

Prof. Rodolfo Cecchi

Curriculum Didattico e Scientifico

Dati anagrafici e di servizio

Rodolfo Cecchi è nato a Firenze il 24 Gennaio 1939 e risiede a Modena in Rua del Muro 88.

Laureato in Fisica, è stato Assistente volontario, incaricato ed infine ordinario presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Modena, dove ha anche svolto gran parte della sua attività didattica quale Prof. Incaricato, Stabilizzato e Associato, mentre come Prof. Ordinario, ad eccezione del periodo di prima nomina trascorso presso l'Università di Messina, ha prestato servizio presso la Facoltà di Ingegneria di Modena dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

Ha fatto parte di vari organismi universitari e scientifici nazionali ed esteri, collaborando con numerose Istituzioni scientifiche nazionali ed internazionali. E' membro di diverse Società scientifiche (Società Italiana di Fisica, Associazione Italiana per lo Studio degli Elementi in Tracce negli Organismi Viventi, Associazione Nazionale di Ingegneria Sanitaria, Comitato tecnico scientifico dei Simposi Internazionali di Ingegneria Sanitaria Ambientale SIDISA) ed è consultato come Referee da svariate Riviste sia italiane che straniere. E' stato responsabile di numerosi finanziamenti erogati da Enti sia nazionali che esteri. E' consulente del Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici, con particolare riguardo alla Valutazione di impatto ambientale delle opere in esame.

Lo scrivente, già Professore Associato di Oceanografia e Limnologia (Gr.150) per il Corso di Laurea in Fisica dell'Università di Modena, è risultato vincitore del Concorso di I Fascia (G. U. 213 del 3 Agosto '84) per il Gruppo 293 (relativo alle discipline inerenti alla Geofisica della Terra fluida, tra le quali la Fisica Ambientale e l'Oceanografia Chimica).

In data 05-08-87 ha preso servizio come Professore Straordinario ed Ordinario di Oceanografia Chimica presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Messina. In tale Ateneo è stato Direttore dell'Istituto di Oceanografia.

Dal 01-11-1994 il Prof. Cecchi è stato chiamato, per concorso di trasferimento, quale Ordinario di Fenomeni di Inquinamento e Controllo della Qualità dell'Ambiente (S.S.D. H02X, ora ICAR/03 Ingegneria Sanitaria-Ambientale) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Modena e Reggio Emilia - Sede di Modena.

Presso la suddetta Facoltà ha presieduto per quattro anni il Corso di Diploma universitario in Ingegneria meccanica, corso triennale per diplomati con orientamenti in "Meccanica Generale" (Modena), in "Gestione del processo produttivo nelle aziende

ceramiche" (Sassuolo) ed in "Gestione del processo industriale per applicazioni biomedicali" (Mirandola). Tale corso di studio è stato supportato da apposite convenzioni con Enti ed Associazioni interessati alla formazione tecnico-professionale nelle tematiche e presso i comprensori precedentemente ricordati, ed ha costituito per lo scrivente una utile opportunità per approfondire i problemi della formazione professionale da un lato e le esigenze dei menzionati settori produttivi dall'altro.

Il Prof. Cecchi, successivamente, è stato Vice direttore del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile di Modena e Delegato del Rettore per l'Ambiente. Ha poi promosso e coordinato l'istituzione del Corso di Laurea triennale in Ingegneria Ambientale, istituito con i primi due anni dall'A. A. 2001-2002, e del successivo Corso biennale di Laurea Magistrale in Ingegneria per la Sostenibilità dell'Ambiente, dei quali è stato Presidente e nel cui ambito ha tenuto l'insegnamento di Ingegneria Sanitaria Ambientale. Consapevole della necessità di coinvolgere il territorio nella formazione degli ingegneri ambientali, il Prof. Cecchi ha promosso collaborazioni che hanno portato nel corso di laurea, già dalla sua istituzione, il contributo in qualità di Docenti di esperti degli Enti, del mondo dell'impresa e della libera professione.

