

**INCA****Consorzio Interuniversitario Nazionale****“La Chimica per l’Ambiente”**[www.incaweb.org](http://www.incaweb.org)

## **Programma di ricerca del Consorzio INCA**

*a cura del Consiglio Scientifico – Marzo 2010*

Il Consorzio Interuniversitario di Chimica dell’Ambiente è un sistema organizzato di capacità e professionalità scientifiche che richiede un’attenta valutazione dei programmi per non disperdere il potenziale scientifico e per integrare le varie competenze espresse.

Un programma non può che partire dalla intestazione del Consorzio.

La chimica dell’ambiente si è molto trasformata negli ultimi decenni avendo la capacità di abbinare al ruolo euristico, basato sul carattere prevalentemente deduttivo della conoscenza chimica, quello di tutore della qualità della vita e successivamente quello di garante che tale qualità sia salvaguardata in una logica di rispettosa sostenibilità verso l’ecosistema che ci circonda e verso le generazioni future. Oggi non è più sufficiente una conoscenza soltanto analitica dell’ambiente: certo la conoscenza rappresenta la prima fase di qualsiasi intervento, ma la capacità di utilizzare tale conoscenza ai fini del recupero e del risanamento si basano su approcci più completi e più complessi che riguardano i meccanismi dei processi naturali, le interazioni fra questi ed i sistemi antropici, i percorsi naturali degli inquinanti e la loro rimozione, la valutazione quantitativa dell’impatto ambientale, le tecnologie alternative di produzione energetica ed industriale capaci di abbattere il carico ambientale delle attività collegate al procedere della vita in una società moderna avanzata.

La conoscenza analitica in questa logica deve sfociare nell’intervento correttivo ed in quello stabilizzante ai fini di un degrado che, una volta recuperato non debba ripetersi. Tutto ciò si traduce in tecnologie, servizi, processi, materiali alternativi a quelli tradizionali.

Il presente programma cerca di inquadrare tutto ciò all’interno di alcune tematiche cercando con esse quasi di indicare alle differenti unità scientifiche operative del Consorzio la strada da seguire per contribuire in modo coordinato, affidabile ed incisivo al rispetto della ragione che ha promosso e suggerito la nascita di INCA.

Esso vuole tenere conto di tre elementi fondamentali: i) Metodi e Tecnologie alternativi; ii) innovazione di prodotto; iii) applicazione ai settori merceologici più rappresentativi e al REACH.

### ***Schema del documento***

#### *Macroarea I - Metodi di base*

- *Chimica Fine di sintesi e di estrazione*

#### *Macroarea II - Tecnologie*

- *Clean Technologies ed Energie rinnovabili*
- *Process intensification*
- *Biotecnologie Ambientali*
  - *riciclo e riuso*
  - *rimozioni dall'ambiente*
  - *biorisanamenti*
- *Biotecnologie Industriali*
  - *Innovazione di processo e di prodotto (anche con riferimento alla problematica REACH)*

#### *Macroarea III - Materiali*

- *Materiali innovativi per l'ambiente*

#### *Macroarea IV Applicazioni*

- *Area Metropolitana (inclusi i temi del monitoraggio ambientale in senso lato e dell'interazione fra ambiente e beni culturali)*
- *Impronta ecologica degli alimenti*

## Macroarea I - Metodi di base

### *Chimica Verde in sintesi fine*

La chimica verde ha una forte impronta industriale, essendo per sua natura rivolta a diminuire l'impatto ambientale dei prodotti chimici e quindi primariamente a quelli prodotti su larga scala industriale. Tuttavia, vi sono prodotti di nicchia a volte molto innovativi che vengono preparati in piccola quantità nei laboratori di ricerca, sia industriali che universitari, ma spesso attraverso processi ben lontani dall'ottimizzazione e con impatto ambientale proporzionalmente ben più alto. Seppure l'effettivo danno ambientale causato possa essere in questo caso piccolo a causa delle piccole quantità di materiali usate, è importante che vengano introdotte anche in questo caso valutazioni sulla compatibilità ambientale, che nello spirito della green chemistry devono essere considerati fin dall'inizio prima dell'ottimizzazione.

