANO 'BEATA VERGINE DI SAN LUCA'

Via Jacopo della Quercia, 1 - 40128 Bologna

Tel: 051 4151720

Titolo

LABOSC - laboratorio osservazioni scientifiche

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

Attività didattiche: ricerca, raccolta, sistemazione e descrizione di piante erbacee (preparazione erbario).

Osservazione, descrizione e relazione sulla vita degli anuri (rospo comune, rospo smeraldino, rana dalmatica).

Indicatori ecologici.

Separazione di sabbie e osservazioni al microscopio binoculare.

Studio dal vero di parti di animali.

Birdwatching all'oasi di San Marino di Bentivoglio (Bo).

Strumenti e materiali: strumentazione audiovisuale per collegamenti con siti internet e per proiettare documentari; microscopio binoculare; materiali essenziali per preparare e sistemare piante; vasche per terracquari; bicocoli.

Numero studenti: 45 Numero classi: 3

Materiali prodotti

Dispensa monografica. Erbario.

Enti esterni: Istituto di Botanica dell'Università di Bologna per la descrizione – determinazione delle piante.

Docente referente: Guido Pedroni

Istituzione scolastica

SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO 'L. MORUZZI' (ASSOCIATA ALL'I.C. CERETOLO) Via Libertà, 3 - Casalecchio di Reno (Bo)

Tel. e Fax 051 6131599

Titolo

GLOBESEREN@

Descrizione

Il progetto GlobeSeren@ nasce nell'anno 2000 come 'rete metereologica di scuole medie', coordinata localmente, a livello provinciale, dall'Istituto 'Belluzzi', e supportata scientificamente dal Servizio Meteorologico Regionale, ARPA E-R. Prevede l'interazione tra scuole sia per la creazione di una base di dati utili alla ricerca e alla conoscenza dell'atmosfera sia per la realizzazione di eventi e manifestazioni relativi all'aria.

Strumenti utilizzati:

centralina metereologica posta nel giardino della scuola dotata di strumenti di misura (termometro a massima e a minima, barometro, igrometro e pluviometro).

Fasi di realizzazione:

- raccolta giornaliera, da parte degli alunni, dei dati relativi a: copertura nuvolosa del cielo, tipo di nubi, precipitazioni, temperatura istantanea, massima e minima, pressione atmosferica, umidità relativa;
- invio dei dati all'ITIS 'Belluzzi' e al servizio Meteorologico che validerà i dati raccolti.

Numero studenti: 66 Numero classi: 3

Enti esterni: ITIS 'Belluzzi', Servizio Meteorologico Regionale Arpa E-R.

Docente referente: Graziella Schiavina

ISTITUTO COMPRENSIVO N. 9

Via Longo, 4 - 40139 Bologna Tel. 051 460205 - 051 461075

E-mail: segreteria@ic9bo.scuole.bo.it

Titolo

PROGETTO GLOBE

Descrizione

La scuola partecipa dal 2000 al progetto 'Globe', in particolare a 'GlobeItalia' indetto dal MIUR, avente come scuola pilota l'ITIS 'Belluzzi' di Bologna. Relativamente al tema atmosfera e clima si è costituita la rete sperimentale GlobeSeren@ che si avvale della collaborazione di ARPA - Servizio Meteorologico Regionale.

Le attività si possono così sintetizzare:

- tramite la stazione meteo sistemata nel cortile della scuola gli studenti hanno fatto osservazioni, hanno raccolto giornalmente dati riguardanti la temperatura massima, minima, istantanea, la pressione, l'umidità, la quantità di precipitazioni, il tipo di copertura nuvolosa, secondo i protocolli previsti; tali dati, immessi in un bollettino, sono stati inseriti mensilmente nel database del progetto GlobeSeren@;
- adesione all'iniziativa dell'Agenda 21 relativa alla diffusione della conoscenza del Protocollo di Kyoto, in coincidenza dell'entrata in vigore dello stesso: lezioni tenute dagli studenti del 'Belluzzi'; esperienze di laboratorio sui fenomeni atmosferici; partecipazione alla giornata del risparmio energetico con lezioni e dibattiti su effetto serra, cambiamenti climatici, azioni per il risparmio energetico; rilevamenti da parte degli alunni, per una settimana, di azioni tendenti a diminuire l'emissione di gas serra ed elaborazione dei dati sul risparmio ottenuto.

Punti deboli: i dati meteorologici rilevati risentono talvolta della difficoltà di lettura corretta degli strumenti da parte di alcuni studenti, nonostante varie lezioni propedeutiche; da ciò segue la necessità di un controllo costante dei dati immessi.

Punti forti: interesse suscitato nei ragazzi da questi argomenti di attualità, la consapevolezza che con le loro azioni possono contribuire al miglioramento della qualità dell'aria.

Numero studenti: 300 circa Numero classi: 15

Materiali prodotti

Dati meteo presenti nel Database del sito: http://globe.belluzzi.scuole.bo.it.

Enti esterni: ARPA SMR, nell'ambito della rete.

Docente referente: Alessandra Zucchini

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO N. 16

Vicolo Bolognetti, 10 - 40125 Bologna

Tel. 051 235481 - Fax 051 260409

E-mail: reni@guidoreni.scuole.bo.it - Sito: http://guidoreni.scuole.bo.it;

Titolo

VIVI UNA CITTÀ SEREN@

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 *Durata:* annuale

Descrizione

Obiettivi: educare al rispetto dell'ambiente e promuovere comportamenti responsabili verso il comune patrimonio ambientale; far percepire il bene aria come un bene da salvaguardare; sperimentare scelte di vita a bassa impronta ecologica; guidare all'impegno per uno sviluppo sostenibile anche nelle piccole cose.

Fasi del progetto:

- è stato somministrato un questionario, preparato dall'ATC, sulla mobilità casa-scuola a tutti gli alunni ed insegnanti. I dati in possesso della scuola sono stati elaborati dall'ATC;
- gli esperti dell'ENEA hanno tenuto alcune lezioni alle classi prime e seconde, per descrivere ed analizzare i principali inquinanti da traffico dell'aria di città;
- ciascun ragazzo di prima media ha ricostruito il proprio percorso casa-scuola, utilizzando le mappe della città, e ne ha ricavato la distanza da percorrere. Ha quindi calcolato la quantità degli inquinanti prodotti, utilizzando i fattori di conversione forniti dall'ENEA;
- un medico, pneumologo dell'Ospedale S. Orsola, ha fatto un intervento rivolto alle classi prime e seconde sugli effetti nocivi dei singoli inquinanti;
- ciascuna classe ha realizzato grafici e tabelle e dalla discussione dei ragazzi sono state raccolte proposte alternative;
- quasi tutte le classi hanno fatto una gita con l'obiettivo di studiare un ambiente diverso da quello cittadino, le biodiversità, le catene alimentari, i bioindicatori, ecc. (Parco Regionale dei Gessi Bolognesi; Campigna; Delta del Po, isola del Giglio, ecc.);
- tutte le prime hanno visitato l'impianto di potabilizzazione dell'acqua in Val di Setta.

Numero studenti: 330 circa Numero classi: 15

Materiali prodotti: questionari, tabelle, grafici.

Enti esterni: ATC; ENEA; Ospedale S.Orsola di Bologna.

Docente referente: Giovanna Fantini

ISTITUTO COMPRENSIVO N. 4

Via Guicciardini, 8 – 40026 Imola (Bo) Tel. 0542 22264 - Fax 0542 30871

E-mail: bomm17300a@istruzione.it

Titolo

LICHENI: I BIOINDICATORI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

I licheni sono organismi simbiotici poco conosciuti. Soltanto da una decina d'anni sono stati seriamente presi in considerazione dal mondo scientifico, grazie soprattutto all'opera della società lichenologica italiana. La stessa ANPA (Agenzia Nazionale Programmazione/Protezione Ambientale) ha pubblicato soltanto nel 1998 un manuale per l'applicazione dell'indice di biodiversità lichenica. Questo indice si basa sul concetto di biomonitoraggio, che è l'osservazione delle variazioni che l'inquinamento produce su organismi *in vivo*. I licheni sono stati scelti, per l'appunto, come bioindicatori per una serie di caratteristiche legate alla loro fisiologia e morfologia.

Questo incontro, suddividibile in 2 appuntamenti, si propone di introdurre gli studenti alle conoscenze di base sui licheni (lezione frontale) e poi all'uso di un metodo scientifico da essi applicabile direttamente nell'uscita in campo.

L'argomento è affrontabile anche da alunni della scuola primaria del secondo ciclo, naturalmente adeguando all'età il lessico e la qualità di concetti.

Numero studenti: 169 Numero classi: 7

Enti esterni: Geolab - un esperto.

Docente referente: Raffaella Raffuzzi

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO N.7

Via Pio IX, 1 - 40026 Imola (Bo)

Tel. 0542 40930

Titolo

L'AMBIENTE E I LABORATORI PER LA QUALITÀ DELL'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

L'istituto comprensivo n.7 di Imola già da cinque anni svolge una programmazione in continuità fra scuola primaria e scuola secondaria di primo grado sui temi dell'educazione ambientale centrata sulla modalità laboratoriale. Sulla qualità dell'aria i laboratori sono attivi dall'anno scolastico 2002/03, inizialmente mirati al biomonitoraggio con i licheni.

L'idea è che il 'laboratorio' meglio si adatta ad un apprendimento efficace e duraturo che, anche e soprattutto per quanto riguarda la ricerca d'ambiente, si costruisce su esperienze significative e motivanti, rispettando tempi, ritmi e modi differenti di apprendere. Questi sono gestiti secondo due modalità. La prima prevede la collaborazione del CEA GeoL@b che fornisce gli esperti mentre la seconda utilizza una modalità di tutoraggio da parte delle classi dell'Istituto Superiore d'Istruzione 'F. Alberghetti'. Questa prassi prevede la costituzione di gruppi misti di alunni di segmenti scolastici differenti (di scuola primaria e di scuola secondaria di primo grado, di secondaria di primo e di secondo grado) su specifici settori di ricerca. L'interazione educativa che si crea all'interno di questi gruppi fa sì che il ragazzo di età inferiore si senta più motivato ad operare con il più grande, in virtù del forte desiderio di proiezione e di emulazione.

Inoltre i concetti anche complessi riescono ad essere interiorizzati più facilmente se appresi da chi li esprime con un linguaggio 'vicino' al proprio.

L'azione 'tutoriale' del grande verso il piccolo produce anche importanti vantaggi in termini di consolidamento delle conoscenze-competenze, anche nel processo di apprendimento del 'tutor'. I contenuti svolti riguardano l'aerobiologia e l'analisi dei solidi aerodispersi (prima media), l'analisi chimica dei gas di scarico dei ciclomotori (classi terze medie/terza superiore), il biomonitoraggio con i licheni (classi terze medie/ quarta superiore).

Numero studenti: 250 Numero classi: 15

Materiali prodotti

Ipertesto per docenti pubblicato sul sito www.santerno.it.

Enti esterni:

GeoL@b onlus (esperti); CNR-ISAC (formazione del docente referente).

Docente referente: Roberto Rinaldi Ceroni

ISTITUTO COMPRENSIVO CENTRO

Via Mameli, 7 - 40033 Casalecchio di Reno (Bo)

Tel. e fax: 051 571072

E- mail: scuolamarconi@postainternet.it

Titolo

GLOBE SEREN@

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Il progetto fa dell'atmosfera (meteorologia e clima) la sua area di interesse, realizza una rete meteorologica di 10 scuole medie inferiori (fornite di necessaria strumentazione: una stazione meteorologica ed altra attrezzatura) che, con il tutoraggio dell'ITIS 'Belluzzi' e la collaborazione di enti ed esperti che partecipano alla formazione dei docenti coinvolti, costituiscono una prima rete locale che tenta un raccordo concreto tra uomo, natura e cultura attraverso 'percorsi d'ambiente' fatti di regole (metodo scientifico) e creatività (valorizzando la peculiarità del territorio e l'immaginazione degli studenti). Il percorso d'ambiente previsto dalla nostra scuola ha i seguenti obiettivi didattici: osservare, fare misure, raccogliere trasmettere sistematicamente dati, capire l'importanza dei protocolli di misura ed imparare ad utilizzarli, usare strumenti di misura diversificati (barometro, igrometro, termometro max min, pluviometro) imparare a calibrare strumenti scientifici, acquisire informazioni tramite l'uso della rete, formulare domande, convalidare ipotesi, formulare teorie. Inoltre è stato creato un data base a livello regionale. Sempre il percorso d'ambiente ha previsto diverse attività sull'energia e i cambiamenti climatici un progetto di 'Agenda 21' a scuola ed un progetto di educazione alla qualità dell'aria e alla mobilità sostenibile. Inoltre ci sono stati momenti di tutoraggio dove gli studenti 'grandi' hanno lavorato insieme ai 'piccoli' con attività di laboratorio preparate ad hoc. Per quanto riguarda la parte creativa si è attivato un laboratorio di scrittura creativa (tema i meteoropatici) che ha avuto la sua rappresentazione durante la festa dell'aria.

Punto forte dell'esperienza il lavoro in rete; punto debole la fatica dell'organizzare le attività.

Numero studenti: 100 Numero classi: 5

Enti esterni: ARPA; Scuolambiente; C.E.A.

Docente referente: Teresa D'Intino

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO DI CRESPELLANO

Via IV Novembre, 23 - 40056 Crespellano (Bo)

Tel. 051 6722325 - Fax 051 964154 E-mail: boic862002@istruzione.it

Titolo

STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA CON L'UTILIZZO DEI LICHENI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Contenuti trattati: composizione dell'aria; inquinamento atmosferico; che cosa sono i licheni e i bioindicatori; la classificazione dei licheni; metodica semplificata sull'utilizzo dei licheni per il monitoraggio della qualità dell'aria.

Attività: laboratorio presso il centro del parco; uscite in ambiente; raccolta dati e materiale; lezioni frontali; documentazione.

Strumenti: testi, schede, reticoli, microscopi, carte del territorio, fotocamera.

Punti forti: importanza di una esperienza pratica; molti spunti di collegamento con il programma di scienze.

Numero studenti: 40 Numero classi: 2 classi prime

Materiali prodotti

Schemi; cartelloni; testi.

Enti esterni: Parco Regionale dell'Abbazia di Monteveglio; esperti del centro 'Villa Ghigi'.

Docente referente: Cristina Stoppa

ISTITUTO COMPRENSIVO DI CASTEL MAGGIORE

Via Bondanello, 28 - 40013 Castel Maggiore (Bo)

Tel. 051 6321233

E-mail: donini.icm@virgilio.it

Titolo: AMBIENTE 2005

Descrizione

Il Progetto Ambiente 2005 si sviluppa ormai da 15 anni; comprende due filoni.

- 1) Fin dalle primarie, coniugando approfondimento teorico e lezioni all'aperto, i temi classici dell'Educazione Ambientale, fra i quali: vita delle piante e rispetto per gli alberi, vita nel macero e storia del canale Navile, metodi di coltivazione non invasivi, pulitura del giardino della scuola. 2) Percorso di ricerca tra docenti di ordini diversi di scuole in rete per definire un curricolo verticale di formazione, e tra allievi e docenti per avviare i ragazzi alla conoscenza della complessità. Il Progetto Globe, riconosciuto dal Ministero dell'Ambiente, in rete con l'ITIS 'Belluzzi', segue questo nuovo filone. La scuola si è impegnata a diffondere una cultura di rispetto per l'ambiente (attraverso l'osservazione e il censimento dei licheni scelti come bioindicatori dell'indice di purezza dell'aria, ottenendo vari riconoscimenti, tra cui il Premio Enea 'Sviluppo Sostenibile' 1999); s'inserisce in continuità con la scuola primaria un'attività che si svolge prevalentemente all'aperto o nel laboratorio di informatica. Dalla centralina meteo gli allievi delle classi prime raccolgono dati sulla temperatura giornaliera massima e minima, sull'umidità, sulla pressione, dati che gli allievi delle seconde spedi-
- un incontro tra gli allievi con ragazzi di quinta del 'Belluzzi' che hanno presentato esperimenti in Fisica dell'atmosfera e sulle fonti delle emissioni inquinanti ed hanno proposto iniziative utili a ridurre le emissioni di anidride carbonica (luxmetro per limitare l'uso di corrente elettrica a scuola e percorsi sicuri casa-scuola);

scono mensilmente al 'Belluzzi' e all'Arpa che li rielaborano. Sono state attivate molte iniziative:

- Pedibus: tre classi vengono a scuola a piedi individuando percorsi sicuri casa-scuola in modo da ridurre le emissioni di anidride carbonica;
- salita al monte Cimone a piedi, di grande interesse naturalistico, per visitare l'Osservatorio meteo Vittori del CNR.

Numero studenti: 412 Numero classi: 23

Materiali prodotti:

Dispensa: *'Il protocollo di Kyoto'*, foto e censimento materiali raccolti, cartina dei percorsi, ecc. Siti: www.ic-castelmaggiore.it e www.tecnologicamente.org.

Enti esterni: Assessorati all'Ambiente del Comune di Castel Maggiore e della Provincia di Bologna, Ecap, Fondazione Cassa di Risparmio di Bologna, Centro Antartide, Hera e Atc, Guardie ecologiche, esperti nel settore (Arpa E-R, CNR).

Docente referente: Angela Amadori

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO ZOLA PREDOSA

Via Albergati, 30 - 40069 Zola Predosa (Bo)

Tel. 051 755455 - 051 755355

E-mail: bomm32000g@istruzione.it

Titolo: RETE GLOBE SEREN@

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre tre anni

Descrizione

Il progetto è in rete con l'Istituto tecnico 'Belluzzi' di Bologna. Prevede la raccolta giornaliera di dati meteorologici da una capannina meteo allestita nel giardino della scuola ed è collegato al progetto della rete Globeseren@ a livello europeo e mondiale per la rilevazione puntuale dei dati meteorologici. La capannina prevede la presenza di vari strumenti: igrometro, barometro, pluviometro, termometro di massima e minima.

Il progetto ha coinvolto da circa 5 anni tutte le sei classi prime della scuola per un totale di circa 150 studenti ogni anno. Gli insegnanti hanno spiegato loro il significato dei parametri studiati, il funzionamento degli strumenti utilizzati e come effettuare la lettura correttamente. Ogni mese ha coinvolto una classe diversa nel periodo novembre-maggio (nella parte inziale dell'anno le letture sono state svolte dalle classi seconde per dare il tempo alle prime di acquisire la metodologia necessaria). Il progetto prevede la lettura da parte di tutti gli alunni suddivisi a gruppi di 4.