Dal 29 agosto 2003 al 31 ottobre 2008 è stato nominato ProRettore per la sede di Modena dell'Università a rete di sedi di Modena e Reggio Emilia. In tale ruolo ha svolto a tempo pieno e con impegno le proprie funzioni, spesso di elevata complessità e delicatezza, avendo sempre presente l'interesse dell'istituzione. Oltre a ciò, più in particolare:

-E' stato delegato al bilancio dell'Ateneo e, nell'ambito di tale impegnativa attività, oltre a presiedere la Commissione Finanziaria ed a predisporre i Bilanci annuali preventivo e consuntivo dell'Ateneo, ha anche individuato e promosso la politica dell'Università per l'accesso ai fondi di cofinanziamento (PRIN), ha realizzato l'istituzione del "prestito d'onore" per gli studenti, ha impostato la procedura per l'attribuzione del 5 per mille all'Università di Modena e Reggio Emilia.

-E' stato delegato dell'Ateneo per la Sicurezza, ed in tale ruolo ha promosso sempre più strette ed innovative collaborazioni con gli Enti di controllo, dando impulso alla formazione del personale e degli studenti nei temi della prevenzione e dell'intervento.

-E' stato Commissario ad Acta della Scuola di Specializzazione in Oncologia.

-Essendo anche docente dell'Accademia Militare di Modena, ha sempre collaborato fattivamente ai rapporti tra Esercito ed Università, agevolando la conclusione della stipula dei Protocolli d'intesa e delle relative Convenzioni tra i vari attori militari ed universitari.

-Ha curato i rapporti e la stipula di convenzioni con Università straniere, tra le quali il Politecnico di Budapest (Ungheria) e l'Università di Iasi (Romania).

-Ha fatto parte del Consiglio di Indirizzo della Fondazione Cassa di Risparmio di Carpi, nonché del Nucleo di Valutazione della Camera di Commercio di Modena, che ha presieduto per un triennio.

Infine, a partire dall'11 Dicembre 2009, è stato collocato in quiescenza per raggiunti limiti di età.

In data 29 Luglio 2011, con Decreto del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, al Prof. Rodolfo Cecchi è stato conferito il titolo di Professore Emerito.

Dall'1 Novembre 2011 il Prof. Cecchi è inoltre divenuto Socio Corrispondente della Accademia Nazionale di Scienze Lettere ed Arti di Modena, per poi divenirne Socio Effettivo dal 1 Novembre 2013.

Il 29 Novembre 2015, in occasione del suo 40° anno di docenza presso l'Accademia Militare ed in concomitanza con la celebrazione del Quarantennale del 155° Corso Allievi Ufficiali, il Comandante dell'Accademia Militare di Modena, Generale di Divisione Giuseppe Nicola Tota, conferiva al Prof. Cecchi il titolo di "Cadetto ad Honorem".

Attività didattica

1)-Attività svolta presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Modena fino all' A.A. 1986-87.

Il Prof. Rodolfo Cecchi ha tenuto i seguenti insegnamenti, come Prof. Incaricato, Stabilizzato ed infine Associato:

- ◆ Corso di **Fisica Sperimentale II** (C.so di Laurea in Sc. Geologiche). Tenuto negli A. A. 70-71, 71-72, 72-73, 73-74, 74-75, 75-76, 76-77, 77-78, 78-79, 79-80, 80-81, 81-82, 82-83,

83-84, 84-85 (15 corsi).

- ◆ Corso di **Oceanografia e Limnologia** (C.so di Laurea in Fisica). Tenuto negli A. A. 85-86, 86-87 (2 corsi).

2)-Attività svolta presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Messina dall' A. A. 1987-88 al 1993-94.

Il Prof. Cecchi, come Professore Straordinario ed Ordinario di Oceanografia Chimica, ha tenuto presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Messina il seguente insegnamento:

- ◆ Corso di **Oceanografia chimica**(C.so di Laurea in Sc. Naturali). Tenuto negli A. A. 87-88, 88-89, 89-90, 90-91, 91-92, 92-93, 93-94 (7 corsi).

3)-Attività svolta presso la Facoltà di Ingegneria di Modena dell'Università di Modena e Reggio Emilia dall' A.A. 1994-95.

Il Prof. Cecchi è stato chiamato, per concorso di trasferimento, dal 1° Novembre 1994 quale Ordinario di Fenomeni di Inquinamento e Controllo della Qualità dell'Ambiente della Facoltà di Ingegneria di Modena.