In questo campo trova naturale applicazione l'uso di nuove tecnologie e di nuovi reagenti e condizioni di reazione, quali;

nuovi catalizzatori e nuove condizioni di catalisi (catalizzatori immobilizzati, nanomateriali, ma anche catalisi organica)

metodi "non convenzionali" di attivazione, cioè quelli di fatto relativamente poco usati in chimica sintetica, quali fotochimica, elettrochimica, uso di microonde e ultrasuoni

condizioni di reazione "non convenzionali", quali "nuovi" solventi, solventi in condizioni supercritiche, liquidi ionici, oppure nuovi (micro reattori).

Si tratta di limitare la barriera netta tra ricerca di base ed applicata, volgendosi a limitare sprechi e inquinamenti (cicli di efficacia dei catalizzatori, recupero e nuovo uso dei catalizzatori, limitazione dei passaggi e dei quantitativi dei reagenti al massimo, valutazione economica, valutazione tossicologica).

A latere di questi progressi sperimentali è importante diffondere la cultura dell'assessment ambientale, cioè della valutazione attraverso procedure di life cycle assessment dell'effettivo danno ambientale causato da ciascun processo e il confronto con metodi alternativi, in modo da poter riconoscere il più presto possibile punti deboli e relativi rimedi.

Nell'università questo atteggiamento ha un importante valore didattico, che può essere sfruttato più precisamente elaborando alcuni passaggi sintetici per i corsi avanzati di laboratorio nella laurea in chimica; nell'industria invece lo stesso atteggiamento ha indubbe ricadute di natura etica ed educativa.

## Macroarea II - Tecnologie

### A) *Tecnologie Pulite ed Energie Rinnovabili*

Uno sviluppo industriale sostenibile, attento alle problematiche ambientali, ai consumi energetici, alla valorizzazione delle materie prime ed alla qualità dei prodotti finiti richiede un notevole sforzo di comprensione dei meccanismi molecolari che sono alla base delle trasformazioni chimiche, ed un adeguamento dei processi di produzione con l'introduzione di operazioni fondamentali più adatte alle nuove problematiche dello sviluppo sostenibile.

La progressiva riduzione dei processi di separazione basati sui passaggi di stato, indotti per via termica e il crescente sviluppo di operazioni di separazione non termiche tipo le separazioni molecolari a membrana ne sono tipici esempi.

L'impiego di fonti energetiche rinnovabili inoltre quali l'energia solare, eolica, geotermica, i gradienti salini, e dei cascami energetici dei processi produttivi richiede particolare attenzione. Queste fonti energetiche alternative molto bene si combinano inoltre con i nuovi processi di separazione non termici, capaci di operare in genere a temperatura ambiente o non di molto superiore.

Studi rivolti alla integrazioni di energie alternative nei processi di separazione e nelle trasformazioni chimiche sono di particolare importanza. Reattori fotochimici, reattori a membrane e reattori a membrane immerse (questi ultimi già considerati BAT nel trattamento delle acque municipali) sono interessanti campi di ricerca, con ancora notevoli potenzialità di sviluppo e di impatto di diversi cicli produttivi.

In particolare i bioreattori a membrana (Membrane Bioreactor MBR) rappresentano una tecnologia emergente di trattamento delle acque, che combina la crescita di una biomassa in sospensione, simile a quella di un processo convenzionale a fanghi attivi, con un sistema a membrana. La più ampia serie di condizioni sperimentali ammesse, la robustezza del sistema rispetto alle variazioni di carico, la ridotta dimensione, la possibilità di automatizzare la maggior parte delle operazioni, la bassa richiesta di manodopera di manutenzione, la ridotta sensibilità a variazione dei flussi idraulici, la facilità di scale-up per produzioni che vanno da meno di 1 m<sup>3</sup>/giorno a 100.000 m<sup>3</sup>/giorno, sono tutti vantaggi della tecnologia MBR fondamentale per la gestione delle acque.