Questa metodologia sul campo è stata accompagnata, nelle diverse sezioni, ad attività teoriche di collegamento che sono continuate nell'arco dei tre anni:

- indagine sulle modalità con cui gli alunni si recano a scuola (al fine di sviluppare una maggiore sensibilità alle tematiche dell'inquinamento atmosferico);
- visita alla capannina di rilevamento dei dati di qualità ambientale di Casalecchio e approfondimento sui problemi di inquinamento dell'aria;
- lezione fra pari svolte sul tema del riscaldamento globale del pianeta svolte dagli alunni dell'ITIS 'Belluzzi'.

È allo studio la possibilità di collegare i dati meteo raccolti ad un piccolo calendario fenologico delle specie presenti nel giardino della scuola.

Punti deboli: l'avvicendamento di così tanti studenti porta inevitabilmente a diversi errori nelle letture, ma è innegabile la sua portata dal punto di vista educativo.

Numero studenti: circa 150 ogni anno Numero classi: 6 ogni anno

Materiali prodotti

I dati sono visibili ed utilizzabili da parte degli Enti locali, alunni, cittadini, in quanto pubblicati nel sito dell'ITIS 'Belluzzi'.

Enti esterni: Arpa, Servizio Meteo Regionale.

Docente referente: Annamaria Felisa

ISTITUTO COMPRENSIVO DI GRANAROLO

Via Roma, 30 - 40057 Granarolo (Bo)

Tel. 051 6004291

E-mail: bomm16500b@istruzione.it

Titolo

GLOBE SEREN@ A GRANAROLO

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* oltre tre anni

Descrizione

Il progetto mira alla formazione di una coscienza ambientale diffusa, con riferimento alle finalità del POF. L'obiettivo è di far partecipare gli alunni in modo consapevole alla salvaguardia dell'ambiente, secondo un metodo scientifico e operativo.

La sede centrale dell'istituto è dotata di una piccola stazione meteorologica utilizzata dal 2001. In base a protocolli definiti, dopo un momento informativo da parte dei docenti, gli studenti della scuola media effettuano rilevamenti quotidiani (misure giornaliere entro un'ora dal mezzogiorno solare: copertura nuvolosa, precipitazioni liquide e solide, temperatura corrente, temperatura massima e minima nelle ultime 24 ore, umidità relativa, pressione atmosferica); i collaboratori scolastici proseguono nei periodi di sospensione delle lezioni. L'attività di rilevazione effettuata dalle scuole in Rete nasce dalla volontà di raccogliere il maggior numero di dati provenienti da luoghi diversi per l'analisi dei mutamenti climatici. Gli standard utilizzati permettono il confronto dei dati raccolti, una volta inviati al computer centrale. Vi sono anche momenti informativi e di laboratorio attivati per la scuola media dai docente e dagli studenti dell'ITIS 'Belluzzi', istituzione di riferimento. La scuola, accedendo alla banca dati, si riappropria dei dati territoriali in un quadro regionale dall'attivazione di Globe Seren@.

Gli alunni sono portati ad agire come osservatori ambientali e ad usare strumenti scientifici diversificati in senso critico, per accrescere le conoscenze scientifiche del proprio territorio e di territori allargati e la comprensione dello sviluppo sostenibile.

Le attività di laboratorio, di rilevazione, di tabulazione dei dati contribuiscono a costruire le competenze per la comprensione dei mutamenti atmosferici, per scelte consapevoli e critiche a salvaguardia dell'ambiente. L'unità di apprendimento pluridisciplinare ed interdisciplinare comprende attività di animazione e di scrittura creativa, oltre che di scienze.

Numero studenti: 221 Numero classi: 12

Materiali prodotti

Tabelle dati raccolti nel sito: http://globe.belluzzi.scuole.bo.it/scuola/

Progettazione e realizzazione di termometro ad acqua; testi di scrittura creativa.

Enti esterni: ARPA-SIM (tutor tecnico-scientifico); ITIS 'Belluzzi'.

Docente referente: Vincenzo Antonio Carlone

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO OZZANO DELL'EMILIA

Viale 2 Giugno, 49 - Ozzano dell'Emilia (Bo)

Tel. 051 799271 - Fax 051 4695202

E-mail: segreteria@icozzano.scuole.bo.it

Titolo

BIOINDICATORI DI QUALITÀ DELL'ARIA ED ELEMENTI DI BIODIVERSITÀ

Ultimo anno di svolgimento: 2002/03 Durata: annuale

Descrizione

L'esperienza si è sviluppata con una parte teorica, basata sull'osservazione in classe di illustrazioni, immagini e brevi schede descrittive, e su di una parte pratica, effettuata nel parco dei Gessi, in cui si sono osservate direttamente le specie licheniche presenti. È stata infine monitorata la qualità dell'aria di Ozzano attraverso la distribuzione dei licheni sulle cortecce dei tigli del giardino della scuola o giardini limitrofi.

I ragazzi hanno acquisito i rudimenti per un'osservazione generale della morfologia del lichene, la capacità di utilizzare la chiave di riconoscimento, nonché una certa disinvoltura nella manualità delle operazioni.

L'attività didattica sui licheni unisce l'importanza del biomonitoraggio per l'ambiente con la possibilità di responsabilizzare i ragazzi nei confronti di questo.

Mezzi e strumenti: lenti di ingrandimento 8x 0 12x; manuali di riconoscimento ed illustrazioni; microscopio collegato al computer; computer e videoproiettore; schede per questionari della classe; macchina fotografica digitale.

Organizzazione dei tempi

2 ore teoriche, 3 di uscita sugli habitat. e 2 di monitoraggio della qualità dell'aria.

Ogni incontro è condotto dal tutor e dall'insegnante; nelle uscite è presente anche personale del parco.

Metodo: acquisire le nozioni fondamentali; utilizzo del quadro latino sulla morfologia lichenica e loro affioramenti gessosi a Castel de' Britti; basare lo studio dei licheni sull'osservazione e saper riconoscere e riprodurre i particolari lichenici; impostare le osservazioni su analogie e differenze (chiavi di riconoscimento); responsabilizzare i ragazzi con la documentazione dei campionamenti eseguiti.

Numero studenti: 60 Numero classi: 3

Materiali prodotti

Semplice ipertesto all'indirizzo: http://icozzano.scuole.bo.it/iperlicheni/index.htm; http://icozzano.scuole.bo.it/big/index.htm

Enti esterni: Parco dei Gessi e dei calanchi dell'Abbadessa; Geolab-Santerno onlus

Docente referente: Alessandra Iacuzzi

ISTITUTO COMPRENSIVO BAZZANO-MONTEVEGLIO

Scuola Primaria 'A. Venturi'

Via Abbazia, 1 - Monteveglio (Bo)

Tel. 051 6702733

E-mail: luigi.titolo@email.it

Titolo

EDUCAZIONE AMBIENTALE SUL RISPARMIO ENERGETICO

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

I bambini si sono cimentati in un'osservazione attenta dell'ambiente circostante, creando spunti e soluzioni per realizzare azioni concrete, alla loro portata, volte al rispetto del clima nel risparmio energetico. Spesso capita che la semplicità dei bambini ci insegni molte cose. In questo caso ci ha suggerito che a volte le soluzioni per risparmiare energia sono a portata di mano basta saper guardare. Ciò ha indotto i bambini di una prima e di una quarta elementare a prendere in seria considerazione l'esigenza di preservare le risorse energetiche:

- osservando il mondo che li circonda e in particolare l'alternarsi delle stagioni;
- considerando i loro comportamenti e le consuetudini;
- registrando e discutendo tutti i dati climatici raccolti.

Hanno concluso il loro lavoro consigliando a tutti i bambini di spegnere la luce quando non serve e al loro Comune di eliminare dalle finestre i fogli di carta oscurante, utilizzati per riparare dal sole alcuni banchi, e sostituirli con tende scorrevoli che potessero consentire loro di regolare la luce naturale in aula senza dover ricorrere all'illuminazione artificiale.

Il percorso dei bimbi di quarta si è così articolato: conoscenza degli alunni riguardo all'individuazione dei tipi di energia e loro fonti; biocapacità della terra; effetto serra; protocollo di Kyoto; proposizioni per diminuire l'emissione di CO₂ nell'atmosfera.

L'esperienza è stata premiata al concorso nazionale 'La scuola amica del clima'.

Numero studenti: 40 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Dispensa presso scuola Primaria A. Venturi Monteveglio (Bo)

Sito scuola: www.icbazzano.it

Docente referente: Nicoletta Colaianni, Donatella Baccolini

Provincia di Modena

Istituzione scolastica

SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO 'L.A. MURATORI'

Via Resistenza, 462 - Vignola (Mo)

Tel. 059 771161

E-mail: momm152007@istruzione.It

Titolo

METEOCILIEGE

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Rilevamento statistico delle condizioni atmosferiche e dei fulmini, tramite centralina meteorologica, collegata a software; stazione meteorologica amatoriale 'vantage pro' con software 'weather-link 5.4 v' e 'lightning 2000'; web cam; gruppo continuità.

Inoltre adesione a progetto della NASA "S'COOL".

Numero studenti: 50 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Sito internet: www.meteociliege.it.

Enti esterni: NASA; Dott. Luca Lombroso - Meteorologo.

Docente referente: Maurizia Brandalise

SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO - I.C. 'MARTIRI DELLA LIBERTÀ'

Piazza dei Martiri, 61 - 41059 Zocca (Mo)

Tel. 059 987021 - Fax 059 987011

E-mail: ic.zocca@zocca-ic-it

Titolo

I LICHENI COME BIOINDICATORI PER IL MONITORAGGIO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: Biennale

Descrizione

Il progetto è nato dalla voglia di mettersi alla prova di due insegnanti che avevano seguito per due anni il corso di aggiornamento 'Licheni e didattica'. L'attività è iniziata con l'I.P.S.A.A. 'Spallanzani'di Montombraro (Mo), all'interno del Progetto Europeo Comenius 'Nuove tecnologie ed Educazione Ambientale', in rete con due Scuole di Portogallo e Francia. L'itinerario didattico è diventato un progetto di educazione ambientale del nostro Istituto che è stato riproposto nel biennio 2003/04 e 2004/05 in due seconde e terze classi. L'attività si è svolta a classi parallele ed aperte durante i lavori di gruppo in aula ed all'esterno: raccolta, osservazione con le lenti e lo stereoscopio per giungere alla classificazione dei licheni epifiti.

Secondo la metodica svizzera semplificata per l'ambito scolastico sono state individuate 10 stazioni di rilevamento. Gli alunni hanno collaborato all'identificazione sulla carta (scala 1: 10.000) dei 10 siti idonei per la rilevazione, considerando le fonti inquinanti e la direzione del vento poi, divisi in gruppi, hanno proceduto al conteggio dei licheni con il reticolo applicato al tronco degli alberi. In aula hanno calcolato la frequenza totale di ogni pianta e la media aritmetica delle frequenze misurate sulle 4 querce di ogni stazione, che rappresenta il valore dell'Indice di Purezza Atmosferica. Con i dati è stata costruita una carta tematica della qualità dell'aria del Comune di Zocca.

Punti forti: lo sviluppo di collaborazione, operatività, progettualità e appartenenza negli studenti che si sentono soggetti attivi per l'ambiente; l'interdisciplinarità (scienze, matematica, tecnologia, lettere, geografia); l'opportunità di considerare lo stato dell'aria dalla realtà locale a quella globale. Punto debole: flessibilità oraria e lavoro a classi aperte con più insegnanti senza il tempo prolungato.

Numero studenti: 45 Numero classi: 2

Materiali prodotti

www.scuolesostenibili.it - CD con ipertesto 'I licheni sentinelle dell'aria'.

Enti esterni: Amministrazione comunale di Zocca, Parco dei Sassi di Roccamalatina, Museo di Ecologia e Scienze Naturali di Marano.

Docente referente: Sandra Bortolini

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO 'PACINOTTI'

Piazza Aldo Moro, 35 - 41018 S.Cesario S.P. (Mo)

Tel. 059 930179

E-mail: momm115008@istruzione.it

Titolo

I LICHENI: BIOINDICATORI E QUALITÀ DELL'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2002/03 Durata: annuale

Descrizione

Obiettivi didattici: conoscere il concetto di bioindicatori; conoscere i licheni e la loro biologia; valutare la qualità dell'aria attraverso il monitoraggio dei licheni.

Attività: lezione in classe e visita al museo di storia naturale di Marano S.P.; studio in classe per individuare le principali fonti di inquinamento; uscita sul campo per attività di biomonitoraggio e analisi dei dati raccolti.

Numero studenti: 70 Numero classi: 3

*Materiali prodotti*Non più disponibili.

Enti esterni: Centro di educazione e documentazione ambientale di S.Cesario S.P.

Docente referente: Chiara Rubbiani

Provincia di Parma

Istituzione scolastica

SCUOLA PARITARIA DI I GRADO LAURA SANVITALE

Viale Solferino, 25-43100 Parma

Tel. 0521 960430 - Fax 0521 960599

E-mail: sslsanvi@provincia.parma.it

Titolo

CHE ALBERO È QUESTO?

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Il progetto è stato realizzato in collaborazione con gli insegnanti di lettere, inglese, tecnologia, arte e immagine.

Ci siamo serviti di: lezioni frontali con e senza esperti; uscita al Parco dei 100 laghi per imparare a riconoscere i vari alberi, l'ambiente in cui vivono come nasce il bosco, perché muoiono gli alberi, i vegetali come indicatori di ambiente più o meno inquinato, la loro importanza per la vita dell'uomo; uscita al Parco Ducale per studiare le foglie, la loro vita, le loro funzioni, le cellule vegetali.

Il materiale utilizzato (testi, microscopi, provette, strumenti vari) in parte è della scuola, in parte è stato messo a disposizione dagli enti che ci hanno aiutato.

Numero studenti: 28 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Non è disponibile materiale specifico perché sono state fatte esperienze di laboratorio con materiale di consumo, relazioni e disegni che sono stati restituiti agli alunni.

Enti esterni: Parco dei Cento Laghi; Parco Ducale.

Docente referente: Renata Spotti

Istituzione scolastica

SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO 'PARMIGIANINO'

Piazzale Rondani, 1-43100 Parma

Tel. 0521 233874

E-mail: smparmig@provincia.parma.it

Titolo

CIAO MAMMA, VADO A SCUOLA - PICCOLI PASSI PER LIBERARE L'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: annuale

Descrizione

Finalità principale del progetto è stata quella di attuare una dichiarazione di intenti, un'azione propositiva forte della scuola, intesa come comunità di docenti, alunni, famiglie, per migliorare la qualità dell'aria rivedendo i propri comportamenti e gli stili di vita in una realtà come quella di Parma in cui il traffico auto-veicolare rappresenta la causa principale di inquinamento dell'aria.

Obiettivi formativi che si sono perseguiti durante il percorso didattico:

- maturare senso di responsabilità verso l'ambiente e comprendere l'importanza basilare della prevenzione;
- sensibilizzare tramite i ragazzi anche le famiglie sul grave problema dell'inquinamento dell'aria e sul concetto di mobilità sostenibile;
- stimolare i ragazzi alla partecipazione, al coinvolgimento attivo, alla propositività nei confronti delle tematiche ambientali.

Metodologie e strumenti adottati durante il percorso didattico: sono state privilegiate, oltre alle tradizionali lezioni frontali, modalità di lavoro dinamiche ed operative come il brainstorming sulle rappresentazioni mentali, l'utilizzo delle mappe cognitive, la ricerca sul campo, le interviste, i questionari e l'elaborazione informatica dei dati raccolti.

Rilevante è stata la documentazione consultata ed il confronto dei dati raccolti con la vasta analisi sui mezzi utilizzati per venire a scuola realizzata nell'Istituto fin dal 1992.

Il progetto ha avuto durata annuale, ma il tema dell'inquinamento dell'aria ed il monitoraggio sull'utilizzo dei mezzi per venire a scuola prosegue tutti gli anni.

Numero studenti: 580 Numero classi: 24

Materiali prodotti

Cd; il lavoro è sul sito della scuola.

Enti esterni:

CIREA, Università degli Studi di Parma - Dipartimento di Scienze ambientali, ARPA,

Bicinsieme, Insieme per Parma, Assessorato ambiente Regione Emilia-Romagna.

Docente referente: Franca Grisafi

ISTITUTO COMPRENSIVO 'ETTORE GUATELLI'

Via S. Prospero, 11 – 43044 Collecchio (Pr)

Tel. 0521 805419 - Fax 0521 802332

E-mail: scmedia@iccollecchio.scuole.pr.it

Titolo

TEMPO E CLIMA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Quattro lezioni di 2 ore svolte da un esperto.

Esperimenti di laboratorio.

Costruzioni di strumenti: barometro, igrometro, pluviometro.

Una uscita per rilevare i microclimi.

Numero studenti: 42 Numero classi: 2

Materiali prodotti: Dispensa.

Enti esterni: Parco regionale dei Boschi di Carrega.

Docente referente: Clara Salvarani

Provincia di Piacenza

Istituzione scolastica

SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO 'DANTE-CARDUCCI'

Via Piatti, 9 - 29100 Piacenza

Tel. 0523.754552 - Fax 0523.460911

E-mail: dantecarducci@dante-carducci.it

Titolo

W LA BICI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: biennale

Descrizione

Problema: le scuole medie Dante e Carducci sono poste in zona residenziale con problemi di inquinamento da traffico automobilistico.

Fra le attività svolte vi sono:

- misurazione del percorso casa-scuola degli alunni e trascrizione di questo con colore diverso a seconda del mezzo usato (bus, auto, bici, piedi) sulla mappa della città;
- conoscenza dei principali inquinanti e delle tecniche di monitoraggio dell'aria;
- questionario di verifica l'anno successivo con il medesimo campione di alunni per rilevare eventuali cambiamenti.

Punto debole: l'insufficiente conoscenza del nuovo codice della strada che non permette la creazione di piste ciclabili 'a tempo' (7.30-8.30 e 12.30-14.00) come proposto dai ragazzi per poter utilizzare la bici per recarsi a scuola.

Punto di forza: la disponibilità a collaborare dimostrata dagli insegnanti che hanno lavorato numerosi ad un unico progetto e dai referenti esterni.