Ha quindi tenuto presso la suddetta Facoltà i seguenti insegnamenti:

- ◆ Corso di **Fisica I (S.S.D. B01A)**. Tenuto negli A. A. 94-95, 95-96 (Cc.Ll. in Ingegneria Informatica ed in Ingegneria Elettronica) e 96-97 (Cc.Ll. in Ingegneria dei Materiali ed in Ingegneria Meccanica), su delibera della Facoltà di Ingegneria per Art. 9 (3 corsi).
- ◆ Corso di **Fisica Generale I (S.S.D. B01A)**. Tenuto negli A. A. 97-98, 98-99, 99-00 (Diplomi Universitari in Ingegneria Meccanica ed in Ingegneria Informatica), su delibera della Facoltà di Ingegneria per Supplenza (3 corsi).
- ◆ Corso di **Ingegneria Sanitaria Ambientale(S.S.D. H02X, poi ICAR/03)**. Tenuto per titolarità negli A. A. 97-98, 98-99, 99-00, 00-01 per il C.L. in Ingegneria dei Materiali, e negli A.A. 01-02, 02-03, 03-04, 04-05, 05-06, 06-07, 07-08, 08-09, 09-10 per il Corso di Laurea in Ingegneria Ambientale (13 corsi).
- ◆ Corso di **Ingegneria Sanitaria Ambientale-I° Modulo (4 CFU-S.S.D. ICAR/03)**. Ottenuto nell'A.A.10-11 per affidamento gratuito da parte della Facoltà di Ingegneria "Enzo Ferrari", in considerazione dei riconoscimenti scientifici e professionali da lui ottenuti in ambito nazionale ed internazionale nel settore di riferimento. Nell' A.A. 11-12 ha tenuto lo stesso insegnamento quale vincitore di selezione pubblica, per soli titoli, per il conferimento di Incarichi di insegnamento nei Corsi di studio dell'Ateneo di Modena e

Reggio. Con le stesse modalità gli è stato conferito il Corso anche per l'A.A.13-14 (4 corsi).

- ◆ Corso di **Elementi di Progettazione Ambientale (S.S.D.ICAR/03)**. Tenuto per titolarità negli A.A.03-04,04-05, 05-06,06-07,07-08,08-09 e 09-10 per il Corso di Laurea in Ingegneria Ambientale (7 corsi).

4)-Attività svolta presso l'Accademia Militare di Modena.

- ◆ Corsi di **Fisica I e Fisica II** (poi **Fisica Generale I e Fisica Generale II**). Tenuti come Prof. Aggiunto (Fisica I) e poi come Prof. Titolare (Fisica Generale I o Fisica Generale II) per gli Allievi delle Varie Armi prima e del Corpo degli Ingegneri successivamente, a partire dall' A. A. 73-74 all' A. A. 08-09 ininterrottamente (36 corsi).
- ◆ Corso di **Fisica-IEI (I°Modulo, 6 CFU)** nell' A.A. 09-10, 10-11, 11-12, 12-13 e 13-14 quale vincitore di selezione pubblica, per soli titoli, per il conferimento di Incarichi di insegnamento nei Corsi di studio dell'Ateneo di Modena e Reggio (5 corsi).

Attività scientifica

L'attività scientifica del Prof. R. Cecchi si è concretizzata in oltre centosettanta tra pubblicazioni (124) e comunicazioni a Congressi nazionali ed internazionali.

Lo scrivente si è laureato in Fisica con una tesi sperimentale sulla diffusione elastica protone-protone presso il Protosincrotrone da 25 GeV del CERN di Ginevra, quale parte di un più vasto esperimento condotto anche presso gli acceleratori di Berkeley (USA) e Dubna (URSS) per valutare le sezioni d'urto dello scattering p^+p^+ ad alte energie e piccoli angoli di diffusione.

Rispetto alle principali linee di ricerca che verranno espone nel seguito, lo scrivente ha anche prestato collaborazione in diverse tematiche scientifiche collaterali, occupandosi della velocità di deriva dei portatori in semiconduttori a basse temperature, della risposta elettrica a gradienti termici in monocristalli di ghiaccio puri o drogati, della realizzazione di esperienze didattiche. Ha altresì collaborato allo sviluppo di modelli statistici per i principali parametri meteorologici e per alcuni inquinanti atmosferici, nonché alla creazione di un modello matematico previsionale del livello dell'Adriatico Settentrionale a partire da forze stocastiche.