### B) *Process Intensification*

La capacità di soddisfare la crescente domanda di materie prime di energia e di prodotti entro le restrizioni imposte dall'attuazione di uno sviluppo sostenibile costituisce oggi un problema di estrema complessità per l'industria chimica. In questo contesto, le sfide future riguardano l'aumento di produttività mediante l'intensificazione e il controllo multi-scala dei processi, la progettazione di operazioni e metodologie innovative, l'individuazione di procedure in grado di assecondare i crescenti standard di qualità richiesti al prodotto finito, l'implementazione di applicazioni computazionali in grado di gestire i vari stadi di un processo, dalla scala molecolare a quella industriale. Si definisce "**Intensificazione di Processo**" (PI) quella strategia volta al raggiungimento di sostanziali benefici nell'ambito dei vari cicli produttivi, secondo un approccio che mira ad una sostanziale riduzione (e, ove possibile miniaturizzazione) del volume delle apparecchiature. Nella pratica, il legame concettuale tra sostenibilità e dimensione fisica di un impianto produttivo assurge a linea-guida per la progettazione e realizzazione di nuovi dispositivi e per la formulazione di nuovi protocolli operativi, in grado di offrire interessanti contributi all'industria di processo in termini di *elevata flessibilità maggiore sicurezza, avanzata automazione, ridotto fabbisogno energetico, ecosostenibilità e minimizzazione dei sottoprodotti di scarto*.

Nell'ambito della Process Intensification vengono comunemente distinti due aspetti fondamentali: uno legato alla progettazione e sviluppo di nuove apparecchiature (hardware), l'altro connesso alla

implementazione di nuovi metodi e protocolli operativi (software) sulla base di operazioni unitarie pre-esistenti. Ci si riferisce alla figura 1 per l'identificazione delle linee di ricerca di maggiore interesse.