Riconoscimenti: pubblicazione del lavoro in GOLD.

Numero studenti: 150 circa Numero classi: 6

Materiali prodotti

Pagine Web della scuola: www.dante-carducci.it; documentazione in GOLD.

Enti esterni:

Comune di Piacenza, ARPA, Infoambiente, Associazione Medici Pediatri Comune di Ferrara; quotidiano 'Libertà'.

Docenti referenti: Carla Busconi; Cecilia Concesi; M. Eugenia Fiorani; Maria Forziati; Carmen

Rigolli; Adriana Sottili

ISTITUTO COMPRENSIVO DI RIVERGARO E GOSSOLENGO

Via Roma, 19 - 29029 Rivergaro (Pc)

Tel. 0523 958671 - Fax 0523 952492

E-mail: pcee02400n@istruzione.it

Titolo

I SEGNI DEL CIELO

Ultimo anno di svolgimento: 2000/01 Durata: annuale

Descrizione

Iniziativa condotta durante le due ore del laboratorio di educazione ambientale (compresenza lette-re/matematica) in una seconda classe (tempo prolungato) di scuola secondaria di I grado, da novembre a maggio in preparazione all'uscita presso la base scout di Spettine (Bettola - Pc) (Progetto nazionale di ricerca educativa applicata per la settimana della cultura scientifica e tecnologica, promosso dal Ministero dell'Università, dell'Istruzione e della Ricerca, Ministero dell'ambiente, Agesci settore specializzazioni).

Ricerche svolte utilizzando riviste scientifiche (anche in lingua inglese), testi universitari, fonti locali (quotidiani e raccolte osservatorio), visite guidate (Osservatorio Alberoni), lezione tenuta da esperti della base aerea di S. Damiano.

Punti deboli: uso mezzi informatici solo per videoscrittura (CD); copie per alunni autofinanziate. *Punti forti:* valorizzazione delle competenze dei singoli; autorientamento; rafforzamento del grup-

po-classe (si è lavorato a gruppi mobili).

Numero studenti: 13 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Dispensa e CD.

Enti esterni

Gruppo Scout di Spettine; Agesci - Settore Specializzazioni; Esperti base aerea di S. Damiano.

Docente referente: Annarita Volpi

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO DI PODENZANO

Via Piave, 24 - Podenzano (Pc)

Tel. 0523 556178 - Fax 0523 351098 E-mail: info@icparinipodenzano.it

Titolo

LABORATORIO DI METEOROLOGIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

4 lezioni frontali di 2 ore ciascuna, tenute da esperti dell'Aeronautica militare; presentazioni in power-point; visione di strumenti tradizionali per la misura dei fattori meteorologici; prove di previsioni meteorologiche in base ai dati forniti.

Numero studenti: 63 Numero classi: 3

Materiali prodotti

Cartelloni riassuntivi presentati nel giorno della 'Festa in piazza'.

Enti esterni: 50° Stormo Aeronautica Militare.

Docente referente: Tiziana Meli

Provincia di Ravenna

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO 'EUROPA'

Via Degli Insorti, 2 - 48018 Faenza (Ra)

Tel. 0546 28394

E-mail: smeurfa@provincia.ra.it

Titolo

ARIA INTORNO A NOI - DETERMINAZIONE PONDERALE DEL PARTICOLATO ATMO-

SFERICO

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: oltre tre anni

Descrizione

Materie interessate: lettere; scienze; educazione tecnica.

Obiettivi: conoscere la qualità dell'aria sotto il profilo dell'inquinamento atmosferico; sensibilizzare gli alunni alla realtà dell'inquinamento.

Contenuti: determinazione ponderale del particolato atmosferico; determinazione pratica dei gas inquinanti.

Metodo sperimentale.

Materiale: apparecchiatura per determinazione delle polveri (pompa aspirante volumetrica, filtro, bilancia analitica, microscopio, macchina fotografica, computer; apparecchiatura per la determinazione dei gas inquinanti (pompa aspirante volumetrica, quattro palloni gorgogliatori, reattivi, acqua distillata).

Tempi: 20 ore suddivise tra le varie discipline.

Operatività: schema di lavoro: gennaio-febbraio e aprile-maggio.

Ore 8:00: determinazione di: temperatura, pressione, umidità relativa dell'aria, all'esterno di una finestra della classe 3^C dove ha avuto luogo la prova; impressioni visive sulla copertura del cielo, (nebbia, pioggia, sole pieno, vento apprezzabile, neve); inserimento del filtro nel porta-filtro; accensione della pompa.; regolazione del timer della pompa su due ore di funzionamento; estrazione, del filtro e sua pesatura; tabulazione e visualizzazione dei deti raccolti; osservazione al microscopio (200x) della qualità del particolato rimasto sul filtro, per vedere particelle nere carboniose; particelle chiare terrose; particelle vegetali: fili, parti di semi, peli di frutti, pollini; fotografie dei filtri più significativi.

Numero studenti: 130 Numero classi: 5

Materiali prodotti

Dispensa, supporto informatico.

Docente referente: Pia Molinari

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO 'FRANCESCO D'ESTE'

Via Roma 17 - 48024 Massa Lombarda (Ra)

Tel. 0545 81191 - Fax 0545 81495

E-mail: smmassa@racine.ra.it

Titolo: ARIA: AMICA DELLA VITA - AVERE ARIA PER LE MANI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: triennale

Descrizione

Il progetto ha coinvolto in 'rete' diverse scuole. Si inserisce in un percorso didattico formativo che prevede corsi di formazione per gli insegnanti e l'attivazione di Laboratori a tematica ambientale in tutti i plessi, in ottica di Agenda 21 Locale (Piano di Azione di 'A21 a Scuola'), un corso di formazione interno per docenti, personale ATA, genitori e rappresentanti delle pubbliche amministrazioni.

- Fase 1 Perché devo occuparmi di ambiente. Concetti dello Sviluppo sostenibile.
- Fase 2 Perché devo occuparmi di aria. Una risorsa sostenibile.
- Fase 3 Aria, un problema globale somma di problemi locali. Qualità dell'aria, effetto serra e cambiamenti climatici.
- Fase 4 Stili di vita e risorsa aria. Consumi domestici; mobilità individuale e collettiva.

Quadro conoscitivo. Definizione di determinanti e pressioni: caratterizzazione e quantificazione dei consumi domestici legati all'uso di energia; la mobilità (tipi e modi degli spostamenti in ambito scolastico e privato nella specifica realtà territoriale).

Azioni. Ipotesi di risposte in ottica di Sviluppo Sostenibile.

Obiettivi formativi: realizzare un percorso didattico formativo; indurre motivazioni per modificare i propri comportamenti e diventare di stimolo per altre persone; implementare un processo che coinvolga non solo la rete scolastica ma anche altri ambiti (dalla famiglia alla comunità più in generale) in un dibattito sugli stili di vita e la sostenibilità dello sviluppo locale.

Metodologia e strumenti: creazione di un ambiente di apprendimento opportunamente strutturato; coordinamento comune; attivazione di percorsi in ambito curricolare e di laboratori ambientali.

Attività da svolgere: simulazioni, giochi, consultazione di documenti, questionari, sperimentazioni, indagini quali-quantitative, utilizzo di mezzi multimediali, coinvolgimento di 'esperti', rappresentanti locali, genitori, uscite sul territorio, ecc.

Numero studenti: 98 Numero classi: 5

Materiali prodotti: esperienze di sostenibilità sul sito: www.racine.ra.it/icdeste/; articoli su giornalini scolastici e locali; poster divulgativi; serate sul territorio in collaborazione con le Amministrazioni locali.

Enti esterni: ARPA – Ravenna.

Docente referente: Carla Laghi

ISTITUTO COMPRENSIVO 'C. BASSI'

Via Giovanni XXIII, 86 - 48014 Castelbolognese (Ra)

Tel. 0546 656935

E-mail: icbassi@racine.ra.it

Titolo: SCIENZE IN RETE

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05

Durata: oltre tre anni

Descrizione

La Scuola è partecipe del progetto 'Scienze in rete' che ha come capofila l'Istituto 'Carchidio Strocchi' di Faenza; partecipa all'edizione annuale della 'Settimana della Scienza' a Faenza e alle attività previste e proposte nell'ambito di 'Scienze in rete'.

Obiettivi: si fa riferimento a quanto esposto nel paragrafo 'La scienza e le scuole in rete', nel Capitolo 3 di questo volume.

Tempi: la parte sperimentale è stata realizzata prevalentemente nella seconda parte del primo quadrimestre e nei primi mesi del secondo quadrimestre (pochi minuti al giorno per la raccolta dati e circa dieci ore/classe per lo studio l'elaborazione e la produzione).

Fasi del lavoro e contenuti: raccolta dei dati meteorologici con strumenti; raccolta di dati meteorologici con sonde on line; approfondimenti su termoscopi, termometri, barometri, igrometri; studio della qualità dell'aria (classi seconde secondaria); osservazione microscopica di organismi indicatori dell'ambiente: licheni (classi seconde secondaria); partecipazione alla mostra della cultura scientifica a Faenza.

Modalità operative: Il metodo scelto per operare in laboratorio è quello sperimentale. Per tale scopo si è predisposta una tabella di raccolta dei dati, che prevede la colonna temperatura massima e minima, la temperatura ore 12, l'umidità, la pressione atmosferica. Si è stabilito di effettuare la raccolta dati off-line per una settimana in Febbraio, utilizzando tre sensori (temperatura, pressione, umidità). Si inviano come sempre i dati in rete alla Scuola Strocchi. Si ricevono i dati elaborati statisticamente con Excel, le tabelle, i grafici cartesiani, gli istogrammi. Si predispongono le attività per lo studio della qualità dell'aria con l'uso di capsule Petri. Si producono relazioni scientifiche sulle attività qualità dell'aria e osservazione dei licheni e cartelloni illustrativi. Nell'ambito di un'attività laboratoriale si producono gli exibit per la settimana scientifica faentina.

Numero studenti: 320 Numero classi: 16

Materiali prodotti: presso ogni scuola è archiviata in floppy, CD-archivio, materiale cartaceo, la documentazione prodotta (elaborazione statistica dei dati); previsto un CD.

Enti esterni: Altre istituzioni scolastiche del Progetto 'Scienze in rete'; inizialmente il Liceo Scientifico Torricelli di Faenza; GeoLab; enti privati (artigiani, industrie, ecc.); esperto di licheni ed esperto nell'uso delle attrezzature on-line.

Docente referente: Giovanna Foschini, Giovanna Reggidori

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO S.PIETRO IN VINCOLI

Via Leonardo da Vinci, 8 - 48020 S.Pietro in Vincoli (Ra)

Tel 0544 551603 - Fax 0544 553014 E-mail: ddra12@racine.ravenna.it

Titolo: GLOBESEREN@

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: triennale

Descrizione

Nell'a.s. 2003/04 gli alunni hanno ricercato in Internet informazioni ed immagini relative agli inquinamenti atmosferici e a problemi quali le piogge acide, l'effetto serra e la riduzione dello strato di ozono. Particolarmente utili i siti: www.nonsoloaria.it e www.iam.na.cnr.it. Sono stati realizzati alcuni esperimenti (prodotti della combustione, cattura del pulviscolo atmosferico, effetto degli acidi su materiali biologici e da costruzione). Nell'a.s. successivo la scuola ha aderito al progetto GlobeSeren@, che nasce come rete meteorologica di scuole medie inferiori coordinata localmente dall'I.T.I.S. 'O. Belluzzi' di Bologna.

Il progetto, che si sviluppa in un triennio, si pone prima di tutto l'obiettivo di comprendere la complessità del sistema climatico e in particolare il ruolo dell'atmosfera e gli effetti che il mutamento climatico già produce o potrebbe produrre nel nostro paese, per arrivare infine a discutere che cosa si può fare per una gestione sostenibile del territorio. Nel cortile della scuola di San Pietro in Campiano è stata installata una nuova centralina meteorologica provvista di: pluviometro, termometro, termometro a max e min, barometro, igrometro, nonché un *datalogger* per la registrazione in automatico della temperatura e dell'umidità.

Gli studenti delle due classi terze della scuola secondaria sono stati incaricati di rilevare ogni giorno, alla stessa ora circa, i dati misurati dagli strumenti, che potranno essere utilizzati dagli stessi studenti per le esercitazioni sull'utilizzo del foglio elettronico. Gli studenti delle due classi terze della scuola primaria rileveranno lo stato del cielo. Tutti i dati verranno inviati per posta elettronica alla scuola capofila che predispone un archivio di dati, da rendere disponibile al pubblico. Gli obiettivi didattici principali del progetto sono: riconoscere le caratteristiche principali del sistema atmosfera e clima; conoscere i problemi connessi con la variabilità del tempo meteorologico e del clima; conoscere ed utilizzare strumentazione specifica ed empirica; raccogliere, valutare, riferire dati, da osservazioni sul campo e da esperimenti, anche con l'uso delle nuove tecnologie; far nascere l'interesse per il metodo d'indagine scientifica.

Numero studenti: 78+39 Numero classi: 4+2

Materiali prodotti: Ogni alunno ha ricevuto un opuscolo con le ricerche svolte dalla classe. Sito dell'I.T.I.S. 'O. Belluzzi' di Bologna: www.belluzzi.scuole.bo.it.

Enti esterni: ARPA, Provincia di Ravenna, ditta HH di Faenza, scuole in rete.

Docente referente: Anna Maria De Felice, Anna Rusticali

Provincia di Reggio Emilia

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO 'LCALVINO'

Via E. De Amicis, 32 - 42042 Fabbrico (Re)

E-mail: ist.comp.fabbrico@libero.it

Titolo

IL BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA A FABBRICO ATTRAVERSO LO STUDIO DEI LICHENI

Ultimo anno di svolgimento: 2002/03 *Durata:* annuale

Descrizione

L'attività ha seguito un percorso teorico-pratico articolato in diverse fasi:

- conoscenza scientifica dei licheni (anatomia, fisiologia, osservazione diretta con la lente e al microscopio tridimensionale presso l'Istituto tecnico agrario 'Zanelli');
- costruzione dei reticoli di rilevamento secondo precise dimensioni;
- scelta delle stazioni di campionamento;
- uscite sul campo per le rilevazioni;
- calcolo dell'indice di biodiversità lichenica;
- realizzazione, con l'aiuto dell'esperto, della carta tematica della qualità dell'aria a Fabbrico.

Per le sue caratteristiche il lavoro si può considerare come un vero e proprio progetto di ricerca ambientale, i cui risultati sono stati diffusi tramite una pubblicazione cartacea e un ipertesto.

Un valido sussidio utilizzato per il riconoscimento dei licheni è stato il testo di Ferrari, Marcon, Marconi, *Esercitazioni di ecologia*, Menta Edagricole.

Punti di forza il coinvolgimento attivo di tutti gli alunni che hanno veramente 'adottato' il progetto nella sua interezza ed il coinvolgimento del territorio che ha avuto a disposizione, al termine del lavoro, i risultati ottenuti.

Numero studenti: 30 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Volume 'Il biomonitoraggio della qualità dell'aria con i licheni a Fabbrico' – CD.

Enti esterni: Istituto Tecnico Agrario Zanelli di Reggio Emilia; Regione Emilia Romagna; Agac di Reggio Emilia; Comune di Fabbrico.

Docente referente: Fabrizia Ascari

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO REGGIOLO

Via Regina Margherita, 6 - Reggiolo (Re)

Tel. 0522 972166 - fax. 0522 973248

E-mail: razolosm@tin.it

Titolo

COMUNICARE LA SCIENZA: STUDIO DEI FATTORI CLIMATICI. '...CON LA TESTA FRA LE NUVOLE'

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: annuale

Descrizione

Commento di immagini: attraverso il linguaggio dell'arte è possibile affermare che il clima del passato non doveva essere molto diverso da quello che si osserva oggi in alcune zone del nostro pianeta.

Discussione: le informazioni fornite dai climi del passato offrono un valido contributo alle previsioni sulle tendenze climatiche per il futuro.

Costruzione di una mappa concettuale per lo studio del clima: il clima è determinato dalla temperatura che, variando da luogo a luogo, determina i moti convettivi, dalla pressione che genera i venti, dall'umidità che determina le precipitazioni.

Esperimenti sulla pressione.

Le variabili che influenzano il clima e lo fanno cambiare: sole, atmosfera, oceani, ciclo dell'acqua, nubi, ghiaccio e neve, superficie terrestre, azione dell'uomo; tra queste variabili, l'attenzione e l'interesse degli alunni si rivolgono alle nubi che diventano oggetto di osservazione, studio, esperimenti; dalle fotografie ai disegni, dalle ricerche con l'uso dei testi a quelle con l'utilizzo di Internet, gli alunni scoprono la varietà dei tipi di nubi nella forma e nell'altezza.

Approfondimenti interdisciplinari: le nubi nell'arte.

La classe, divisa in gruppi di studio, organizza un *exhibit*, una mostra con cartelloni ed esperimenti, dal titolo: '...con la testa fra le nuvole'. L'esperienza si conclude con la partecipazione alla manifestazione di 'SCIENZA UNDER 18 Mantova' che si tiene presso i chiostri dell'Abbazia Polironiana di San Benedetto Po; nel corso della manifestazione gli alunni espongono l'esperienza coinvolgendo visitatori di ogni età.

L'attività viene segnalata per partecipare al progetto 'La Primavera della Scienza'.

Numero studenti: 25 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Cartelloni, relazioni degli esperimenti, fotografie, diario di bordo.

Enti esterni: Rete di scuole SU18; MIUR; Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia; Ufficio Scolastico Regionale per la Lombardia; Associazione Rinascita per il 2000.

Docente referente: Paola Mantovani

Provincia di Rimini

Istituzione scolastica

ISTITUTO COMPRENSIVO MONDAINO - SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO

Via Fonte Leali 1 - 47836 Mondaino (Rn)

Tel. 0541 981658 - Fax 0541 982187

E-mail: icsmondaino@libero.it

Titolo

OBIETTIVO ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* biennale

Descrizione

Gli allievi hanno iniziato lo studio delle caratteristiche dell'atmosfera e dell'aria, in particolare, sin dal secondo anno di scuola media, relativamente al programma di scienze. Si è pensato poi, nel corso del terzo anno, di approfondire l'argomento dal punto di vista della 'qualità dell'aria', essendo di notevole e preoccupante attualità il problema del suo inquinamento, le ripercussioni sul clima, sugli esseri viventi e la salute dell'uomo.