Per la parte prevalente, la produzione scientifica dello scrivente si è rivolta allo studio di problemi di Fisica e Chimica dell'ambiente visti nella loro complessità (in connessione quindi con questioni di Fisica dell'atmosfera, Idrogeologia, Telerilevamento da satelliti, Oceanologia) e con particolare riguardo all'analisi e diffusione di inquinanti sia in ambienti fluviali, marini e di falda che in atmosfera, nonché alla tossicità degli stessi per gli organismi viventi.

Ciò ha anche comportato da un lato la realizzazione di dispositivi per il monitoraggio e la messa a punto di tecniche innovative per la determinazione delle immissioni inquinanti in diversi tipi di ecosistemi, dall'altro la creazione di modelli di apporto e diffusione di inquinanti negli ecosistemi stessi onde valutare l'impatto ambientale ed i tempi di ripristino.

In tale ambito, lo scrivente si è occupato di una ricerca strumentale concernente la realizzazione di una rete per la ripresa di dati geofisico-ambientali remoti nello standard elettronico di compatibilità CAMAC, costituita da mini-computer centrali e da stazioni periferiche dotate di intelligenza locale a microprocessori per la preelaborazione ed i confronti ripetitivi di taratura sui dati forniti dai vari sensori periferici.

Si è inoltre interessato della messa a punto di programmi e metodiche per l'analisi da telerilevamento, partecipando allo sviluppo di un sistema interattivo di analisi di immagini da satellite con applicazioni alle immagini multispettrali fornite dal Landsat. Tale tecnica può essere usata per valutare le temperature superficiali marine ed i conseguenti rimescolamenti verticali in connessione con le variazioni di concentrazione degli inquinanti presenti nello strato superficiale.

Ha poi partecipato, in collaborazione con gli Enti Pubblici dell'Emilia-Romagna, ad una ricerca di modellistica strutturale del sottosuolo e dei flussi idrici sotterranei allo scopo di studiare tutte le fasi della circolazione idrica, nonché gli effetti derivanti dalle attività umane connesse all'impiego delle risorse idriche. In tale ambito si è ricorsi ad una descrizione in termini di conducibilità idraulica ottenendo una cartografia idrogeologica automatica del sottosuolo; questa permette l'individuazione delle conoidi dei fiumi principali della provincia e delle falde acquifere confinate ed è ovviamente sviluppabile in una modellistica dei flussi idrici sotterranei con particolare riguardo alla possibile dispersione di eventuali sostanze inquinanti.

Il Prof. R. Cecchi ha infine sviluppato un settore di ricerca sperimentale rivolto ad individuare, realizzare ed applicare un metodo di analisi multielementale rapido, preciso, altamente automatizzabile ed a largo contenuto di informazione per la determinazione delle concentrazioni di elementi presenti in

tracce nell'atmosfera, nelle acque fluviali e marine e nei sedimenti. Ciò ha consentito la creazione di una tecnica di utile applicazione ai controlli ambientali, che lo scrivente ha poi prevalentemente impiegato per supportare, con dati sperimentali relativi a campagne di campionamento, modelli di apporto e diffusione di inquinanti in ambiente marino e fluviale (le applicazioni all'aerosol atmosferico, effettuate successivamente, non necessitano di particolari pretrattamenti in quanto è sufficiente la sua raccolta su filtri mediante opportuni impattori).

In sintesi, una volta deposti gli elementi di interesse (in genere metalli pesanti) presenti in un campione ambientale su di un opportuno supporto sottile (target), gli stessi possono venire analizzati contemporaneamente in modo non distruttivo mediante l'esame in energia dello spettro di radiazioni X caratteristiche emesse dagli elementi stessi quando siano bombardati con particelle (protoni) di qualche MeV mediante un acceleratore lineare (Proton Induced X-ray Emission: PIXE). Tale tecnica, sviluppata dallo scrivente fin dalla metà degli anni 70, è ora impiegata in Italia sia nel settore ambientale che in quello biologico da svariati gruppi di ricerca, ed ha indotto diversi studiosi stranieri a frequentare i nostri laboratori.

La messa a punto di una tale tecnica ed il suo successivo impiego (che lo scrivente ha inizialmente indirizzato alle acque naturali in quanto presentavano problemi più complessi per la realizzazione del bersaglio) ha comportato le fasi metodologiche ed applicative qui di seguito descritte in dettaglio.

A) Assemblaggio del sistema sperimentale.