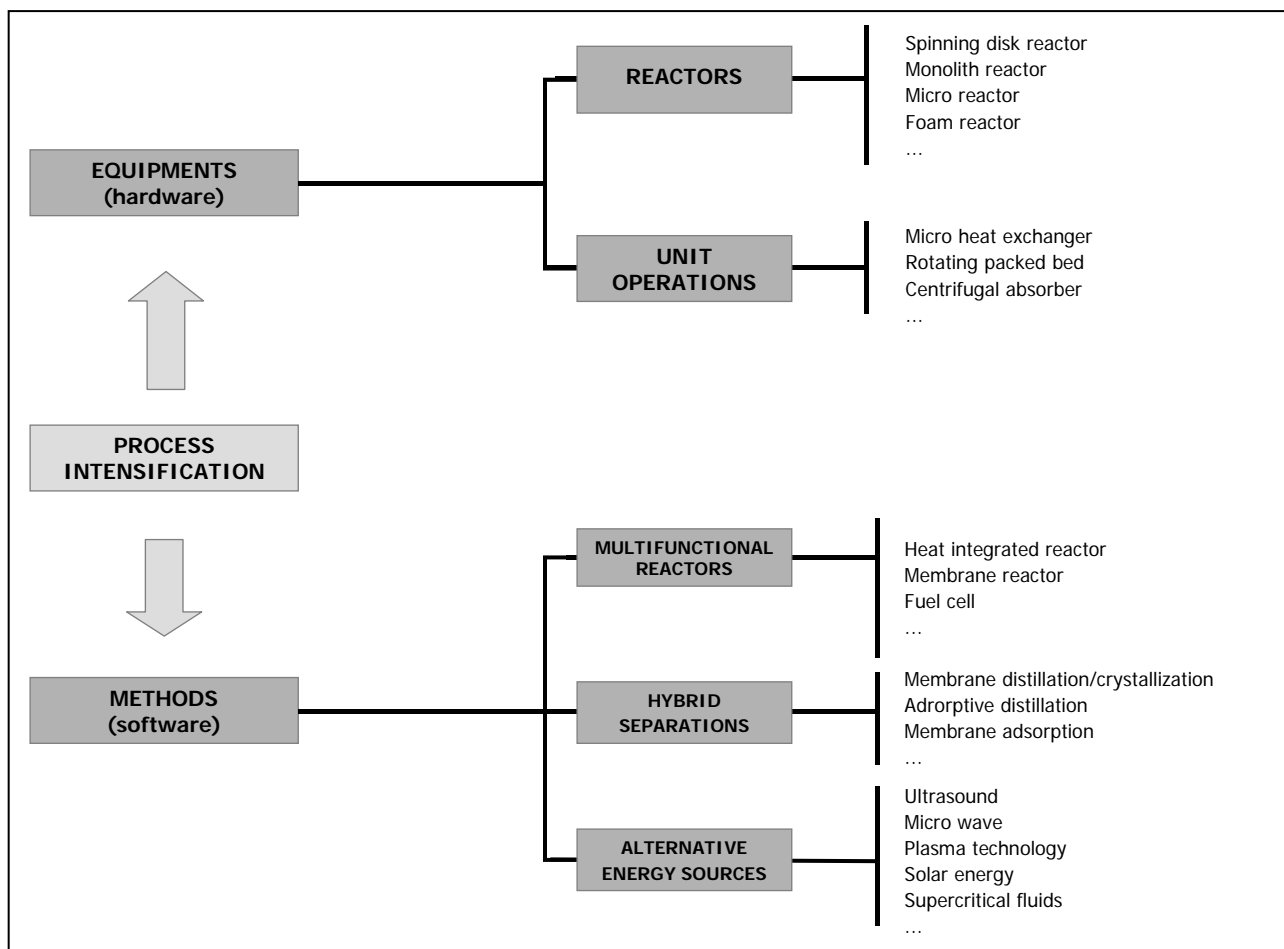


Fig. 1 Classificazione delle principali linee di ricerca nell'ambito della PI.

La recente *European Roadmap for Process Intensification* (2008) ha identificato i potenziali benefici per tre settori industriali di importanza strategica: **Petrochimico, farmaceutico e agroalimentare**. Nel settore petrolchimico, laddove il fabbisogno energetico condiziona in massima parte il costo del prodotto finale, l'aumento di efficienza energetica costituisce il presupposto per un sensibile miglioramento del processo sia da un punto di vista economico (diminuzione dei costi totali), sia della sostenibilità (riduzione di gas serra). Nel settore farmaceutico, la competitività economica costituisce un obiettivo importante rispetto al quale la strategia di PI può offrire un significativo contributo attraverso l'aumento di selettività delle reazioni, di resa del processo e purezza del prodotto finale. I processi agro-alimentari sono generalmente caratterizzati dal fatto che si debbano trattare notevoli volumi di correnti liquide diluite sotto le restrizioni imposte dalla stabilità del materiale di partenza. La competitività economica è in massima parte influenzata sia dal costo del processo di trasformazione del prodotto, sia dal costo del processo di trattamento dei reflui, entrambi ottimizzabili sulla base dei criteri di PI. La Process Intensification si basa su principi spesso radicalmente innovativi ("paradigm shift"), la cui implementazione è subordinante al superamento di barriere concettuali e pratiche, le principali delle quali sono:

- insufficiente know-how da parte dei tecnologi di processo;
- carenza di impianti pilota ed elevato rischio (tecnico e finanziario) di implementazione di dispositivi PI su scala industriale operanti su linee di produzione esistenti;

elevato rischio (tecnico e finanziario) di sviluppo di prototipi su scala industriale;  
sistemi di controllo non specificatamente sviluppati per i nuovi dispositivi PI;  
insufficiente consapevolezza, a livello manageriale, dei benefici potenzialmente conseguibili mediante una strategia di PI.

Il superamento di tali barriere richiede una serie di azioni, parte delle quali di recente già intraprese: uno specifico supporto finanziario alla ricerca di base e applicata quale prerequisito al raggiungimento del “proof-of-concept” su scala laboratorio e al successivo sviluppo di prototipi su scala pilota (in questo senso, l’implementazione di strategie di Process Intensification costituisce una delle tematiche di ricerca finanziate dalla Comunità Europea nell’ambito del 7° Programma Quadro;

lo sviluppo di nuovi metodi analitici e di misura (anche in-situ) per una migliore comprensione degli aspetti termodinamici e cinetici caratteristici dei processi chimici a livello molecolare;

l’implementazione di modelli non-lineari più rapidi e robusti per la modellizzazione di reazioni chimiche;

il potenziamento delle azioni di “knowledge dissemination”.

### **C) Biotecnologie Ambientali**

fra le azioni da intendere per la salvaguardia dell’ambiente gli interventi basati su processi biologici (biotecnologie ambientali) sono destinati a una sempre più estesa applicazione in quanto, rispetto ai processi chimici e fisici, sono in genere meno onerosi dal punto di vista economico e più conservativi delle caratteristiche originali dell’ambiente naturale. Bisogna anche considerare lo **scaling-up** di processo con concorso di conoscenze e metodologie che appartengono non soltanto a differenti ambiti disciplinari, e a cui, per valutare la competitività di un processo biotecnologico in scala industriale la valutazione degli aspetti economici del processo produttivo che si vuole realizzare).