Gli allievi, suddivisi in gruppi di lavoro, hanno sviluppato i diversi aspetti della questione proposta, ricercando informazioni su testi di scienze, opuscoli informativi, guide specifiche. Hanno, poi, utilizzato un programma di videoscrittura per gli elaborati e il foglio elettronico per allestire tabelle e grafici. Si sono allestite esperienze per verificare le proprietà dell'aria utilizzando kit per esperimenti, alcuni modelli molecolari sono serviti per costruire le molecole delle sostanze presenti nell'aria. Il lavoro svolto ha avuto lo scopo di sensibilizzare gli allievi su una problematica ambientale di particolare interesse.

Numero studenti: 19 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Assemblato il materiale informatico utilizzando PowerPoint.

Docente referente: Isabella Iervicella

Istituzione scolastica

SCUOLA MEDIA 'ALIGHIERI-FERMI'

Via Coletti, 102 - 47900 Rimini

Tel. 0541 52082 - Fax 0541 27037

E-mail: sm2rimini@rimini.com

Titolo

IL SOFFIO DEL MONDO

Descrizione

L'inquinamento dell'aria e l'educazione alla mobilità sostenibile, attraverso attività didattiche laboratoriali volte a promuovere le conoscenze sull'aria, sul suo inquinamento mediante analisi chimiche e biologiche, e a riorganizzare e sperimentare una mobilità alternativa.

Fasi del progetto: la respirazione; storie d'aria; l'officina della scienza; le basi dell'ecologia; monitoraggio chimico dell'inquinamento atmosferico; biomonitoraggio mediante i licheni; individuazione di comportamenti rispettosi dell'ambiente; indagini tramite intervista; riscaldamento urbano e utilizzo dei mezzi di trasporto; la pista ciclabile e la bicicletta; giochi, concorsi, disegni...; laboratorio teatrale.

Metodi e strumenti

Attività di ricerca-azione sul territorio. Lezioni frontali; lavori di gruppo; incontri con esperti; laboratori; uscite didattiche; questionari; schede.

Descrizione delle fasi operative del progetto

Le classi che hanno aderito al progetto lo hanno realizzato seguendo modalità e percorsi diversi. Tutte le classi hanno avuto dei momenti comuni:

- festa dell'aria (20 marzo 2004), a cui ha partecipato ARPA, con una unità mobile di rilevamento sia del traffico che degli inquinanti chimici, visitata da tutti i ragazzi; esposizione e commento dei risultati rilevati dalla centralina mobile nei giorni 19 e 20 marzo 2004;
- biomonitoraggio lichenico della Val Parecchia effettuato in dodici stazioni limitrofe alla scuola;
- rassegna finale della scuola, alla quale le classi hanno aderito con cartelloni, CD rom, dispense attestanti il lavoro svolto.

Numero studenti: 272 Numero classi: 13

Materiali prodotti: Cartelloni; Cd rom; dispense.

Enti esterni: Legambiente, Osservatorio Naturalistico Valmarecchia, Atlantide, Arpa, Comune, esperto di teatro.

Docente referente: Daniela Bentivoglio; Anna Maria Morri

SCUOLE SECONDARIE DI SECONDO GRADO

Provincia di Bologna

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE CRESCENZI- PACINOTTI

Via Saragozza, 9 - 40123 Bologna

Tel. 051 3397411

E-mail: istpcres@iperbole.bologna.it

Titolo

PROGETTO SCUOLAMBIENTE

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Nell'ambito del progetto Scuolambiente l'Istituto ha affrontato diverse tematiche ambientali: due classi prime, a completamento dello studio dell'atmosfera e degli inquinanti, si sono recate alla centralina SARA dei Giardini Margherita e ne hanno studiato il funzionamento con un tecnico dell'Arpa; hanno poi analizzato al microscopio le polveri di alcuni campione d'aria.

Numero studenti: 50 Numero classi: 2

Enti esterni: Arpa, Comune di Bologna, Atc.

Docente referente: Rita Merlo Pich.

Istituzione scolastica

LICEO SCIENTIFICO 'COPERNICO'

Via Garavaglia, 11 - 40127 Bologna

Tel: 051 6331912

e-mail: liceo@copernico.bo.it

Titolo

BIOINDICATORI PER IL CONTROLLO DELL'AMBIENTE

Descrizione

Il progetto ha avuto lo scopo di trasmettere ai giovani, tramite seminari ed esperienze pratiche di laboratorio, informazioni sull'attività di ricerca riguardante i bioindicatori, favorire la conoscenza del controllo ambientale, far utilizzare nuove tecniche e metodiche di laboratorio. Il lavoro si è sviluppato in due unità didattiche per complessive 8 ore di laboratorio, integrate da una visita all'Istituto di Apicoltura di Via di Saliceto e precedute da un seminario tenuto da docenti dell'Università. Le due unità didattiche sperimentali riguardanti i bioindicatori hanno preso in considerazione batteri bioluminescenti e api.

Batteri bioluminescenti: sono stati utilizzati batteri bioluminescenti coltivati in piastra, che, in presenza di inquinanti, perdono la loro luminescenza in modo proporzionale alla concentrazione di tali sostanze. Per i saggi sono stati esaminati sia terreni contaminati da composti provenienti da impianti petrolchimici, sia campioni raccolti dagli studenti. Per l'analisi a breve termine (tossicità acuta) si è usato a scuola un luminometro (per misurare l'emissione luminosa dei batteri). In questo modo è stato possibile verificare la tossicità degli inquinanti confrontandoli con le prove in bianco. Per l'analisi a lungo termine (tossicità cronica), si è usato un luminometro a micropiastre fornito dall'Università; i saggi sono stati effettuati nei laboratori universitari.

Api: la raccolta dei campioni di api morte permette un'analisi qualitativa (indicante i tipi di pesticidi assorbiti dalle api) e quantitativa (effettuata con il conteggio giornaliero delle api morte). Sono stati estratti i pesticidi e i pollini; dal riconoscimento di questi si può risalire al tipo di pianta che ha subito il trattamento.

Numero studenti: 70 ogni anno Numero classi: 4

Materiali prodotti

CD sull'attività svolta; poster presentato al XXI Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana; giornale 'divulgativo' (Copernifocus) visibile sul sito del Copernico.

Enti esterni: docenti dell'Istituto di Scienze Chimiche, Radiochimiche e Metallurgiche dell'Università di Bologna; INCA (Consorzio Interuniversitario Nazionale 'La Chimica per l'ambiente').

Docente referente: Daniela Bulgarelli

Istituzione scolastica

ISTITUTO PROFESSIONALE PER I SERVIZI ALBERGHIERI E DELLA RISTORAZIONE 'B SCAPPI'

Viale Terme, 1054 - 40124 Castel S. Pietro Terme (Bo)

Tel. 051 948181

E-mail: istpssa@iperbole.bologna.it

Titolo

LA STORIA DELLA PIAZZA, LA PIAZZA E LA STORIA

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: annuale

Descrizione

Finalità: Educare alla conoscenza e valorizzazione del territorio sapendone cogliere aspetti ambientali, antropici, storici, artistici, enogastronomici; educare al rispetto dell'ambiente con particolare riferimento al tema dell'aria; promuovere comportamenti responsabili come cittadini ed operatori di specifici settori professionali; rafforzare la motivazione allo studio vivendo la scuola da protagonisti ed evidenziare capacità ed inclinazioni finalizzate all'orientamento personale. Nelle materie di italiano e storia, cucina, sala-bar, diritto si sono approfonditi temi riguardanti la 'Piazza'.

In particolare, in scienze della terra: 'Che aria tira in piazza?'; atmosfera: composizione primitiva ed attuale a confronto; la qualità dell'aria nel territorio bolognese e in particolare a Castel S. Pietro Terme nel passato (anni '50-'60) e oggi; inquinamento atmosferico; inquinanti naturali ed antropici; effetto serra; buco dell'ozono; polveri fini; strategie e proposte per limitare l'inquinamento dell'aria; futuro sostenibile: il locale a favore del globale.

Metodologie: attività guidate ed interattive con i ragazzi, lavori di gruppo, attività di ricercaazione, uscite didattiche, studio di documenti di archivio, interviste a testimoni, esercitazioni pratiche, compresenza con esperti della formazione professionale.

Numero studenti: 22 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Dal territorio al territorio - ipertesto presentato all'Università di Bologna - Facoltà di Storia -

Progetto 'Passamano per S. Luca'.

Enti esterni

Comune di Castel S. Pietro Terme; CNR; gruppo di valorizzazione dei beni culturali e ambientali della valle del Sillaro; Casa Protetta Comunale 'La Coccinella'; Biblioteca e Archivio Comunale di Cspt; Esperti Cfp Fomal; Università di Bologna - Facoltà di Storia.

Docente referente: Daniela Stefanelli

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE 'O. BELLUZZI'

Via G. D. Cassini, 2 - 40100 Bologna

Tel. 051 561202

Titolo

PROGETTO ZOLA

Ultimo anno di svolgimento: 2002/03 Durata: biennale

Descrizione

Il lavoro nasce da una proposta di collaborazione tra la scuola ITIS O.Belluzzi e la sezione di Bologna dell'ARPA, concordata e accolta dal Comune di Zola Predosa, per l'esecuzione di alcune attività di monitoraggio ambientale a scala locale/comunale, con successive elaborazione e restituzione dei dati, finalizzate alla conoscenza e alla divulgazione dello stato di salute nelle varie componenti ambientali del territorio di Zola Predosa.

La collaborazione tra ITIS, da anni impegnato nella formazione di figure professionali in campo ambientale, ARPA e Comune si è prefigurata come progetto coordinato e concertato, nell'ambito del quale l'istituzione scolastica si inserisce come insieme dinamico che va al di là della normale organizzazione della scuola.

Tale collaborazione ha avuto anche l'obiettivo metodologico di ottimizzare le attività dei ragazzi della scuola con quelle di ARPA, per orientare le esperienze scolastiche al fine di renderle utilizzabili e quindi applicabili e fruibili all'esterno attraverso un prodotto quale il report ambientale e allo stesso tempo per rendere più efficace l'azione formativa in quanto svolta come esperienza concreta di lavoro integrato.

I dati meteo utilizzati nel report sono elaborati per confronto tra quelli acquisiti dalla stazione meteo del Belluzzi e dalla stazione meteo di Borgo Panigale (Aeroporto).

I temi trattati dagli studenti del Belluzzi sono stati in particolare: aria, acqua, suolo, rumore, GIS, comunicazione ambientale.

Numero studenti: 50 Numero classi: 4

Materiali prodotti

Città di Zola Predosa: primo rapporto sullo stato dell'ambiente a cura di ARPA Sezione Provinciale di Bologna 2005 (Volume e CD).

Sito Web Ambiente: http://belluzzi.scuole.bo.it/progetti/ambiente/homepage.htm.

Volume: IRRE E-R, Una scuola per l'ambiente, Cappelli Editore, 2002.

Produzione di un pieghevole informativo sui risultati delle attività di monitoraggio.

Enti esterni

ARPA-BO, ARPA-SIM, Comune di Zola Predosa.

Docente referente: Vanna Nucciotti Ragazzini

Provincia di Ferrara

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE 'VINCENZO MONTI'

Via Azzo Novello, 4 - Ferrara

Tel. 0532 207361

E-mail: segreteria@itcmonti.it

Titolo

IL TRUCCO: RISCHI E CONSEGUENZE DELL'ELABORAZIONE DELLO SCOOTER

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

Il progetto ha preso avvio dall'interesse manifestato dagli studenti in occasione dei corsi effettuati per il rilascio del patentino: tutto ciò che era legato allo scooter era uno stimolo per conoscere e approfondire temi legati all'inquinamento atmosferico.

La visione del video 'I tempi della strada' prodotto dall'Istituto in collaborazione con il Liceo 'Roiti', l'IPSIA 'Ercole D'Este' e Promeco ha suscitato le seguenti domande:

- perché si usa lo scooter?
- perché lo si trucca e con l'aiuto di chi?
- perché un mezzo truccato ha un impatto ambientale più pesante di un altro?

È seguita una discussione che ha evidenziato la non conoscenza del problema da parte di molti e l'interesse ad affrontarne la tematica. Si è poi proceduto ad approfondire i rischi connessi all'elaborazione degli scooter in relazione alla sicurezza e gli aspetti legati all'inquinamento atmosferico, avendo cura di puntualizzare come l'emissione di sostanze inquinanti nell'aria sia la causa principale di molti dei maggiori problemi ambientali e sanitari. Si sono analizzati i fenomeni dal punto di vista giuridico e scientifico: in particolare, le norme dirette a limitare l'inquinamento atmosferico e acustico e le esperienze di laboratorio per rilevare la presenza di ossidi di azoto e monossidi di carbonio nei gas di scarico degli scooter.

Il progetto ha accresciuto negli allievi la consapevolezza dei danni derivanti all'ambiente dall'uso di scooter truccati e ha stimolato l'assunzione di impegni specifici quali: utilizzare lo scooter solo se indispensabile, prendere in considerazione la possibilità di sostituirlo ogni tanto con la bicicletta o con i mezzi pubblici, considerare anche l'impatto ambientale nella scelta di un mezzo e non solo l'estetica o la velocità.

Numero studenti: 96 Numero classi: 4

Materiali prodotti

Presentazione in PowerPoint: le norme di tutela ambientale fino al Protocollo di Kioto.

Enti esterni: Promeco, Comune di Ferrara.

Docente referente: Anna Baldin

Provincia di Forlì-Cesena

Istituzione scolastica

ISTITUTO ISTRUZIONE SUPERIORE 'ROBERTO RUFFILLI'

Via Romanello da Forlì, 6 - Forlì

Tel. 0543 34925

E-mail: forf01000c@istruzione.it

Titolo

TECNICO PER IL MONITORAGGIO E L'ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'AMBIENTE

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: biennale

Descrizione

Il progetto, rivolto a studenti dell'indirizzo chimico/biologico, prende in considerazione i possibili fattori da monitorare per garantire e preservare la qualità dell'ambiente. Per la trattazione delle tematiche relative ad 'Aria' ed 'Acqua' ci si è avvalsi della collaborazione di ARPA al fine di garantire ai ragazzi un ottimo livello di competenze e aggiornamento da parte degli esperti.

In merito all'inquinamento dell'aria i ragazzi si sono occupati dello studio di inquinanti su macro e microscala, di emissioni ed immissioni, dello studio dei principali inquinanti e della normativa di riferimento per determinare la qualità dell'aria.

Essendo rivolto a studenti di indirizzo chimico, l'argomento è stato completato con lo studio della rete di monitoraggio della Provincia di Forlì-Cesena, delle tecniche di campionamento e di analisi. Una delle allieve, inoltre, ha potuto approfondire l'argomento grazie ad uno stage nella sezione di ARPA che si occupa dell'inquinamento atmosferico.

Numero classi: 1

Enti esterni: ARPA sezione di Forlì

Docente referente: Morena Mainetti

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO AERONAUTICO 'FRANCESCO BARACCA'

Via Montaspro, 94 - Forlì

Tel: 0543 787911

E-mail: itaerfo@tiscali.it; fotb010003@istruzione.it

Titolo

ATTIVITÀ DIDATTICA CURRICOLARE DI METEOROLOGIA ED ESERCITAZIONI

Ultimo anno di svolgimento: 2005/05 Durata: biennale

Descrizione

Trattazione curricolare ed esercitazioni di laboratorio nell'ambito della materia di Meteorologia Aeronautica ed Esercitazioni (in particolare nelle classi terza e quarta) dei seguenti argomenti: studio della strumentazione meteorologica (caratteristiche degli strumenti e loro utilizzo); individuazione dei criteri per la collocazione delle stazioni meteorologiche; stazioni meteorologiche speciali per il rilevamento della qualità dell'aria; elaborazione dei dati meteorologici per lo studio delle condizioni meteo-climatiche della stazione e della qualità dell'aria; studio degli effetti legati al pulviscolo atmosferico, all'anidride carbonica, all'ozono (troposferico e stratosferico) ed agli altri inquinanti atmosferici; effetto serra e suoi effetti; buco dell'ozono e suoi effetti.

Dall'anno scolastico 2004/2005 l'istituto si è dotato di una stazione meteorologica automatica che consente la registrazione dei dati di temperatura, pressione, umidità atmosferica, intensità e direzione del vento, precipitazioni, radiazione solare globale, radiazione solare ultravioletta.

La collocazione della stazione, dotata di ventilazione forzata, rispetta il più possibile i criteri sinottici al fine di ottenere rilevazioni rappresentative delle condizioni meteorologiche.

I dati della stazione sono disponibili a partire dal Settembre 2004; una pagina sul sito web della scuola riporterà in tempo reale i dati rilevati, che saranno utilizzati nel corso delle esercitazioni di meteorologia di classe terza, anche per elaborazioni computerizzate.

L'obiettivo è fornire agli allievi gli elementi per il corretto utilizzo della strumentazione meteorologica e per l'elaborazione dei dati meteorologici, e rendere gli allevi consapevoli degli effetti sulla salute e sull'ambiente degli inquinanti atmosferici.

Numero studenti: 125 (terza); 76 (quarta) Numero classi: 5 terze; 3 quarte

Materiali prodotti

Pagina web (in costruzione) che riporterà i dati rilevati in tempo reale dalla stazione meteorologica dell'Istituto: http://www.itaerfo.it.

Docente referente: Stefano Marani

Provincia di Modena

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE 'A. F. FORMIGGINI'

Via Bologna - Sassuolo (Mo)

Tel: 0536 882599 - Fax: 0536 882073 E-mail: formiggini.segreteria@tin.it

Titolo

1) FATTORI DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

2) PROGETTO DI EDUCAZIONE AMBIENTALE: I LICHENI COME BIOINDICATORI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

- 1) Attività di approfondimento su 'fattori inquinanti dell'atmosfera' svoltasi con un incontro di 2 ore con un tecnico dell'A.R.P.A. di Modena.
- 2) Attività di approfondimento e rilevazione in ambiente sul ruolo dei bioindicatori, in particolare sui licheni quali bioindicatori di qualità dell'aria. Un incontro di 2 ore con un esperto del CEA San Cristoforo di Sassuolo e due uscite, delle quali una in ambiente cittadino e una in zona collinare per effettuare il biomonitoraggio. Una lezione finale in laboratorio per la determinazione e la classificazione.