Presso l'acceleratore Van de Graaff AN-2000 da 2 MeV dei Laboratori Nazionali INFN di Legnaro (Pd) è stato allestito un canale acceleratore dedicato alla ricerca in oggetto e terminante in una camera di scattering appositamente progettata, dotata di un cambia-campioni automatico, un rivelatore Si(Li) e realizzata in modo da non fornire alcun contributo spurio di emissione X e minimizzare il fondo di misura. Tutto l'allestimento e le successive applicazioni sono stati supportati dai Laboratori di Legnaro mediante la concessione di tempo macchina agli acceleratori e dell'ausilio tecnico di base nell'ambito dell'esperimento FISAMB-Mo.

B) Messa a punto di una tecnica per la realizzazione di targets a partire da campioni liquidi.

In tale settore si è provveduto dapprima a raccogliere il soluto presente in acque naturali per semplice evaporazione controllata su supporti di grafite pura da reattore nucleare. Constatato che tale procedura limitava le precisioni ed i limiti

rivelabili di cui il metodo PIXE appariva intrinsecamente capace, si è poi passati ad una estrazione chimica mediante precipitazione dei metalli come complessi carbammati a pH controllato, con successiva raccolta del precipitato stesso su filtri Nuclepore in presenza di Palladio o Rame come co-precipitante e standard interno. I risultati, del tutto originali, sono parsi ottimi per multielementalità, precisione e riproducibilità in un largo intervallo di concentrazioni.

C) Realizzazione di programmi automatici per la deconvoluzione degli spettri PIXE.

Sono stati allestiti gli opportuni programmi di calcolo per elaborare gli spettri X caratteristici prodotti dall'incidenza di protoni da 1,8 MeV sul bersaglio; tali spettri, analizzati in energia dal rivelatore e processati dalla catena elettronica di acquisizione collegata allo stesso, sono memorizzati su di un multichannel in linea con un calcolatore in modo da poter ottenere in tempo reale gli elementi rivelati e la loro concentrazione nel campione di partenza. Il programma di analisi delle misure PIXE opera automaticamente od in modo interattivo risolvendo con fit dei dati sperimentali le emissioni X come picchi gaussiani sovrapposti ad un background ottenuto con il contributo del fondo medio sperimentale (spettro bianco), del quale si calcola anche la standard deviation. L'elaborazione e l'interpretazione degli spettri PIXE si avvale di una libreria di valori misurati dei parametri fisici (intensità relative delle emissioni, coefficienti di assorbimento) e di alcune routine per la risoluzione degli effetti di matrice e degli eventi di pile-up, messe a punto con verifiche sperimentali. I valori di concentrazione sono poi forniti unitamente all'errore di misura, sia strumentale che inerente alla sottrazione del bianco ed alla deconvoluzione dello spettro.

D) Calibrazioni e collaudo per l'analisi di metalli in tracce ed ultra-tracce in campioni liquidi.

Dapprima si è proceduto alla realizzazione di una clean-room dedicata per la ricerca in questione, dotata delle opportune attrezzature al fine di minimizzare le contaminazioni spurie in ogni fase del trattamento dei campioni. Per la verifica dell'intera procedura si è poi operato partendo inizialmente da piccoli volumi (15 ml) di campioni liquidi a concentrazioni note, sia monoelementali che pluri-elementali, ottenuti da soluzioni standard; sono state usate anche soluzioni saline per simulare campioni marini. Gli elementi fin qui calibrati sono Ti, Cr, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Se, Bi, Pb, Cd, Ag, Mo, Y, Sb, Tl; per essi sono state usate dieci diverse concentrazioni di calibrazione comprese tra 10 e 1500 ng/ml (ppb) . Le analisi di taratura e le misure di acque standard

internazionali (IAEA, NIST) hanno sempre fornito valori fortemente sovrapposti ai dati nominali di concentrazione con ottima linearità e riproducibilità; gli errori percentuali, nell'intero intervallo di concentrazioni, sono sempre risultati compresi tra lo 0.4% ed il 5%. Si è poi passati al trattamento di un maggior volume di campione (500 ml) onde apprezzare concentrazioni inferiori tipiche delle acque oceaniche. Le calibrazioni su campioni mono e plurielementali, effettuate per valori compresi tra 10 e 1000 pg/ml (ppt), hanno confermato la linearità di misura, con errori percentuali inferiori al 10% e minimi rivelabili (eccetto Cd ed Ag) compresi tra 1.9 ppt (Ni) e 18 ppt (Pb). La valutazione sperimentale dell'efficienza di raccolta ottenibile dal suddetto sistema di preconcentrazione risulta infine in accordo con i dati della letteratura.