Alcuni settori delle biotecnologie ambientali caratterizzati da attività di ricerca e sviluppo fortemente innovative sono

la *Depurazione di acque reflue civili e industriali* (processi chimici e biologici e fisici, bioreattori, fotodegradazione, biofotodegradazione).

*Processi bioelettrochimici*: sviluppo di MFC (Microbial Fuel Cells) innovative con produzione di energia elettrica accoppiata a depurazione di effluenti inquinanti, impiego di elettrodi come donatori diretti di elettroni in processi di respirazione anaerobica, produzione di idrogeno, di metano e di composti ad elevato valore aggiunto in sistemi bioelettrochimici

*Sviluppo di biosensori e nanobiosensori* (per inquinanti liquidi e gassosi)

### **D) Biotecnologie Industriali**

#### Stato dell’arte del settore in ambito internazionale e italiano

Con Biotecnologie Bianche si intendono le Biotecnologie Industriali e quelle Ambientali, ossia le biotecnologie di interesse sia per le industrie Farmaceutiche (antibiotici, vaccini, anticorpi monoclonali, vitamine, aminoacidi, eccipienti farmaceutici, etc) ed Alimentari (starter microbici, vitamine, aminoacidi, enzimi, proteine, acidi organici, etc), com’è nella tradizione delle biotecnologie industriali, sia per la moderna industria Chimica e Tessile (fine chemicals, building blocks, biopolimeri, biolubrificanti, etc.), quella Cosmetica (antimicrobici, antiossidanti, biopolimeri, etc), dell’energia (biocombustibili e biocarburanti, etc) e quella della protezione ambientale (biosensori, tecniche di biorisanamento, processi avanzati di biotattamento e biovalorizzazione di scarichi e rifiuti, etc).

Sulla spinta dell'aumento del costo del petrolio, si sono manifestati negli ultimi anni chiari segnali di un fortissimo impegno nelle biotecnologie bianche.

Si prevede in particolare una fortissima espansione dell'alternativa biologica agli attuali prodotti chimici (da 30 a 310 miliardi di US\$ nel periodo 2001 – 2010 contro un valore totale di questi prodotti che aumenta solo da 1200 a 1600 miliardi di US\$ nello stesso periodo).

Il mercato dei prodotti delle biotecnologie bianche è in rapida crescita anche in Europa con incrementi fra il 40 e il 70% (McKinskey, June 2008).

Di fronte a questa opportunità però il settore italiano delle Biotecnologie Bianche si presenta molto debole e diviso, rappresentato com'è da una serie di piccole o piccolissime Aziende assolutamente non competitive rispetto alle Aziende Multinazionali del settore.

Però esistono nel settore evidenti priorità di ricerca per una rapida e competitiva crescita in Italia.

### **1) Nuovi e/o migliorati processi biocatalitici per sintesi chimiche**

Obiettivi specifici sono i seguenti:

- a) Ottimizzare l'attività degli enzimi e microrganismi esistenti;
- b) Metodologie rapide e efficienti per selezionarne dei nuovi;
- c) Formulazione di enzimi efficienti e di semplice utilizzo;
- d) Miglioramento della progettazione e ingegneria di processo

### **2) Strategie innovative e/o migliorate per la valorizzazione delle biomasse italiane e dei surplus, sottoprodotti, residui ed effluenti (incluse acque di scarico) dell'industria agroalimentare del Paese**

Obiettivi specifici sono:

- a) Valorizzazione delle biomasse, e dei residui e sotto-prodotti dell'industria agroalimentare. Uso più razionale delle biomasse nazionali specifiche e alternative ai carboidrati. Obiettivo: adattare a queste biomasse i processi di bioconversione, migliorando l'attività e la sensibilità degli enzimi e dei microrganismi e identificando le sinergie con i processi tradizionali oleochimici.
- b) Sviluppo della prossima generazione di processi di fermentazione ad alta efficienza.

Obiettivi:

- Aumento delle rese di processo (engineering metabolico e bio, batteri specializzati, intensificazione di processo);
  - Migliore passaggio di scala;
  - Intensificazione del processo;
  - Riduzione dei residui (sviluppo di tecniche combinate e riciclo)
- c) Processi eco-efficienti e loro integrazione: bioraffinerie

Lo sviluppo di bioraffinerie richiede di sviluppare in maniera integrata un insieme di nuovi processi che permetta lo sfruttamento di tutte le componenti della biomassa di partenza. A tal fine è necessario studiare l'intero *biorefinery value chain* per ottimizzare i costi, ridurre le emissioni, integrare la produzione.