Enti esterni: ARPA di Modena (1); CEA San Cristoforo - Sassuolo (2).

Docente referente: Silvia Pompucci

Istituzione scolastica

LICEO SCIENTIFICO 'ALESSANDRO TASSONI'

Viale Reiter, 66 - 41100 Modena

Tel. 059 4395511 - Fax 059 4395544

E-mail: info@liceotassoni.it - segreteria.docenti@liceotassoni.it

Titolo

EDUSPACE

Descrizione

Osservazione della terra dallo spazio.

Applicazioni satellitari per il '*remote sensing*' (telerilevamento) per usi meteorologici, geografici, studio dell'atmosfera, inquinamento atmosferico, marino, ambientale.

Numero studenti: 24 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Sito Internet e dispense con 5 ore di lezione in classe, esposizioni in inglese degli studenti coinvolti, in un contesto internazionale.

Enti esterni

ESA - European Space Agency.

Docente referente: Marco Nicolini

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO ATTIVITÀ SOCIALI 'F. SELMI'

Via Leonardo Da Vinci, 300 - 41100 Modena

Tel. 059 352606

E-mail: itas selmi@selmi.org

Titolo

CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI GASSOSE

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Metodo di prelievo ed analisi di inquinanti particellati, con particolare riferimento a quelli di interesse per l'industria ceramica.

L'esperienza riguarderà l'uso di attrezzature per il prelievo di polveri emesse dai camini degli Impianti produttivi dell'industria ceramica.

Il prelievo e l'analisi delle polveri sarà usato per le individuazioni opportune tenendo presente l'attuale quadro legislativo.

Numero studenti: 25 Numero classi: 1

Enti esterni: Cerform - Centro Ceramico Bologna.

Docente referente: Francesco Chiaravalle

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE 'MARCONI'

Via Matteotti 4 – 41026 Pavullo nel Frignano (Modena)

Tel 0536 20567 - Fax 0536 21588

E-mail: itipav@tiscalinet.it

Titolo

TEMPO METEOROLOGICO E CLIMA – IL 2003 A PAVULLO NEL FRIGNANO

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: biennale

Descrizione

Lo studio dei fondamenti della meteorologia nei corsi di geografia e scienza della terra, di elementi di statistica in matematica sono stati finalizzati, in un percorso dal taglio sperimentale, a indagare sull'effettiva corrispondenza tra le sensazioni provate dalle persone, le notizie riportate dai quotidiani e dai mass media in generale, e quanto effettivamente accaduto.

Gli elementi metereologici presi in considerazione, per semplificazione didattica, sono stati esclusivamente la temperatura e le precipitazioni.

I dati consegnati in tabelle con i valori giornalieri sono stati analizzati dagli studenti che, in completa autonomia, hanno successivamente calcolato le medie mensili e le medie annue nonché le elaborazioni statistiche ritenute utili per la ricerca.

Tutte le informazioni trattate sono state gentilmente fornite dal Corpo Forestale dello Stato e provengono dalla stazione di rilevamento 'Mulinetto' (697 m.s.l.m.).

Sussidi utilizzati: elaboratori, software di gestione e trattamento testi, software di gestione dati, strumentazioni del laboratorio di Fisica e di Chimica.

Nell'a.s. 2004/05 si realizza il progetto 'Risparmio energetico', rivolto al biennio (72 studenti di tre classi), articolato in lezioni frontali, incontri con esperti, visite sul tema e la partecipazione per una classe al concorso 'L'Europa e il risparmio energetico', per un'altra al concorso sul porto di Ravenna 'Una goccia d'acqua effettua un viaggio dal monte Cimone al mare Adriatico'.

Numero studenti: 21 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Volumetto o dispensa visibile in biblioteca; costituirà uno dei materiali pubblicati sul sito Internet in costruzione.

Enti esterni

Corpo Forestale dello Stato, Comune di Pavullo n/F.

Enel, Arpa, Collegio dei Periti.

Docente referente: Nicola Canelli, Antonia Scicolone

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE 'ALESSANDRO VOLTA'

Piazza Falcone e Borsellino, 5 - 41049 Sassuolo (Mo)

Tel. 0536 884115 - Fax 0536 88381

E-mail: motf04000p@istruzione.it

Titolo

GITAS 'GIOVANI INFORMATI SU TRAFFICO AMBIENTE SALUTE' - LA QUALITÀ DELL'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 Durata: annuale

Descrizione

Il progetto GITAS (Giovani Informati su Traffico Ambiente Salute) è un progetto di educazione alla mobilità sostenibile facente parte del 'Piano di Sicurezza' della Provincia di Modena, cofinanziato dal Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, e dei Piani Per la Salute (PPS) di ASL di Modena.

L'Istituto ha partecipato con la produzione di un CD sull'Inquinamento dell'aria (cause- conseguenze- ipotesi di soluzioni), elaborato multimediale di tipo bibliografico; è stato condotto, inoltre, il dosaggio delle polveri totali sospese rilevate nelle vicinanze dell'istituto per un periodo di circa due mesi, ed il dosaggio degli antidetonanti (benzene - toluene - xileni) in varie marche di benzine, per via gascromatografica.

L'elaborato è stato presentato ad un Forum finale del progetto, tenutosi a Modena nel maggio del 2004, al quale hanno partecipato, con i prodotti dei loro percorsi, le varie scuole della provincia aderenti al GITAS.

Si segnalano come punti di forza l'interesse suscitato e la partecipazione attiva degli studenti coinvolti, oltre alla possibilità di incontrare studenti di altri istituti e di confrontare i diversi approcci al problema.

Numero studenti: 40 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Il lavoro è visionabile su 'Quaderni di ARPA', febbraio 2005 - GITAS 2, dove è descritto sinteticamente tutto il percorso del progetto; il CD è pubblicato sul sito internet:

www.provincia.modena.it/gitas.

Enti esterni

ARPA E-R, Provincia di Modena, Comuni di Modena, Sassuolo, Carpi, Vignola, Mirandola.

Docente referente: Patrizia Baroni

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE 'IGNAZIO CALVI'

Via Digione, 20 - Finale Emilia (Mo)

Tel. 0535 760055

E-mail: info@itacalvi.com

Titolo

PROGETTO CERES S'COOL

Descrizione

L'attività svolta dagli studenti prevede l'osservazione delle nuvole e il loro riconoscimento, un progetto di supporto alla NASA per la ricerca sul clima terrestre. Gli studenti eseguono diverse rilevazioni a terra ed applicano conoscenze relative alla matematica, fisica, scienze e geografia; inviano i dati attraverso la rete internet e possono confrontarli con quelli raccolti da centinaia di altri loro colleghi in tutto il mondo.

CERES è l'acronimo di *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*, uno strumento installato a bordo di un satellite costruito per permettere ai ricercatori di meglio comprendere le nubi e il loro effetto sul clima terrestre. CERES misura il calore e la luce solare sia dove la terra è coperta di nubi che dove il cielo è sereno. Questo permette di determinare quanto le nubi riscaldano e quanto raffreddano la superficie terrestre e come esse cambino a causa delle attività umane.

Gli studenti comunicano via internet dati relativi alla pressione, temperatura e umidità dell'aria, stato del suolo, tipo di nubi presenti ecc., nel momento in cui il territorio di riferimento è attraversato dal satellite in orbita polare.

Oltre al materiale inviato direttamente dalla NASA, per la formazione degli studenti vengono utilizzati altri supporti didattici (testi di meteorologia, CD, DVD, ecc.). Al termine dell'anno scolastico viene consegnato, ad ogni partecipante, un attestato rilasciato dall'ente spaziale americano.

Per lo svolgimento dell'esperienza è necessaria la conoscenza della lingua inglese, sia per dialogare con altre scuole in tutto il mondo che per scambiare informazioni ed esperienze.

Numero studenti: 52 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Sito internet: http:// scool.larc.nasa.gov/.

Enti esterni: NASA.

Docente referente: Cristina Breveglieri

Istituzione scolastica

ISTITUTO I.T.I.P. 'E. FERMI'

Via Luosi, 23 - 41100 Modena

Tel: 059 211092

E-mail: info@fermi.mo.it

Titolo: RESPIRIAmo:IN GIRO PER MODENA ALLA RICERCA DI ARIA PULITA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Il progetto, che fa parte del programma di educazione ambientale della scuola, è iniziato con la visita didattica al laboratorio 'Vittori' sul Cimone, a cui è seguita una fase di ricerca personale e di studio, suddivisi in gruppi di lavoro, anche interclasse. Una classe ha effettuato alcune uscite in Soprintendenza, per analizzare lo stato di conservazione e le analisi effettuate su alcuni monumenti modenesi, di cui si voleva monitorare il degrado dovuto all'inquinamento atmosferico. In febbraio è iniziata la fase di laboratorio, con estrazione e separazione delle sostanze licheniche da licheni raccolti al Cimone, controllo delle proprietà del lauro come bioindicatore, misurazione della capacità di assorbimento degli UV da parte di occhiali e creme solari. L'attività pratica di biomonitoraggio è iniziata a fine novembre, con uscite in orario extrascolastico, utilizzando le cartine predisposte da ARPA; i gruppi di lavoro hanno suddiviso le UCP (Unità di campionamento primarie) in UCS; in queste si sono cercate le stazioni di biomonitoraggio adatte, con 3 alberi di tiglio con caratteristiche particolari. Nelle ore di Area di Progetto del triennio si sono preparati i materiali finali, per la mostra 'Il Fermi per l'ambiente'. Nella 'Giornata del Fermi per l'ambiente' i ragazzi hanno spiegato ai compagni delle altre classi i lavori svolti. Il progetto ha partecipato con lavori diversi al Premio Rippa dell'Ed. Zanichelli, vincendo un primo premio assoluto e due premi di categoria. Il lavoro 'Monumenti modenesi e inquinamento tra conservazione e restauro' ha vinto nel 2004 il premio Green Chemistry ed è stato scelto per rappresentare il Comune di Modena al Convegno nazionale ANCI di Firenze (premio per l'innovazione didattica); il seguito 'Clima, inquinamento, monumenti ieri e oggi' ha acquisito una menzione d'onore. Punti deboli: scarsa collaborazione tra docenti di classi diverse e la poca applicazione di laboratorio. Punti forti: la collaborazione di docenti di discipline molto diverse, la capacità di progettare e realizzare in gruppo ricerche importanti.

Numero studenti: circa 200 Numero classi: 8

Materiali prodotti: dispense, volume, opuscoli, libretti, presentazioni in Powerpoint e cartelloni, in parte sul sito del FERMI, nei 'progetti di educazione ambientale'.

Enti esterni: ARPA, CNR di Bologna, centro di educazione ambientale CEASS l'Olmo del Comune di Modena, Soprintendenza ai Beni Demoetnoantropologici di Modena e Reggio Emilia, Università degli studi di Modena, facoltà di Geologia; ITIS G. Guarini.

Docente referente: Brunella Balestrazzi

Provincia di Parma

Istituzione scolastica

LICEO D'ARTE 'P. TOSCHI'

Tel. 0521 282270

Viale Toschi, 1 - 43100 Parma

E-mail: sstoschi@provincia.parma.it

Titolo

MOBILITA-TI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Partecipazione delle classi a conferenze e incontri organizzate dall'Assessorato alla mobilità e all'ambiente del Comune di Parma.

Trattazione nelle classi dei temi: inquinamento atmosferico; effetti sulla salute; inquinamento atmosferico nella realtà di Parma; cambiamenti climatici; protocollo di Kyoto.

Realizzazione prodotti grafico-pittorici.

Partecipazione concorso Comune di Parma e Regione Emilia-Romagna (Bando regionale L.R. 15/96).

Programma INFEA di educazione ambientale.

Istituto capofila della rete di scuole di Parma: I.T.C. 'Bodoni'

Numero studenti: 320 Numero classi: 16

Materiali prodotti

Elaborati grafico-pittorici e tridimensionali polimaterici; pannelli decorativi; pieghevoli informativi

Enti esterni: Infomobility - Enaip.

Docenti referenti: Maria Rosa Sgherri, Adriana Ascenso

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE 'G. B. BODONI'

Viale Piacenza, 14 - 43100 Parma

Tel. 0521 986837

E-mail: bodoni@itcbodoni.pr.it

Titolo

EVOLUZIONI STORICHE E MORFOLOGICHE NEL GIARDINO DUCALE DI PARMA

Ultimo anno di svolgimento: 2003/04 *Durata:* oltre tre anni

Descrizione

Lo studio dei sistemi viventi evidenzia il ruolo determinante del tempo e dell'ambiente nella trasformazione delle strutture biologiche (tempo biologico) e quello della forma nelle relazioni tra le specie, uomo incluso.

Nel progetto viene recuperato il valore della qualità e dell'estetica della Natura e superata una visione puramente quantitativa dei fenomeni naturali. In alcune unità di lavoro l'osservazione scientifica diventa occasione di elaborazione creativa negli ambiti artistico e letterario. Vengono studiate le trasformazioni del giardino nelle variazioni del gusto, dei modelli e delle funzioni.

Alle unità di lavoro sono allegati gli apparati didattici contenenti le schede per gli allievi, le istruzioni e le indicazioni di carattere metodologico per i docenti.

Il lavoro comprende la versione in lingua inglese. Sono state previste consulenze di metodologia per i diversi gruppi ed il corso di formazione. All'interno dei Consigli di classe si è cercata l'interdisciplinarietà Si è fatta attenzione agli aspetti cognitivi dell'apprendimento. Le unità di lavoro 1) e 2) sono a cura dell'ITC Bodoni, le altre attribuzioni sono indicate nella sezione 'Enti esterni'.

L'ipermedia comprende otto unità di lavoro complesse corredate di guida: 1) Il Giardino Ducale di Parma; 2) Tempo biologico e tempo economico: la gestione del giardino; 3) La vita di un tiglio dal 1770 ai giorni nostri - Analisi dendrologica e correlazione con i principali eventi storici locali e nazionali; 4) La storia delle specie arboree del Giardino. Il tempo geologico; 5) Il tempo osservato; 6) L'identità ritrovata; 7) Storie sotterranee; 8) Il tempo nei luoghi, i luoghi nel tempo.

Numero studenti: alcune centinaia Numero classi: 20

Materiali prodotti: Ipermedia on line www.bodoni.pr.it e CD.

Enti esterni

Liceo d'Arte Toschi (5,6), ITAS Bocchialini (3,4), Liceo biologico Chieppi (7,8), Comune di Parma, Provincia di Parma, LIPU, Fondazione Cariparma, Università degli Studi di Parma, Museo di Storia Naturale.

Docente referente: Maria Cristina Baracchi

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE 'LEONARDO DA VINCI'

Via Toscana 10 - 43100 Parma

Tel. 0521 266511 E-mail: itis@itis.pr.it

Titolo

MOBILITA-TI

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

Il progetto è nato come 'annuale' su sollecitazione della Amministrazione Municipale.

Le attività hanno riguardato lo studio dell'inquinamento atmosferico della nostra città (Parma) ed in particolare dell'impatto ambientale dovuto alla presenza del nostro Istituto ed alla conseguente mobilità di personale, alunni e famiglie nei percorsi casa-scuola.

L'impatto è degno di studio, sia per il numero di persone coinvolto (circa 1360 alunni, 160 docenti, 65 ATA) sia per il notevole pendolarismo e per la localizzazione dell'Istituto che incentiva l'uso di mezzi propri, soprattutto a motore.

Il progetto si è avvalso del supporto dell'indirizzo Chimico Ambientale funzionante presso l'Istituto e dell'Università di Parma.

Sono stati effettuati incontri con esperti per gli aspetti climatologici e per il rapporto inquinamento-salute.

Si è inoltre elaborato un questionario che è stato somministrato a campioni significativi di docenti, non docenti ed alunni: in esso si chiedeva la distanza chilometrica, il mezzo di trasporto, il tipo di carburante ecc.

Il progetto è stato attuato da diverse scuola della città che però non hanno operato in rete.

Numero studenti: 50 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Questionario; materiale informativo Infomobility (Comune di Parma).

Enti esterni

Comune di Parma e Università degli studi.

Docenti referenti: Parisini; Spagnuolo

Istituzione scolastica

LICEO SCIENTIFICO 'G. ULIVI'

Viale Maria Luigia, 3 - 43100 Parma

Tel. 0521 235518

E-mail: ssulivi@provincia.parma.it

Titolo

MOBILITÀ, INQUINAMENTO ATMOSFERICO, MODIFICAZIONI CLIMATICHE E LORO INFLUENZA SULLA SALUTE DELL'UOMO

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: annuale

Descrizione

Il progetto nasce dall'esigenza di attualizzare l'insegnamento della chimica, introdurre il programma di scienze della terra dell'anno seguente, rispondere alle esigenze di sensibilizzazione sul tema dell'inquinamento atmosferico e orientare gli studenti verso una scelta più consapevole dell'indirizzo universitario; è stato svolto in collaborazione con il Comune di Parma - Assessorato Mobilità e Ambiente.

Materiali utilizzati: CD forniti da Legambiente; video di Tg1 Dossier di Domenica 30.01.2005; pubblicazioni recenti sul tema dei cambiamenti climatici; Internet.

Partecipazione a conferenze (2) e organizzazione di conferenze all'interno della scuola.

Visita alla stazione di ricerca CNR e meteorilevamento dell'Aeronautica militare di M.te Cimone (Sentiero dell'Atmosfera).

Punti di debolezza: ristrettezza dei tempi e complessità del coordinamento con i diversi soggetti istituzionali.

Numero studenti: 43 Numero classi: 2

Materiali prodotti

Gioco in scatola 'Piantalapiantalà' sulle tematiche ambientali per bambini dagli 8 ai 13 anni; il gioco è disponibile in formato 'oggetto' c/o Ass. Ambiente del Comune di Parma e c/o la scuola. Presentazioni PowerPoint.

Enti esterni:

Assessorato all'Ambiente e alla Mobilità del Comune di Parma; CNR-ISAC; Parco del Frignano (Mo); Università degli studi di Parma - Dipartimento di Scienze Ambientali; Medici oncologi della Casa di cura Città di Parma.