E) Applicazioni della tecnica e correlazioni con altri parametri ambientali.

I risultati prima riportati mostrano che la tecnica PIXE così messa a punto può essere usata nell'intero range di concentrazioni che i metalli medio-pesanti possono presentare nel ciclo delle acque naturali, da quelle meteoriche (problema del wash-out) a quelle fluviali o lagunari per giungere fino alle acque oceaniche profonde. La stessa tecnica è peraltro impiegabile anche per valutare la concentrazione di metalli nei sedimenti, opportunamente solubilizzati per digestione con acidi, nonchè nella loro acqua interstiziale; dunque lo stesso apparato sperimentale può indagare sia i corpi idrici che il deposito di fondale e può portare alla schematizzazione dei meccanismi di scambio degli inquinanti tra le fasi coinvolte. Uno studio di fattibilità mostra in effetti come tale metodica può essere estremamente utile per la determinazione dei metalli in quasi tutte le fasi del ciclo biogeochimico. Inoltre alcune altre semplici interazioni nucleari aggiungibili con facilità allo stesso canale acceleratore (backscattering, gamma-ray emission, etc ...) possono estendere le possibilità analitiche PIXE, che sono limitate dal rivelatore al Na ed agli elementi successivi, anche agli elementi più leggeri, così da coprire l'intero sistema periodico.

Come già ricordato, lo scrivente ha dapprima misurato elementi presenti nelle acque di alcuni fiumi e di svariati pozzi della Pianura Padana, evidenziando inquinamenti sia legati ad attività industriali che zootecniche, nonchè rivelando a livello di falda la presenza di circuiti profondi di acque alogeniche. Ha poi applicato il metodo analitico al Golfo di Genova (zona portuale e zona piattaforma petrolifera) per provare che è possibile evidenziare inversioni della corrente costiera nel Mar Ligure sulla base delle variazioni di concentrazione dei metalli, stante il diverso grado di inquinamento tra Riviera di Ponente e

di Levante.

In collaborazione con il Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del CNR (Venezia), il Prof. Cecchi si è poi occupato del bilancio di alcuni metalli, che, in correlazione con l'effetto di marea, vengono immessi in totale (sospeso più soluto) nella Laguna di Venezia. I dati di concentrazione, insieme a vari altri (nutrienti, intrusione salina e profili di velocità alla foce, temperatura, livello di marea, precipitazioni atmosferiche), hanno consentito di iniziare a formulare, partendo da misure di breve periodo (circa 20 cicli mareali) e con pochi punti di rilevazione su due fiumi, calcoli di flussi e quindi uno schema di controllo delle immissioni inquinanti nella parte Nord della Laguna. Il lavoro è stato poi ampliato prendendo in esame l'intera Laguna vista come l'insieme di tre sottobacini connessi ad altrettante bocche di porto, pervenendo, dopo numerose campagne in mare ed alle foci, ad una stima delle quantità medie annue di inquinanti versate nella Laguna stessa dai suoi otto principali affluenti.

Successivamente, l'analisi di centinaia di campioni opportunamente raccolti nell'arco di due anni presso otto stazioni di prelievo situate sui suddetti affluenti ha consentito di correlare l'andamento temporale degli inquinanti e dei nutrienti sversati con i principali parametri idrologici ed atmosferici.

Più complessa risulta la determinazione dello scambio tra la Laguna ed il Mare Adriatico, sia per le difficoltà nella valutazione del flusso netto verso il mare che per la complessità dei meccanismi di distribuzione degli inquinanti tra le fasi biogeochimiche presenti in Laguna. Pertanto si è passati a lavorare alla definizione di un modello dei processi di trasporto, accumulo e diffusione degli agenti inquinanti in zone di foce fluviale a basso fondale. L'indagine è basata sulle analisi sistematiche condotte in una zona test nella Laguna Nord di Venezia soggetta a costante monitoraggio dei principali parametri idrologici, sedimentologici e chimico-fisici; vengono inoltre esaminati i fenomeni di eutrofizzazione laddove si presentano più intensi.