I seguenti aspetti, in particolare, sono i più critici:

- Economia ed eco-efficienza della produzione;
- Implementazione delle tecnologie di bioraffinazione;
- Identificazione delle molecole piattaforma (*bulk chemicals*)

### **3) Miglioramento dei bioprocessi per la produzione di biocombustibili da biomasse**

- a) Processi di idrolisi di biomasse disponibili a basso costo;
- b) Processi di fermentazione ad etanolo;

- c) Processi per la formazione di biogas (biometano e bioidrogeno);
- d) Integrazione dei processi di biogas con sistemi di conversione a energia elettrica, quali celle a combustibili.

#### **4) Strategie innovative e/o migliorate per il biorisanamento di siti ed acque contaminate**

Risulta necessario studiare e sviluppare nuove tecnologie di biorimediazione, in particolare:

- a) Migliorare le conoscenze sui micro-organismi (batteri, funghi)
- b) Migliorare l'ingegneria di processo nelle specifiche condizioni *in situ*;
- c) Creare ed implementare nuovi *tools* biotecnologici per caratterizzazione dei siti, la progettazione degli interventi e la valutazione degli effetti.



## Macroarea III - Materiali

### *Materiali catalitici*

Premesso che la catalisi eterogenea costituisce uno strumento formidabile per la realizzazione di processi sintetici a impatto ambientale ridotto o nullo, la chimica dei materiali funzionali costituisce un settore estremamente esteso e diversificato che presenta interazioni e sovrapposizioni con altre aree tematiche di ricerca sia del consorzio INCA sia di altri consorzi.

La preparazione e caratterizzazione di materiali catalitici così come la tecnologia di superficie non possono prescindere da una profonda conoscenza della nanoscienza per quanto riguarda in particolare la ottimizzazione del processo.

Nel secolo scorso la preparazione di materiali catalitici era essenzialmente basata sulla loro attività intesa come produzione del più alto numero di molecole per unità di area e per unità di tempo. Ciò era dovuto al fatto che lo smaltimento dei sottoprodotti non era particolarmente costoso.

Oggigiorno la situazione è drasticamente cambiata, e l'alto costo del trattamento dei sottoprodotti così come i problemi connessi con il loro impatto ambientale hanno reso la selettività il primo obiettivo nel *design* di un catalizzatore anche a scapito della sua attività. L'obiettivo finale di qualunque studio catalitico è l'applicazione su larga scala; ne consegue pertanto che il *design* di un catalizzatore deve essere realizzato tenendo conto, fin dall'inizio, anche della tipologia di impianto sul quale verrà applicato. In un approccio di tipo supramolecolare il sito catalitico, su una superficie di supporto, viene assimilato ad un nanoreattore nel quale la trasformazione chimica è il risultato di una cooperazione sinergica fra il sito attivo vero e proprio ed il suo intorno chimico esattamente come accade in un enzima.

Imitando la natura si possono progettare processi sequenziali che avvengono in spazi estremamente limitati e siano strutturalmente connessi l'un altro in modo tale che il prodotto di una reazione sia il substrato od il catalizzatore della reazione successiva. Questa cascata di processi è di crescente interesse come strumento per ottenere un aumento di efficienza con minor difficoltà da una scala di laboratorio all'impianto industriale.

È pertanto obiettivo sintetico di fondamentale importanza poter realizzare sistemi catalitici combinati che siano in grado di operare in sequenza promuovendo *multistep* in continuo in cui produzione e sperimentazione avvengano simultaneamente. Va sottolineato che tale approccio costituisce anche uno degli strumenti primari per realizzare la cosiddetta *process intensification*. (v. cap. II)

Una delle più recenti linee di ricerca in questo settore riguarda la costruzione di catalizzatori multifunzionali, capaci di promuovere con alta efficienza e selettività processi che necessitano della coesistenza di siti con opposte caratteristiche (es: acido-base, red-ox), che non si annullino però vicendevolmente. La preparazione e caratterizzazione di tali sofisticati materiali catalitici, sempre più simili ad enzimi, necessita più che mai di profonde conoscenze affidate ad una intensa cooperazione tra esperti di settore specifici.