Docente referente: Maria Gabriella Dallafiora

Provincia di Piacenza

Istituzione scolastica

LICEO ARTISTICO 'B. CASSINARI'

Via Scalabrini, 71 - 29100 Piacenza

Tel. 0523 332640

E-mail: artisticopiacenza@yahoo.it

Titolo

CONCORSO 'L'ARIA CHE RESPIRIAMO'

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

Nell'ambito delle lezioni di chimica abbiamo raccolto in una presentazione di PowerPoint le lezioni svolte durante l'anno scolastico nelle classi terze sui temi dell'inquinamento atmosferico; poiché siamo un Liceo Artistico ci siamo soffermati non solo sull'origine degli inquinanti, sui problemi che l'inquinamento crea all'ambiente (piogge acide, effetto serra, buco nella fascia di ozono) e sui problemi che esso provoca alla salute dell'uomo, ma anche sulle conseguenze che l'inquinamento atmosferico ha sulle opere d'arte. Inoltre abbiamo allargato l'orizzonte anche alla progettazione architettonica, che dovrebbe tener conto non solo delle nuove tecnologie meno inquinanti, ma anche dell'esigenza di un'estetica ecologica, per un'architettura in armonia con la natura.

Il lavoro ha dato vita ad un CD con il quale abbiamo partecipato ad un concorso nazionale indetto dalla INCA, Consorzio Interuniversitario Nazionale 'La chimica per l'ambiente', legato all'Università di Venezia.

La presentazione di PowerPoint riassume le attività svolte in classe durante le lezioni di Chimica e di Discipline Architettoniche; essa è servita anche a riorganizzare e strutturare il lavoro svolto in classe nell'arco di vari mesi e servirà negli anni futuri come strumento didattico con il quale svolgere le lezioni sugli stessi argomenti.

Riassumere, riorganizzare ed illustrare le lezioni è stato sicuramente un utile esercizio di sintesi.

Numero studenti: 40

Numero classi: 3

Materiali prodotti

Presentazione di PowerPoint su CD.

Docente referente: Anna Cerati

Istituzione scolastica

LICEO GINNASIO 'M. GIOIA'

Viale Risorgimento, 1 - 29100 Piacenza Tel: 0523 306209 - Fax 0523 332233

E-mail liceogioia@liceogioia.it

Titolo

RILEVAZIONE DELL'OZONO ATMOSFERICO

Ultimo anno di svolgimento: 2001/02 Durata: annuale

Descrizione

L'attività svolta ha previsto l'utilizzo di un bioindicatore per la valutazione del grado di inquinamento dell'aria. Obiettivo è la rilevazione dell'ozono atmosferico. A questo scopo è stata utilizzata la Nicotiana tabacum nelle due varianti Bew 3 (sensibile all'ozono) e Belb (non sensibile all'ozono).

La rilevazione del danno fogliare, determinato dalla presenza di ozono, è stata fatta nel periodo giugno – settembre nella stazione di rilevamento sita presso l'edificio scolastico stesso, dagli alunni di una classe terza, che a rotazione hanno garantito la lettura del danno. Alla lettura erano presenti personale dell'ARPA di Piacenza e la docente di scienze della classe. La stima della concentrazione di ozono viene fatta per raffronto con una tabella di riferimento. I danni registrati sono stati utilizzati per una tesi di laurea e per una pubblicazione dell'ARPA.

Numero studenti: 20 Numero classi: 1

Materiali prodotti

Dispensa e CD.

Enti esterni:

ARPA di Piacenza.

Docente referente: Maddalena Bernardi

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE INDUSTRIALE 'MARCONI'

Via IV Novembre, 122 - Piacenza

Tel. 0523 714811 - E-mail: segr.amministrativa@isii.it

Titolo ARIA E SALUTE A PIACENZA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 *Durata:* annuale

Descrizione

I temi dell'inquinamento atmosferico e della qualità dell'aria nella città di Piacenza sono stati affrontati nell'ambito di una ricerca didattica che ha impegnato quattro classi dell'ISII 'G. Marconi' di Piacenza. Le classi coinvolte sono una 2a, una 4a ad indirizzo chimico, una 4a ad indirizzo informatico ed una 5a ad indirizzo chimico.

Il lavoro svolto è consistito in una ricerca bibliografica sulle caratteristiche, l'origine e gli effetti sulla salute dei principali inquinanti atmosferici e nella elaborazione grafica di dati relativi alle concentrazioni dei principali inquinanti rilevati a Piacenza.

I dati relativi all'inquinamento utilizzati sono le misure orarie rilevate in due stazioni della Rete di Monitoraggio della Qualità dell'aria della Provincia di Piacenza situate nel centro storico della città di Piacenza. Si riferiscono al periodo 2000-2005 e sono stati forniti dal Dipartimento Tecnico di ARPA - sezione di Piacenza. Gli inquinanti rilevati sono: NO, NO₂, CO, SO₂, O₃ e particolati fini (PM10).

A partire dai dati orari sono state calcolate le medie giornaliere, settimanali e mensili e realizzati i relativi grafici; sono state esaminate le variazioni dei alcuni inquinanti nell'arco della giornata ed in giornate differenti; sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra le concentrazioni degli inquinanti ed alcune variabili meteorologiche quali la velocità del vento e la temperatura al suolo (dati ARPA).

È stato infine tentato un confronto, che deve essere considerato del tutto preliminare, tra le concentrazioni medie giornaliere di alcuni inquinanti (PM10 e ozono) e il numero dei ricoveri giornalieri per patologie respiratorie nell'Ospedale di Piacenza (dati forniti dall'AUSL di Piacenza – ufficio statistico).

I dati raccolti e le elaborazioni sono stati riassunti in una presentazione multimediale.

La ricerca è stata svolta, in modo coordinato, nell'ambito delle attività curricolari delle seguenti discipline: Chimica, Informatica, Microbiologia, Scienze, Statistica, Sistemi.

Numero studenti: 70 Numero classi: 4

Materiali prodotti

Presentazione multimediale. Futura pubblicazione sul sito internet della scuola www.isii.it - sezione progetti.

Enti esterni: ARPA Emilia-Romagna (sezione di Piacenza), ASL Piacenza

Docente referente: Antonella Bonatti, Gianluigi Malchiodi

Provincia di Ravenna

Istituzione scolastica

LICEO CLASSICO 'E. TORRICELLI'

Via S. Maria dell'Angelo 1 - Faenza (Ra)

Tel. 0546 21740

E-mail: segreteria@liceotorricelli.it

Titolo

LABORATORIO DI METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Dall'anno 2000 è iniziata la collaborazione con l'Osservatorio Meteorologico cittadino che da un secolo effettua la rilevazione dei dati meteorologici.

Grazie a questa collaborazione è stato possibile rendere disponibili i dati in tempo reale, sia tramite un sito Internet, sia tramite un terminale video, situato nel centro storico della città. Il sito Internet viene consultato giornalmente da diversi utenti per un totale di oltre 40.000 accessi all'anno.

I dati meteorologici sono una fonte particolarmente utile, anche a scopo didattico, per effettuare statistiche di diverso tipo (medie giornaliere, mensili, annuali, poliennali) e ricavare utili considerazioni sugli andamenti climatici.

Numero studenti: 20 Numero classi: 1

Materiali prodotti

I dati raccolti ed elaborati sono archiviati sul sito Internet www.meteofa.org e sono disponibili sia in formato testo sia in forma grafica.

Enti esterni: Osservatorio Meteorologico 'E. Torricelli' di Faenza (Ra).

Docente referente: Antonio Dal Borgo

Provincia di Reggio Emilia

Istituzione scolastica

LICEO CLASSICO - SCIENTIFICO 'ARIOSTO - SPALLANZANI'

Piazzetta Pignedoli, 2 - 42100 Reggio Emilia

Tel 0522 438046 - Fax 0522 438841

E-mail: segreteria@liceoariostospallanzani.it

Titolo

SVILUPPO SOSTENIBILE - INQUINAMENTO DELL'ARIA

Ultimo anno di svolgimento: 2004/05 Durata: oltre triennale

Descrizione

Il progetto è rivolto agli studenti delle classi seconde liceo della sezione classica ed è parte integrante del programma di Scienze Naturali.

Viene realizzato dai docenti di scienze in collaborazione con ARPA, sezione provinciale di Reggio Emilia.

Lo scopo dell'attività è di sensibilizzare gli studenti alle tematiche ambientali, con particolare riferimento all'inquinamento dell'aria.

Gli studenti acquisiscono informazioni sullo stato dell'aria della propria città, sulle iniziative che le amministrazioni pubbliche mettono in atto, sulla rete di rilevamento degli inquinanti, sulle sostanze rilevate e sui danni alla salute che possono provocare, sui contributi che i cittadini possono dare.

Numero studenti: 85 Numero classi: 4

Enti esterni: ARPA

Docente referente: Giovanni Baricca

Provincia di Rimini

Istituzione scolastica

ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE 'A. SERPIERI'

Via Sacramora, 52 - 47811 Viserba di Rimini (Rn)

Tel. 0541 733150 - Fax.0541 449690

E-mail: serpieri@rimini.com

Titolo

AMBIENTE SALUTE ENERGIA

Ultimo anno di svolgimento: 2002/03 Durata: triennale

Descrizione

Gli allievi del Liceo artistico hanno considerato l'ambiente scolastico e il contesto spaziale nel quale è inserito, condiviso con l'Istituto Einaudi, le modalità d'uso, gli aspetti comportamentali dentro e intorno questi luoghi, la presenza del verde, le possibilità fruitive di alcune zone marginali. Le proposte di progetto si sono articolate su microarchitetture di ricomposizione ambientale ed ipotesi di inserimento di arbusti e piante ornamentali.

Gli allievi del Liceo scientifico hanno: analizzato la qualità dell'aria della zona di Viserba e del parco Marecchia mediante lo studio dei licheni come bioindicatori; riconosciuto le relazioni tra la fisiologia umana e il comfort abitativo in termini di efficienza dei sistemi nervoso, endocrino ed immunitario in relazione a microclima, cubatura ambientale e qualità dell'aria, illuminazione e soleggiamento degli interni abitativi; verificato, visitando case-clima a Bolzano e in alcune città dell'Austria, la possibilità di vivere in abitazioni a basso consumo energetico.

Gli obiettivi formativi specifici sono stati raggiunti: acquisire il concetto di sviluppo sostenibile; comprendere la complessità dell'ecosistema urbano; acquisire il concetto di qualità della vita urbana e dei fattori che la determinano; conoscere le competenze del Ministero dell'Ambiente, delle Regioni, dei Comuni, dell'ARPA; conoscere la V.I.A.; individuare i problemi della zona in cui è il Polo Scolastico e ipotizzare soluzioni; individuare gli inquinanti esterni e indoor.

Metodologie: lezioni interattive, lavori di gruppo, incontri con esperti, tecnici e politici, uscite sul territorio, viaggio d'istruzione, esercitazioni di laboratorio.

Rete di scuole: ITG Belluzzi di Rimini (scuola capofila); ITI 'da Vinci', L.s. Einstein', IPC Einaudi, IPSSAR Malatesta di Rimini.

Numero studenti: 56 Numero classi: 3

Materiali prodotti Immagini ed elaborati grafici (in maggior parte realizzati al computer) sono stati digitalizzati ed archiviati in CD-Rom.

Enti esterni: Provincia di Rimini, Studio Brighi, Comune di Bolzano, docenti degli studi di bioarchitettura delle città di Bolzano e di Bregenz, ARPA, Legambiente.

Docente referente: Maria Teresa Renzi

Istituzione scolastica

ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE 'RINO MOLARI'

Via Felice Orsini, 19 - 47822 Santarcangelo di Romagna (Rn)

Tel. 0541 625051 - Fax.0541 621623

E-mail: molari@rimini.com

Titolo

ARIA: BIOMONITORAGGIO E BIOINDICATORI

Ultimo anno di svolgimento: 2001/02 Durata: annuale

Descrizione

Il progetto si propone di far acquisire consapevolezza delle condizioni ambientali della Terra vista come sistema integrato. Attraverso lo studio della qualità dell'aria si cerca di far crescere l'attenzione sui fattori che danneggiano o favoriscono lo stato di salute del pianeta e del benessere individuale, sia in senso globale che locale, in modo da permettere ai ragazzi di effettuare scelte consapevoli. Questa attività didattica tenta di promuovere spirito di osservazione, manualità, ricerca, coinvolgimento nei confronti dell'ambiente e responsabilizzazione di fronte a compiti specifici.

Modalità di attuazione del progetto

- Identificazione della problematica e approfondimenti delle tematiche relative all'atmosfera attraverso discussioni guidate, lezioni e incontri con esperti esterni.
- Attività in laboratorio legate all'uso delle carte e di strumenti per valutare parametri fisici legati al tempo meteorologico e la clima.
- Raccolta, analisi e rielaborazione di dati relativi al tempo e al clima, anche dell'inverno 2001/02, ed alla situazione della qualità dell'aria nelle città italiane.
- Conoscenza di siti in cui reperire dati e informazioni attendibili sull'ambiente.
- Uscite didattiche mirate (visita alla sede ARPA a Rimini e alle centraline di monitoraggio e di biomonitoraggio dell'aria).
- Biomonitoraggio dello stato di qualità dell'aria utilizzando i licheni e tabacco.
- Conoscenza del territorio riminese e degli alberi secolari presenti e catalogati dalla provincia.
- Rielaborazione dei dati raccolti e delle foto attraverso lavori di gruppo e tecniche multimediali nella produzione di una presentazione con PowerPoint.

Questo lavoro era inserito nel progetto europeo Comenius 'Scuole salubri in un ambiente salubre' che prevedeva la valutazione del progetto con i paesi partner e lo scambio di informazioni sui materiali e metodi fra insegnanti partecipanti. Hanno partecipato a questa attività Belgio, Grecia, Portogallo, Repubblica Ceca.

Numero studenti: 23 Numero classi: 1

Materiali prodotti: CD; Presentazione in Powerpoint

Enti esterni: Legambiente di Rimini - Provincia di Rimini 'Progetto Infea'.

Docente referente: Simona Faedi

Tab. 13 - Prospetto riassuntivo delle esperienze presentate, per ordine di scuola e per provincia

SCUOLE SECONDARIE DI PRIMO GRADO

Provincia di Bologna

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Scuola Sec. di I Grado Paritaria 'S. Teresa	Conosciamo l'ambiente e il territorio in cui
del Bambin Gesù'	viviamo e le soluzioni per la salvaguardia
Istituto Salesiano 'Beata Vergine di San	Labosc - laboratorio osservazioni scientifiche
Luca' - Scuola Paritaria Sec. di I Grado	
Scuola Secondaria di I Grado 'L. Moruzzi'	Globeseren@
(Associata all'I.C. Ceretolo)	
Istituto Comprensivo N. 9	Progetto Globe
Istituto Comprensivo N. 16	Vivi una città seren@
Istituto Comprensivo N. 4 - Imola	Licheni: i bioindicatori della qualità dell'aria
Istituto Comprensivo N. 7 - Imola	L'ambiente e i laboratori per la qualità dell'aria
Istituto Comprensivo Centro - Casalecchio	Globe seren@
Istituto Comprensivo di Crespellano	Studio della qualità dell'aria con l'utilizzo dei licheni
Istituto Comprensivo di Castel Maggiore	Ambiente 2005
Istituto Comprensivo di Zola Predosa	Rete Globeseren@
Istituto Comprensivo di Granarolo	Globeseren@ a granarolo
Istituto Comprensivo Ozzano dell'Emilia	Bioindicatori di qualità dell'aria ed elementi di
	biodiversità
Istituto Comprensivo Bazzano-Monteveglio	Clima e risparmio energetico

Provincia di Modena

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Scuola Secondaria di I Grado 'L.A. Muratori'	Meteociliege
- Vignola	
Scuola Secondaria di I Grado - I.C. 'Martiri	I licheni come bioindicatori per il monitoraggio
della Libertà' - Zocca	dell'inquinamento atmosferico
Istituto Comprensivo 'Pacinotti' - S. Cesario	I licheni: bioindicatori e qualità dell'aria

Provincia di Parma

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Scuola Paritaria di I Grado Laura Sanvitale	Che albero è questo?
Scuola Secondaria di I Grado 'Parmigianino'	Ciao mamma, vado a scuola - piccoli passi per
	liberare l'aria
Istituto Comprensivo 'Ettore Guatelli' -	Tempo e clima
Collecchio	_

Provincia di Piacenza

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Scuola Secondaria di I Grado 'Dante-Carducci'	W la bici
Istituto Comprensivo di Rivergaro e Gossolengo	I segni del cielo
Istituto Comprensivo di Podenzano	Laboratorio di meteorologia

Provincia di Ravenna

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto Comprensivo 'Europa' - Faenza	Aria intorno a noi - determinazione
	ponderale del particolato atmosferico
Istituto Comprensivo 'Francesco D'Este' - Massa	Aria: amica della vita - avere aria per le
Lombarda	mani
Istituto Comprensivo 'C. Bassi' - Castelbolognese	Scienze in rete
Istituto Comprensivo S.Pietro in Vincoli	Globeseren@
Istituto Comprensivo 'Carchidio-Strocchi'	La scienza e le scuole in rete (Cap. 3)

Provincia di Reggio Emilia

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto Comprensivo 'I. Calvino' - Fabbrico	Il biomonitoraggio della qualità dell'aria a
	fabbrico attraverso lo studio dei licheni
Istituto Comprensivo di Reggiolo	Comunicare la scienza: studio dei fattori
	climatici. 'con la testa fra le nuvole'

Provincia di Rimini

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto Comprensivo Mondaino - Scuola	Obiettivo aria
Secondaria di I grado	
Scuola Media 'Alighieri-Fermi'	Il soffio del mondo

SCUOLE SECONDARIE DI SECONDO GRADO

Provincia di Bologna

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto di Istruzione Superiore 'Crescenzi-	Progetto Scuolambiente
Pacinotti'	
Liceo Scientifico 'Copernico'	Bioindicatori per il controllo dell'ambiente
IPSAR 'B. Scappi' - Castel San Pietro Terme	La storia della piazza, la piazza e la storia
Istituto Tecnico Industriale 'O. Belluzzi'	La rete Globeseren@ (Cap. 3)
	Progetto Zola
Istituto di Istruzione Superiore 'F.	Qualità dell'aria e salute: i licheni guardiani
Alberghetti' - Imola	dell'aria (Cap. 3)
Istituto Tecnico Industriale 'Aldini Valeriani'	Misura dell'emissione di idrocarburi aromatici
	nei gas di scarico dei motori a due tempi (Cap. 3)