Nell'ipotesi di un sistema conservativo, si possono assumere i flussi fra le fasi coinvolte (acqua, sospensione, sedimenti-acque interstiziali, biota) proporzionali alle concentrazioni dei metalli nelle fasi stesse. Le misure di concentrazione vengono realizzate con la tecnica PIXE ed il loro andamento viene usato come "tracciante" per parametrizzare le relazioni di interazione e scambio fra le fasi biogeochimiche al fine di individuare i flussi prevalenti e stimare i tempi di residenza dei metalli nelle suddette fasi.

Nell'area test è stata valutata la distribuzione media dei metalli nelle classi granulometriche del sedimento in relazione

alle sorgenti di inquinamento, evidenziando la mobilitazione dei depositi del fondale rispetto all'idrodinamica del luogo. E' stato approfondito lo studio dei processi di aggregazione che precedono la sedimentazione; a tal fine ci si è avvalsi di misure di concentrazione di metalli sia nel soluto che nelle varie frazioni granulometriche del particolato sospeso a partire da campioni di acqua raccolti a profondità variabile sia lungo un corso d'acqua sversante in Laguna che nel suo estuario.

Si è pervenuti alla distribuzione dei metalli nelle varie fasi all'instaurarsi del cuneo mareale e sono state rilevate conformità di comportamento dei metalli disciolti con l'evolversi del chimismo durante il mixing, mentre le fasi sospese seguono prevalentemente l'idrodinamica. Sono state inoltre evidenziate le associazioni prevalenti di metalli ad andamento comune nell'acqua interstiziale del sedimento nonché i profili verticali di concentrazione. La velocità di sedimentazione è poi stata valutata con misure dell'attività del Cs¹³⁷ in funzione della profondità del sedimento ed in correlazione con eventi nucleari atmosferici databili.

Le capacità analitiche PIXE sono state inoltre utilmente impiegate anche in un settore di ricerca collaterale riguardante lo studio dell'assunzione, accumulo e soglia di tossicità del Se in organismi marini (*Zosterisessor ophiocephalus*) lagunari; l'interesse per tale elemento è dovuto al fatto che esso può avere funzioni protettive nei confronti di alcuni metalli tossici (Cd, Ag, Hg). Questa indagine, frutto di una vasta collaborazione tra ricercatori delle Università di Messina, Modena, Napoli, Padova, Verona e Zagabria, ha evidenziato il comportamento biochimico del Se, la sua bioaccumulazione nei vari tessuti (fegato, muscolo, branchie) ed il comportamento enzimatico (glutazione peroxidasi, citocromo P450) in funzione della dose somministrata.

E' stata infine effettuata la valutazione della distribuzione dei metalli in campioni di neve e ghiaccio ed in carote di ghiaccio raccolti in Antartide ed in Groenlandia nell'ambito, rispettivamente, dei programmi di ricerca PNRA e GRIP. Tale ricerca, che comporta tecniche particolari nel trattamento dei campioni, ha richiesto la misura di bassissime concentrazioni a partire da piccoli volumi; si è perciò passati ad una tecnica di preconcentrazione per sola evaporazione su film sottile in assenza di standard interno, ed è stato necessario ricalibrare il metodo analitico.

Per quanto riguarda le analisi su materiali provenienti da nevai e ghiacciai Antartici, un loro studio ha permesso di individuare i principali contributi al chimismo glaciale (spray marino, polveri terrigene, materiali extraterrestri): le abbondanze relative dei metalli presenti nelle componenti citate sono sensibilmente differenti in campioni raccolti in siti

diversi, in relazione con la distanza dalle sorgenti di diffusione e con le caratteristiche della circolazione atmosferica locale.

Inoltre, nell'ambito del Greenland Ice Core Project, è stata ottenuta l'assegnazione di campioni ricavati da un carotaggio profondo tremila metri. Dai dati isotopici risultano ben evidenti fluttuazioni termiche durante l'ultimo massimo glaciale probabilmente correlate a cambiamenti nella circolazione atmosferica ed oceanica. La misura della concentrazione di alcuni elementi in campioni significativi è connessa, attraverso la loro variazione nel tempo, alle modificazioni della composizione atmosferica. E' stato effettuato lo studio dei campioni di ghiaccio, preventivamente decontaminati presso il L.G.G.E. di Grenoble; è stata altresì compiuta la valutazione della distribuzione degli elementi tra soluto e particellato, anche in funzione della granulometria di quest'ultimo.