Provincia di Ferrara

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto Tecnico Commerciale 'Vincenzo	Il trucco: rischi e conseguenze dell'elaborazione
Monti'	dello scooter

Provincia di Forlì-Cesena

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto Istruzione Superiore 'Roberto	Tecnico per il monitoraggio e l'analisi della
Ruffilli' - Forlì	qualità dell'ambiente
Istituto Tecnico Aeronautico 'Francesco	Attività didattica curricolare di meteorologia ed
Baracca' - Forlì	esercitazioni

Provincia di Modena

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto di Istruzione Superiore 'A.F.	1) Fattori di inquinamento atmosferico
Formiggini' - Sassuolo	2) Progetto di educazione ambientale: i licheni
	come bioindicatori
Liceo Scientifico 'Alessandro Tassoni'	Eduspace
Istituto Tecnico Attività Sociali 'F. Selmi'	Caratterizzazione delle emissioni gassose
Istituto di Istruzione Superiore 'Marconi' –	Tempo meteorologico e clima - il 2003 a Pavullo
Pavullo nel Frignano	nel Frignano
Istituto Tecnico Industriale 'Alessandro	Gitas 'giovani informati su traffico ambiente
Volta'	salute' - la qualità dell'aria

Istituto di Istruzione Sup. 'Ignazio Calvi' -	Progetto Ceres s'cool
Finale Emilia	
Istituto I.T.I.P. 'E. Fermi'	Respiriamo: in giro per Modena alla ricerca di
	aria pulita

Provincia di Parma

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Liceo d'arte 'P. Toschi'	Mobilita-ti
Istituto Tecnico Commerciale 'G. B. Bodoni'	Evoluzioni storiche e morfologiche nel giardino
	ducale di Parma
Istituto Tecnico Industriale 'Leonardo da Vinci'	Mobilita-ti
Liceo Scientifico 'G. Ulivi'	Mobilità, inquinamento atmosferico,
	modificazioni climatiche e loro influenza sulla
	salute dell'uomo

Provincia di Piacenza

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Liceo Artistico 'B. Cassinari'	Concorso 'l'aria che respiriamo'
Liceo Ginnasio 'M. Gioia'	Rilevazione dell'ozono atmosferico
Istituto di Istruzione Industriale 'Marconi'	Aria e salute a Piacenza

Provincia di Ravenna

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Liceo Classico 'E. Torricelli' - Faenza	Laboratorio di meteorologia e climatologia
Istituto Tecnico Agrario Statale 'L. Perdisa'	Raccolta, elaborazione e pubblicazione di dati
(aggregato all'Istituto Tecnico Statale per	agrometeorologici (Cap. 3)
Geometri 'C. Morigia')	

Provincia di Reggio Emilia

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Liceo Classico-Scientifico 'Ariosto-Spallanzani'	Sviluppo sostenibile - inquinamento dell'aria

Provincia di Rimini

Istituzione scolastica	Titolo del progetto
Istituto di Istruzione Superiore 'A. Serpieri' -	Ambiente salute energia
Viserba	
Istituto Professionale di Stato per l'Industria e	Progetto 'Scooter a metano' (Cap. 3)
l'Artigianato 'Leon Battista Alberti'	
Istituto tecnico commerciale 'Molari' -	Aria: biomonitoraggio e bioindicatori
Santarcangelo di Romagna	

a cura di Antonio Testoni

Didattica delle scienze

- A.A.V.V., L'educazione scientifica di base, La Nuova Italia, Firenze, 1979.
- A.A.V.V., Scienza e scuola di base, Istituto Enciclopedia Italiana, Roma, 1979.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze*. *Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Bollati Boringhieri, Torino, 1995.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare scienze*, Bollati Boringhieri, Torino, 2000.
- E. Aquilini, *Il ruolo del linguaggio nel passaggio dai concetti di senso comune ai concetti scientifici*, Insegnare, n. 11/12, 1999, pp. 34-37.
- E. Aquilini, *Il ruolo del concetto di gas nella costruzione delle basi della chimica*, La Chimica nella Scuola, n. 5, 2000, pp.149-152.
- E. Aquilini, *Quale concetto di acido e base nella parte terminale dell'obbligo scolastico?*, La Chimica nella Scuola, n. 3, 2001, pp. 96-99.
- E. Aquilini, Gli insegnanti e le scienze, in Scuola e Didattica, 2003, n. 6, pp. 19-22.
- M. Arcà, P. Guidoni, P. Mazzoli, *Insegnare scienza*, Angeli, Milano, 1982.
- M. Arcà, P Guidoni, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, Emme-Petrini, Torino, 1987.
- A. B. Arons, Guida all'insegnamento della fisica, Zanichelli, Bologna, 1992.
- A. Bagni, *Il bisogno di senso dell'insegnamento scientifico*, in R. Conserva (a cura di), *Il nuovo esame di stato*, Zanichelli, Bologna, 1999. pp. 62-64.
- V. Balzani, M. Venturi, *Chimica*, La Scuola, Brescia, 2000.
- L. Barsantini, Sull'insegnamento della fisica, Insegnare, n. 5, 2000, pp. 42-45.
- L. Barsantini, *I fenomeni termici*, Insegnare, n. 7/8, 2000, pp. 43-48.
- L. Barsantini, C. Fiorentini, L'insegnamento scientifico verso un curricolo verticale. Volume primo. I fenomeni chimico-fisici, IRRSAE Abruzzo, L'Aquila, 2001.
- D. Basosi, L. Lachina, *L'insegnamento della biologia nella scuola dell'obbligo*, Insegnare, n. 9, 2000, pp. 43-46.
- D. Basosi, *Perché le piante*, in Naturalmente, 2003, n. 2, pp. 29-31.
- L. Bastino, B. Sandretto, E. Roletto, *Imparare le scienze, imparare a scrivere: un'interdisciplinarità funzionale*, Insegnare, n. 1, 1997, pp. 42-49.
- C. Bernardini, Che cos'è una legge fisica?, Editori Riuniti, Roma, 1983.

- A. Borsese, C. Fiorentini, E. Roletto, Formule sulla leggibilità e comprensione del testo. Considerazioni su una ricerca relativa ai manuali di scienze della scuola media, Scuola e Città n. 12, 1996, pp. 524-527.
- F. Cambi, C. Fiorentini, F. Gori (a cura di), L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare percorsi didattici nella scuola dell'autonomia. II Itinerari di sperimentazione in classe. Area Scientifica, Le Monnier, Firenze, 2001.
- P. Cancellieri, P. Saracino, E. Torracca, *Definizioni operative di sistema omogeneo e di so-stanza pura*, Didattica delle Scienze, n. 113, 1984. p. 9.
- G. Cavallini, La formazione dei concetti scientifici, La Nuova Italia, Firenze, 1995.
- M. Ciardi, Il ruolo della storia e dell'epistemologia nella costruzione di un curricolo verticale: per una storia della didattica della chimica e una rivalutazione del ruolo della cultura chimica in Italia, La Chimica nella Scuola, 2002.
- G. Cortellini, A. Mazzoni, L'insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume secondo. I fenomeni biologici, IRRSAE Abruzzo, L'Aquila, 2002.
- G. Cortini (a cura di), Le trame concettuali delle discipline scientifiche. Problemi dell'insegnamento scientifico, La Nuova Italia, Firenze, 1985.
- R. Driver, L'allievo come scienziato? La formazione dei concetti scientifici nei preadolescenti, , Zanichelli, Bologna 1988.
- P. Falsini, *Tempi distesi e scelta dei contenuti per rinnovare l'insegnamento scientifico*, in Naturalmente, 2003, n. 3, pp. 40-42.
- P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in La Fisica nella Scuola, 2004, n. 1, pp. 13-18.
- C. Fiorentini, *La prima chimica*, Angeli, Milano, 1990.
- C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo di scienze?*, in F. Cambi (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola* dell'autonomia, Le Monnier, Firenze, 2000, pp. 275-290.
- C. Fiorentini, *Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curricolo chimico*, in Rassegna, 2000, n. 12, pp.28-42.
- C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curricolo di chimica*, in La Chimica nella Scuola, 2000, n.5, pp. 158-168.
- N. Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze, 1991.
- M. Laeng, Insegnare scienze, La Scuola, Brescia, 1998.
- R. Karplus, H. D. Thier, *Rinnovamento dell'educazione scientifica elementare*, Zanichelli, Bologna,1971.
- M. Mayer, Conoscenza scientifica e conoscenza di senso comune, CEDE, Frascati, 1987.
- P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, Nuova Secondaria, n. 5, 1995, pp. 21-24.
- P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, Nuova Secondaria, n. 2, 1996, pp. 84-86.

- P. Mirone, *Considerazioni sul concetto di reazione chimica*, La Chimica nella Scuola, n. 2, 1998, pp. 49-51.
- P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?*, La Chimica nella Scuola, n. 3, 1999, pp. 67-70.
- P. Mirone, E. Roletto, *Sostanze, miscele, reazioni: un'indagine sulle concezioni delle matricole di chimica*, La Chimica nella Scuola, n. 4, 1999, pp. 116-121.
- F. Olmi, *Ripensare i fondamenti dell'insegnamento della chimica al biennio*, La Chimica nella Scuola, n. 1, 1997, pp. 9-13.
- F. Olmi, Una sfida da raccogliere: l'esistenza di un più efficace approccio ai saperi scientifici fin dai primi livelli scolari, in Naturalmente, 2002, n. 4, pp. 31-39.
- L. Paoloni, Nuova didattica della chimica, Bracciodieta, Bari, 1982.
- C. Pontecorvo (a cura di), Conoscenza scientifica e insegnamento, Loescher, Torino, 1983.
- G. Sandrone Boscarino, La didattica laboratoriale, Scuola e didattica, n. 9, 2004, pp. 50-58.
- J. J. Schwab, P. F. Brandwein, L'insegnamento della scienza, Armando, Roma, 1965.
- S. Tamburini, *Cambiare la scuola, in America*, Sapere, n. 5, 1997, pp. 45-51.
- E. Torracca, *Una dimensione storica nell'insegnamento della chimica?*, Epsilon, n. 2, 1994, pp. 17-22.
- M. Vicentini, M. Mayer, Didattica della fisica, La Nuova Italia, Firenze, 1996.

Epistemologia, Storia della Scienza

AA.VV., Storia della scienza moderna e contemporanea, Torino, UTET, 1988.

- F. Abbri, Le terre, l'acqua, le arie, Il Mulino, Bologna, 1984.
- E. Agazzi, Il bene, il male e la scienza, Le dimensioni etiche dell'impresa scientificotecnologica, Rusconi, Milano, 1992.
- D. Antiseri, Jenner e la ricerca sulle cause e gli effetti del vaiolo vaccino, La Scuola, Brescia, 1981.
- G. Bachelard, L'intuizione dell'istante. La psicanalisi del fuoco, Dedalo, Bari, 1973.
- G. Bachelard, *Il materialismo razionale*, Dedalo, Bari, 1975.
- G. Bachelard, *Il razionalismo applicato*, Dedalo, Bari, 1975.
- M. Bersanelli, M. Gargantini, Solo lo stupore conosce. L'avventura della ricerca scientifica, Rizzoli, Milano, 2003.
- C. Canguilhem, *Il normale e il patologico*, Einaudi, Torino, 1998.
- N. Caramelli (a cura di), Storiografia delle scienze e storia della psicologia, Il Mulino, Bologna, 1979.
- L. Cerruti, *Bella e potente. La chimica del 900 fra scienza e società*, Editori Riuniti, Roma, 2003.
- M. Ciardi, Breve storia delle teorie della materia, Carrocci, Firenze, 2003.
- Y. Elkana, La scoperta della conservazione dell'energia, Feltrinelli, Milano, 1977.
- P. K. Feyerabend, Scienza come arte, Laterza, Bari, 1984.

- P. K. Feyerabend, Contro il metodo, Feltrinelli, Milano, 2002.
- C. C. Gillespie, *Il criterio dell'oggettività*. *Interpretazione storica del pensiero scientifico*, Il Mulino, Bologna, 1981.
- A. Gilles, G.Giorello, La filosofia della scienza nel XX secolo, Laterza, Bari, 1995.
- G. Giorello, Introduzione alla filosofia della scienza, Bompiani, Milano, 1994.
- J. C. Greene, *La morte di Adamo. L'evoluzionismo e la sua influenza sul pensiero occidentale*, Feltrinelli, Milano, 1971.
- A. R. Hall, La rivoluzione scientifica 1500-1800, Feltrinelli, Milano, 1981.
- J. Heilbron, Alle origini della fisica moderna. Il caso dell'elettricità, Il Mulino, Bologna, 1984.
- G. Holton, La Lezione di Einstein. In difesa della scienza, Feltrinelli, Milano, 1997.
- G. Holton, Scienza, educazione e interesse pubblico, Il Mulino, Bologna, 1990.
- A. Koyrè, Dal mondo del pressappoco al mondo della precisione, Einaudi, Torino, 1967.
- T. S. Kuhn, La struttura delle rivoluzioni scientifiche, Einaudi, Torino, 1969.
- T. S. Kuhn, La rivoluzione copernicana, Einaudi, Torino,1972.
- T. S. Khun, *La tensione essenziale: tradizione e innovazione nella ricerca scientifica* in *La tensione essenziale*, Einaudi, Torino, 1985.
- T. S. Kuhn, La tensione essenziale, Einaudi, Torino, 1985.
- M. Iammer, Storia del concetto di spazio, Feltrinelli, Milano, 1963.
- M. Jammer, Storia del concetto di forza, Feltrinelli, Milano, 1971.
- M. Jammer, Storia del concetto di massa, Feltrinelli, Milano, 1974.
- E. Lakatos, A. Musgrave, Critica e crescita della conoscenza, Feltrinelli, Milano, 1976.
- E. Mayr, Storia del pensiero biologico, Bollati Boringhieri, Torino, 1990.
- D. Park, Natura e significato della luce, McGraw-Hill, Milano, 1998.
- K. R. Popper, Congetture e confutazioni, Il Mulino, Bologna, 1972.
- L. Preta, (a cura di), Immagini e metafore della scienza, Laterza, Bari, 1992.
- H. Read, Geologia: introduzione alla storia della Terra, Laterza, Bari, 1954.
- G. Rocke, *Chemical atomism in the nineteenth century,* Ohio State University Press, Columbus, 1986.
- J. I .Solov'ev, L'evoluzione del pensiero chimico dal 600 ai nostri giorni, Milano, 1976.
- P. Rossi, La nascita della scienza moderna in Europa, Laterza, Bari, 1997.
- G. G. Simpson, Evoluzione. Una visione del mondo, Sansoni, Firenze, 1972.
- M. M. Waldrop, Complessità. Uomini e idee al confine tra ordine e caos, Instar, Torino, 1996.

Educazione Ambientale

- AA.VV., La sostenibilità si può fare, VAS, Germania, 2005.
- AA.VV., Quaderni di Pracatinat, Regione Piemonte, Torino.
- G. Bateson, Mente e natura, Adelphi, Milano, 1984

- G. Bateson, Verso un'ecologia della mente, Adelphi, Milano, 1984
- M. Bertacci, Ecologia-Uomo, natura, mondo della produzione, Tecnodid, Napoli, 1992.
- M. Bertacci, Fare ecologia nella scuola elementare, Giunti-Lisciani, Teramo, 1989.
- M. Bertacci (a cura di), L'educazione ambientale nella scuola dell'autonomia, Cappelli, Bologna, 2000.
- M. Bertacci (a cura di), *Una scuola per l'ambiente*, Cappelli, Bologna, 2002.
- M. Bertacci (a cura di), *Una rete di scuole per lo sviluppo sostenibile*, Quaderni INFEA Emilia-Romagna, Bologna, 2004.
- P. Bonfante, F. Frabboni, L. Guerra, C. Sorlini, *Manuale di educazione ambientale*, Laterza, Bari, 1993.
- G. Calcherutti, A. Crippa, Oltre la solitudine nella scuola, Franco Angeli, Milano, 1997.
- M. Callari Galli, F. Cambi, M. Ceruti, Formare alla complessità, prospettive dell'educazione nelle società globali, Carocci, Roma, 2003.
- V. Cogliati Dezza (a cura di), Un mondo tutto attaccato, Franco Angeli, Milano, 1994.
- F. Frabboni, G. L. Zucchini, L'ambiente come alfabeto, La Nuova Italia, Firenze, 1985.
- H. Gardner, La realtà inventata, Feltrinelli, Milano, 1988.
- F. Gattini, D. Salvatori (a cura di), *Schede per l'ambiente*, IRRSAE Toscana, Le Monnier, 1991.
- ISFOL, R. Ammassari, M. T. Palleschi, *Educazione Ambientale: gli indicatori di qualità*, Franco Angeli, Milano, 1991.
- B. Losito, M. Mayer (a cura di), Educazione ambientale: una sfida per l'innovazione, rapporto nazionale Ensi, Frascati, Cede, 1995.
- M. Mayer (a cura di), *Qualità della scuola ed ecosostenibilità*, Franco Angeli, Milano, 2003.
- M. Mayer (a cura di), *Una scuola per l'ambiente. Risultati di una ricerca promossa dall'OCSE*, I Quaderni di Villa Falconieri, n.18, Frascati, Cede.
- C. Marchi Trevisi (a cura di), *Educazione ambientale e area di progetto*, IRRSAE Emilia-Romagna, M.P.I., Editcomp, Bologna, 1994.
- H. Maturana, F. Varela, L'albero della conoscenza, Garzanti, Milano, 1987.
- E. Morin, *La vita della vita*, Feltrinelli, Milano, 1987.
- E. Morin, *Il pensiero ecologico*, Hopefulmonster, Firenze, 1988.
- E. Morin, *I sette saperi necessari all'educazione del futuro*, Raffaello Cortina, Milano, 2001.
- R. Semeraro, Educazione ambientale, ecologia, istruzione, Franco Angeli, Milano, 1988.

a cura di Maria Teresa Bertani¹

Si presentano qui alcune indicazioni che si credono utili per approfondire qualcuno dei temi illustrati nel volume, per reperire dati o per ottenere spunti di ricerca.

Non si ha alcuna pretesa di completezza; la sitografia potrà essere utilizzata per ottenere *links* appropriati.

Numerosi altri siti sono indicati all'interno dei singoli capitoli; in particolare alcuni dei progetti presentati dalle scuole sono reperibili sui siti delle stesse istituzioni scolastiche.

Enti di riferimento

Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna http://www.istruzioneer.it

ISAC-CNR (Consiglio Nazionale delle ricerche - Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima; in inglese) http://www.isac.cnr.it

IRRE E-R (Istituto regionale di ricerca educativa - Emilia-Romagna) http://www.irreer.it

Ministero dell'ambiente http://www.minambiente.it/st/default.aspx

Agenzia europea dell'ambiente http://local.it.eea.eu.int/

Clima e previsioni meteorologiche

Servizi Meteorologici Regionali

Sito dell'ARPA Emilia-Romagna. Dati ambientali aggiornati relativi a qualità dell'aria, PM10 (polveri fini), Ozono, Pollini, Elettrosmog, Qualità delle acque e i dati del Servizio Meteorologico Regionale (precipitazione; previsioni sul mare; previsioni su base

¹ Collaborazione di Andrea Buzzi, Stefano Marani, Stefano Versari.

regionale. Presenta inoltre le pubblicazioni Arpa, ad esempio la Relazione annuale sullo stato dell'Ambiente in Emilia-Romagna e l'Annuario regionale sui dati ambientali. http://www.arpa.emr.it/

Previsioni nell'area delle Dolomiti http://www.arpa.veneto.it/nivometeo.htm

Sardegna - Servizio Agrometeorologico Regionale http://www.sar.sardegna.it/

Osservatorio Meteorologico Regionale Friuli Venezia Giulia http://www.osmer.fvg.it/

ARPAV - Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto http://www.arpa.veneto.it/

Arpa Liguria - Meteo Liguria http://www.meteoliguria.it/

SIAS - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano http://www.sias.regione.sicilia.it/

Sito ufficiale dell'Arpa Piemonte http://www.arpa.piemonte.it/

Sito dell'ARPA della Lombardia http://www.arpalombardia.it/new/live/index.asp

Sito web del LaMMA, Regione Toscana http://www.lamma.rete.toscana.it/

Centro di Ecologia e Climatologia - Osservatorio Geofisico Sperimentale Macerata http://www.geofisico.it/

Siti nazionali

Società Meteorologica Italiana http://www.nimbus.it/ Portale italiano della meteorologia http://www.meteoam.it/

Dati meteorologici di ogni genere http://www.meteoclick.it/

Dati di tutte le stazioni meteo italiane in tempo reale http://www.wunderground.com/global/IY.html

Sito amatoriale http://www.meteogiornale.it/

Sito svizzero http://www.meteoswiss.ch/web/it/meteo.html

Ufficio federale svizzero dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/it/fachgebiete/index.html

Sito tedesco, molto completo per informazioni e previsioni meteo http://www.wetterzentrale.de/

Centro Europeo di Reading per le previsioni a medio termine http://www.ecmwf.int/

Dati radar in tempo reale http://www.girovaghi.it/METEO/temporali.htm

Osservazioni e previsioni; immagini dai satelliti http://it.allmetsat.com/index.html

Nubi

Atlante delle nubi http://www.meteorologia.it/Fotoatlante/atlante%20delle%20nubi.htm

Atlante delle nubi - Centro geofisico prealpino Varese http://www.astrogeo.va.it/nubi/

Costituzione e tipologia delle nubi http://www.nonsoloscuola.org/Software/nubi/nubi.htm

Atlante delle nubi (in inglese) http://www.kwos.org/CD_AtlanteNubi/

Nautica On Line - Le nuvole raccontano http://www.nautica.it/meteo/nuvole/

Atlante delle Nubi - Rivista ligure di Meteorologia http://www.rlmet.it/atlante/default.htm

(in inglese, molto ricchi di foto)
http://australiasevereweather.com/
http://ozthunder.com/photo/photo.htm#CLOUDS
http://www.uen.org/utahlink/weather/clouds/cloud id.html

Qualità dell'aria

In inglese, dati http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg.html

In inglese, sito del Global Atmosphere Watch http://www.wmo.int/web/arep/gaw/gaw_home.html

Dati sull'inquinamento dell'aria http://www.liberiamolaria.it/default.asp

Didattica delle discipline scientifiche e di scienze dell'ambiente - Documenti utili per approfondimenti

CNR-IRPPS, Le risorse umane nella scienza, aprile 2004, http://www.irpps.cnr.it/riscon/download/Rapporto_CNR_fin.pdf

G. Carrada, Comunicare la scienza, http://www.con-scienze.it/CPS_doc/carrada/Carrada_comunicare_la_scienza.pdf
Observa, La crisi delle vocazioni scientifiche e le sue motivazioni, aprile 2004, http://www.con-scienze.it/CPS_doc/Rassegna_crisivocazioni_Observa.pdf

E. Pedrazzi, La crisi delle vocazioni scientifiche in Italia, Conferenza nazionale permanente Presidi Facoltà di Scienze e Tecnologie, Villa Mondragone, 13 ottobre 2004 http://www.con-scienze.it/CPS_doc/villa_mondragone_13_10_04_new.ppt#270

http://archivio.invalsi.it/ri2003/pisa2003/pdf/executive_summary-WEB.pdf

http://www.observa.it/public/docs/Observa%20Annuario2005.pdf

http://archivio.invalsi.it/ricerche-internazionali/ocse-pisa-ccc/pagine/pisa-srl.htm

http://www.scienze.unipd.it/documenti/executive_summary-WEB.pdf

http://www.scienze.unipd.it/documenti/Tabelle esummary sintesi.pdf

Confindustria, La ricerca e l'innovazione in Italia, ottobre 2003.

www.confindustria.it

http://cordis.europa.eu.int/press-service/it/home.html

Relazione europea sulla qualità dell'istruzione scolastica: sedici indicatori di qualità, del maggio 2000, elaborata dal gruppo di lavoro "indicatori di qualità". www.europa.eu.int/scadplus/leg/it/cha/c11063.htm

Relazione del Consiglio (Istruzione) al Consiglio europeo "Gli obiettivi futuri e concreti dei sistemi di istruzione e di formazione", Bruxelles, 14.2.2001 (16.02) n. doc. 5980/01 educ 23, http://www.europa.eu.int/index it.htm

Relazione della Commissione del 31 gennaio 2001: gli obiettivi concreti futuri del sistema d'istruzione, COM (2001)59 def. Modificata dalle conclusioni successive del Consiglio del 2001 e 2002. Sintesi.

www.europa.eu.int/scadplus/leg/it/cha/c11049.htm

Quadro di valutazione dell'innovazione in Europa 2004, Bruxelles, 02.12.2004. www.trendchart.org/scoreboard2004/EIS% 202004%20-%20main%20doc.pdf;

Dettagliati elementi di valutazione circa la progressione degli obiettivi prefissati dal Consiglio di Lisbona sono in: Progress towards the Lisbon objectives in education and training, 2005 report, Bruxelles, 22.3.2005, SEC (2005) 419. http://www.europa.eu.int/index it.htm

http://www.crisiscientifica.it/ricerca.php

http://www.mestierediscrivere.com/pdf/comunicarelascienza.pdf

Varie

Sito della Regione Emilia-Romagna, dedicato ad una rete di scuole per l'ambiente http://www.ermesambiente.it/scuolesostenibili/

Banca dati, con ampie schede professionali, guida ai percorsi formativi e di carriera, informazioni utili per la scelta della professione, l'orientamento, la formazione, anche in campo ambientale

www.isfol.it/orientaonline

Panoramica sui temi di attualità; guida all'uso; numerosi spunti ed indicazioni http://www.ricercaitaliana.it/

Nuovo portale dell'Unione Europea per l'insegnamento della scienza http://www.xplora.org

AUTORI

Franco Belosi

Primo Tecnologo presso l'ISAC-CNR (Bologna), si occupa del campionamento e della caratterizzazione dimensionale degli aerosol sia in ambienti confinati che in atmosfera. Ha condotto numerose indagini sperimentali nel campo della qualità dell'aria ed è autore di numerose pubblicazioni sull'argomento.

■ Milena Bertacci

Dirigente scolastico, ricercatrice presso l'IRRE E-R, pubblicista e formatrice. È autrice di numerose pubblicazioni di metodologia e didattica.

Maria Teresa Bertani

Ricercatrice presso l'IRRE E-R, si occupa di statistica e documentazione delle attività delle scuole. Ha condotto numerose indagini, elaborato dati e prodotto pubblicazioni e curato la redazione di vari volumi.

Paolo Bonasoni

Ricercatore presso l'ISAC-CNR di Bologna. Responsabile della Stazione di Ricerca CNR 'O. Vittori' a Monte Cimone, rivolta allo studio l'atmosfera ed ai suoi cambiamenti nel tempo. È responsabile di progetti inerenti lo studio dei composti atmosferici in aree remote, quali l'Antartide e l'Himalaya.

Andrea Buzzi

Dirigente di ricerca presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, si occupa di ricerche nel campo della meteorologia e dell'elaborazione di modelli per la previsione meteorologica. Ha condotto ricerche riguardanti la meteorologia delle nostre regioni, dirigendo numerosi progetti di osservazioni e di modellistica numerica.

■ Bruno Casadio

Insegnante di scuola secondaria di primo grado, formatore, ha anche promosso e coordinato corsi di aggiornamento, ha partecipato al progetto SET e alla realizzazione del progetto scientifico 'Terra Terra'; collabora col gruppo 'La Scuola e la Scienze in Rete' e al coordinamento della settimana scientifica e tecnologica promossa dal comune di Faenza.

• Egle Casadio Loreti

Docente di Scienze Naturali nella scuola secondaria di secondo grado, insegna al Liceo Scientifico Tecnologico 'F. Alberghetti'; è coordinatrice del progetto 'Santerno' (rete di scuole per l'educazione ambientale nel territorio imolese) e coordinatrice scientifica del CREA Geolab di Imola; formatrice, ha contribuito alla stesura di pubblicazioni relative alle attività d'indagine ambientale nella scuola.

• Filippo Ciampolini

Professore ordinario di Elettrotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, attualmente 'Professore emerito'. Già Presidente dell'IRRSAE Emilia-Romagna (ora IRRE), creatore della DB (Didattica Breve), ha curato la RMD (Ricerca Metodologico-disciplinare) e il 'raccordo' fra Scuola Superiore e Università, tenendo numerosi corsi di formazione nelle scuole. È autore di numerose pubblicazioni.

■ Paolo Cristofanelli

Ricercatore a contratto presso l'ISAC-CNR di Bologna nell'ambito delle attività di ricerca

294 AUTORI

svolte a Mt. Cimone. Ha condotto numerosi studi riguardanti i processi di formazione, trasporto e rimozione dell'ozono e di altri composti atmosferici in area remota. È inoltre coinvolto nell'attività inerente 'Il Sentiero dell'Atmosfera'.

Villi Demaldè

Docente di chimica presso l'Istituto d'Arte 'Dosso Dossi' di Ferrara, si interessa di didattica delle scienze nell'ambito del gruppo SEED (Scienze Educazione e Didattica) e delle rivista Emmeciquadro. È autore di diversi testi scolastici e formatore in corsi di aggiornamento per docenti di materie scientifiche.

Giovanna Foschini

Insegnante di scuola secondaria di primo grado, ha realizzato percorsi di Biologia sperimentale, e lavorato nell'ambito dei progetti SET e SENIS; collabora col gruppo 'La Scuola e la Scienza in Rete', e alla 'Settimana scientifica e tecnologica' promossa dal comune di Faenza e al progetto scientifico 'Terra-terra'.

Aurelio Geremia

Insegna analisi chimica ed elaborazione dati presso l'istituto tecnico industriale 'Aldini Valeriani' di Bologna. Si è occupato di applicazioni dell'informatica e della chimica analitica al settore delle industrie grafiche, in particolare delle misure di colore e del loro significato.

Ivana Mazzolani

Collabora al funzionamento dei laboratori azienda agraria, micropropagazione, agrometeorologia. Si occupa, con gli insegnanti e gli alunni, della realizzazione della dispensa 'Dati agrometeorologici'; partecipa al progetto Globeseren@ attivato presso il proprio istituto, l'ITAS 'Perdisa' di Ravenna.

Carla Nizzoli

Dirigente chimico di ARPA Emilia-Romagna - Sezione Provinciale di Forlì-Cesena; Responsabile dell'ecosistema Urbano e Industriale, si occupa della gestione delle problematiche inerenti alla matrice Aria; è responsabile di progetti di Certificazione secondo la norma ISO 9001 delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria.

Vanna Nucciotti

Laureata in Fisica dell'atmosfera, docente di Fisica ambientale presso l'ITIS 'Belluzzi' di Bologna nella specializzazione F.A.S.E (Fisica sanitaria ed ambientale europea), della quale ha partecipato alla progettazione. Ha lavorato presso il CNR e collaborato con IRRE E-R sui temi della didattica dell'educazione ambientale.

Pantaleo Palmieri

Preside nei licei, autore di studi critico-filologici pubblicati in riviste e volumi, ha sempre preferito alla teorizzazione pedagogico-didattica il concreto operare per/dentro una scuola che trasmetta il sapere nella sua unità, declinandolo nella sua valenza formativa: dell'intelligenza e del carattere.

Assunta Parrillo

Docente in servizio presso la Direzione Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna; si occupa di orientamento e di contrasto alla dispersione scolastica.

Franco Poggiali

Insegnante scuola secondaria presso l'ITAS 'Perdisa' di Ravenna, da anni si occupa di problematiche agronomiche; è coordinatore dell'azienda agraria nel proprio istituto.

AUTORI 295

Franco Prodi

Direttore dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR (ISAC-CNR), professore ordinario di Fisica dell'Atmosfera presso l'Università di Ferrara, è autore di numerose pubblicazioni sulla fisica delle nubi, la formazione della grandine, la fisica degli aerosol, la radarmeteorologia e la meteorologia satellitare.

Gigliola Puppi

Docente di discipline botaniche, nel settore della Botanica ambientale e applicata, presso l'Università degli Studi di Roma 'La Sapienza'. È delegato per l'orientamento della Facoltà di Scienze matematiche fisiche e naturali della stessa Università. Si occupa di relazioni pianta-suolo, e di associazioni pianta-fungo, collaborando a ricerche di ambito nazionale e internazionale, che hanno portato a numerose pubblicazioni.

Anna Maria Ricci

Insegnante di scuola secondaria presso l'ITAS 'Perdisa' di Ravenna, da anni si occupa del sostegno agli alunni; collabora al funzionamento del proprio istituto.

Roberto Rossi

Docente di Discipline Meccaniche presso l'Istituto Professionale di Stato 'L. B. Alberti' di Rimini, prima ingegnere nel settore metalmeccanico, poi ricercatore nel settore automotive e, dal 2000, nel campo dell'applicazione dei combustibili a basso impatto inquinante su motori endotermici anche di piccola potenza.

Lucrezia Stellacci

Direttore Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna. Suoi contributi ed interventi si trovano sul sito dell'USR E-R (www.istruzioneer.it) e nelle pubblicazioni *Idee in movimento* 2003, 2004, 2005.

• Francesco Tampieri

Dirigente di Ricerca presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR. Si occupa di dinamica dei fluidi geofisici, con applicazioni all'ambiente ed in particolare all'atmosfera. È autore di numerose pubblicazioni; tiene corsi presso le Università di Bologna e di Urbino.

Antonio Testoni

Docente di Chimica e Laboratorio presso l'ITI 'Copernico-Carpeggiani' di Ferrara, da anni collabora con il Gruppo di Ricerca e Sperimentazione in Didattica delle Scienze del CIDI di Firenze, con cui ha realizzato lavori e ricerche inerenti la didattica delle discipline scientifiche. Fa parte della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana.

■ Stefano Valli

Docente di Matematica e Fisica nella scuola secondaria superiore. Si è occupato di diversi progetti di Fisica e di Informatica attivati presso il Liceo Scientifico Fulcieri Paulucci di Calboli di Forlì e attualmente insegna nel corso P.N.I. di tale scuola.

Stefano Versari

Dirigente dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna, a capo dell'Ufficio I della Direzione Generale con responsabilità, fra l'altre, sulle aree concernenti l'orientamento, il disagio giovanile e la dispersione scolastica. È stato componente del gruppo di lavoro nazionale per la valutazione del sistema scolastico. È autore di numerosi contributi e di pubblicazioni su tematiche educative e scolastiche.

Collana "I quaderni dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna"

N.	Titolo	Anno
1	L'Amministrazione scolastica in Emilia-Romagna	2002
2	Uno sguardo sul sistema scolastico dell'Emilia-Romagna	2002
3	Istituti Comprensivi in Emilia-Romagna	2002
4	La formazione in servizio del personale	2002
5	La scuola in ospedale dell'Emilia-Romagna	2002
6	Una scuola allo specchio - Rapporto regionale 2003 sul sistema scolastico in Emilia-	2003
	Romagna	
7	Le buone pratiche della flessibilità	2003
8	Il portfolio degli insegnanti	2004
9	Sperimentazione della riforma in Emilia-Romagna	2004
10	Una scuola in attesa - Rapporto regionale 2004 sul sistema scolastico e formativo	2004
	in Emilia-Romagna	
11	Curricoli di scuola	2005
12	Idee di tempo idee di scuola	2005
13	Una scuola alla prova - Rapporto regionale 2005 sul sistema di istruzione e formazione	2005
14	Valutare per migliorarsi	2005
15	Appassionatamente curiosi - Per una didattica delle scienze dell'atmosfera	2006
16	Una scuola fra autonomia ed equità - Rapporto regionale 2006 sul sistema di istruzio-	2006
	ne e formazione	
17	Genitori nella scuola della società civile	2006
18	Tra riforma e innovazione	2006
19	C'è musica e musica: scuole e cultura musicale	2006

I volumi della collana "I quaderni dell'Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna" sono pubblicati dalla casa editrice Tecnodid di Napoli.

Una copia dei testi viene inviata gratuitamente a tutte le istituzioni scolastiche della Regione Emilia-Romagna. Altre copie possono essere richieste alla casa editrice al prezzo indicato in copertina.

Ufficio Scolastico Regionale per l'Emilia-Romagna

Piazza XX Settembre, 1 - 40121 Bologna - Tel. 051 4215711

E-mail: direzione-emiliaromagna@istruzione.it

Sito web: www.istruzioneer.it

Direttore Generale: Lucrezia Stellacci

Ufficio V - Formazione, autonomia e iniziative editoriali

Dirigente: Giancarlo Cerini

Per informazioni: Anna Monti - Tel. 051 4215733

E-mail: anna.monti@istruzione.it