Sono stati anche compiuti studi di caratterizzazione e di variabilità stagionale sugli aerosol marini antartici, unendo alla tecnica PIXE le potenzialità delle analisi SEM-EDAX.

A completamento delle potenzialità analitiche è stata poi calibrata e messa a punto, presso l'acceleratore AN-2000 dei Laboratori INFN di Legnaro (PD), una linea per analisi a micro-beam, capace di analizzare aree dell'ordine di 10 micron di diametro, e conseguentemente di evidenziare quantità assolute dell'ordine di 10^{-16} grammi. Le misure conseguenti (micro-PIXE), alternative al SEM-EDAX, del quale sono però più sensibili, permettono di fornire una accurata mappa in concentrazioni per i vari elementi presenti in una preassegnata area di un campione. Sono stati effettuati studi per applicare tale tecnica a campioni di aerosol raccolti per classi di diametri (12 classi, da 8.5 a 0.045 micron, con sette classi inferiori al micron) con un impattore inerziale SDI (fabbricato dal Finnish Meteorological Institute) appositamente studiato per analisi PIXE, allo scopo di evidenziare presenze preferenziali di elementi e correlazioni tra gli stessi, tenendo conto che l'interesse scientifico e la nocività potenziale si sono concentrati sui diametri sub-micrometrici. L'unione del metodo analitico sopra riportato con le tecniche di analisi multivariata è risultata efficace. Sono state realizzate misure su campioni di aerosol urbano e marino, nonché su campioni di aerosol marino artificiale (prodotto con opportuna aerosolizzazione), nell'ambito dello studio dei processi di arricchimento di elementi inquinanti nelle frazioni fini (che vengono trasportate a maggior distanza dalla sorgente).

Negli ultimi anni lo scrivente ha infine rivolto il proprio impegno scientifico anche ad altri settori, sempre di interesse ambientale, promuovendo e spesso partecipando a studi che

riguardano le tecniche di bonifica, il rilevamento ambientale mediante strumentazioni e tecniche avanzate come il GPS ed i sensori satellitari, i sistemi per l'analisi di elementi in tracce, gli impattori ed i contatori di particelle per la misura delle polveri atmosferiche.

Oltre all'allestimento dei laboratori con la dotazione delle più moderne strumentazioni, ci si è dotati anche dei più avanzati e significativi software quali i modelli di dispersione degli agenti inquinanti, quelli per l'elaborazione di immagini satellitari, i GIS, i modelli di trasferimento radiativo, i modelli per la valutazione del rischio sanitario ed i software per la geostatistica.

Una delle principali linee di ricerca si è rivolta al monitoraggio ed al controllo della qualità dell'aria per quanto concerne il particolato, sia con l'ausilio del già ricordato campionatore multistadio SDI (separazione di 12 frazioni granulometriche da 8 a 0.04 micron) che con l'analizzatore TEOM sulle frazioni PM10, PM2.5 e PM1. L'indagine include misure con il contatore di particelle SMPS per determinare la distribuzione dimensionale delle particelle submicroniche, in modo da individuare il contributo di emissioni da combustione e da traffico veicolare. Il controllo della dispersione di inquinanti in atmosfera si avvale anche di modelli di simulazione. Gli obiettivi scientifici sono quelli di rendere operativi diversi modelli per la simulazione della dispersione stessa, così da modellizzare i moti atmosferici, anche turbolenti, a varie scale spazio-temporali, nonché il trasporto, le trasformazioni e la deposizione dei contaminanti su terreni complessi.

Un'altra tematica di rilievo ha riguardato il telerilevamento satellitare o da aereo, che è ormai uno strumento consolidato per studi ed applicazioni ambientali. Le principali linee di studio riguardano le correzioni atmosferiche e topografiche di immagini satellitari, l'ortorettifica di immagini satellitari ad alta risoluzione a scopo cartografico e per il monitoraggio del territorio, ed infine lo studio e la caratterizzazione degli scarichi industriali a mare. Per quanto riguarda quest'ultimo settore di ricerca, è noto che lo scarico di calore in acque superficiali da parte di attività antropiche può avere un impatto notevole sugli ambienti acquatici ed è oggetto di normativa, sia a livello nazionale che a livello internazionale. Il telerilevamento, restituendo mappature termiche su ampie zone del territorio in tempi relativamente brevi, può risultare uno strumento molto importante.

In fede.
Prof. Rodolfo Cecchi