Aree tematiche:

Catalisi eterogenea quale strumento per la realizzazione di:

- processi eco-sostenibili
- processi in mezzi eco-compatibili
- processi solvent-free
- processi multispet e multicomponent
- processi in flusso continuo
- preparazione ed utilizzo di catalizzatori multifunzionali.

## Macroarea IV - Applicazioni

### *A) Ambiente e Beni Culturali*

Sebbene oggi spesso l'attenzione dei ricercatori e dei tecnici dell'ambiente sia spesso concentrata sugli inquinanti organici anche a livello di traccia, storicamente sono stati gli inquinanti inorganici i primi ad essere studiati ed ancora oggi molte delle centraline che controllano l'inquinamento urbano misurano inquinanti inorganici come CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>. Anche la prima emergenza ambientale da traffico è stata correlata a composti inorganici, in particolare a composti del piombo utilizzati come antidetonanti nella benzina rossa.

Gli inquinanti inorganici oltre all'azione diretta che esercitano sull'ambiente e sulla salute umana, intervengono anche in via indiretta attraverso reazioni fra loro e con altri componenti naturali ed antropici dell'atmosfera interferendo sui bilanci ambientali di specie di grande importanza (radicali, ozono, composti alogenati), nei processi chimici dell'atmosfera, nella conservazione e protezione dell'ambiente, nella produzione di effetti che svolgono un ruolo determinante sulla qualità dell'ambiente e su tutta la vita dell'ecosistema.

Un aspetto altrettanto importante riguarda l'interazione di questi inquinanti con materiali dei Beni Culturali: la solfatazione dei materiali lapidei, la corrosione dei metalli, l'idrolisi di lignina e cellulosa sono alcuni dei processi legati alla qualità dell'ambiente che avvengono a danno dei BB.CC. con il loro conseguente degrado. Si comprende da ciò come il primo intervento protettivo di tali beni non possa che riguardare proprio l'ambiente nel quale sono collocati, venendo così a complementarsi l'un l'altra la scienza e la tecnologia dell'ambiente e quella dei Beni Culturali ed a integrarsi le esperienze maturate sui due fronti. L'acidità atmosferica è il primo nemico dei beni culturali: essa è in grado di solforare il marmo trasformandolo nell'assai meno nobile e stabile gesso, di corrodere a secco ed ad umido i materiali metallici, di idrolizzare lignina e cellulosa rendendole assai meno concrete e soprattutto, nel caso della carta assai meno abile a conservare e trasmettere informazioni e documentazione. Ma non solo l'acidità: anche i radicali prodotti nei processi imperfetti di combustione su cui si basano le produzioni energetiche, anche quelle nei veicoli a motore, sono specie reattive instabili e come tali responsabili dell'attacco ad innumerevoli matrici e biologiche ed abiologiche. C'è infine il problema dell'ambiente indoor: la globalizzazione ha allargato le frontiere ed ha reso sempre più attuale il turismo di massa, al quale corrisponde un uso ed una funzione sempre più massificate delle opere d'arte: gli ambienti indoor dei musei diventano però, in assenza di provvedimenti limitativi delle libertà individuali nell'interesse generale, altrettanti fonti di rischio e/o di danno per importanti opere d'arte per cui diviene sempre più necessario intervenire con monitoraggi e correzioni. Conoscenza, prevenzione, restauro, consolidamento e stabilizzazione sono le fasi di un programma che voglia rimediare ai danni provocati dall'ambiente ai BB.CC.

### *B) Monitoraggio di Inquinanti Urbani*

Il monitoraggio è l'osservazione del destino di uno xenobiotico dal momento in cui si trova nell'ambiente al momento in cui agisce sull'organismo. Scopo del monitoraggio è quello di portare all'adozione di adeguati sistemi di prevenzione, attraverso una valutazione continua o periodica dell'esposizione, degli effetti ed una corretta interpretazione dei dati. Considerata a parte la sorveglianza sanitaria, esistono due tipi di monitoraggio: il monitoraggio ambientale ed il monitoraggio biologico. Scopo del monitoraggio ambientale è la valutazione dei livelli di esposizione esterna attraverso matrici ambientali, quali aria, acqua, suolo ed alimenti. Nell'ambito del monitoraggio biologico invece, i parametri oggetto delle misurazioni sono indicati con il nome di biomarker o indicatori biologici. Essi possono essere rappresentati da composti chimici come tali, dai loro metaboliti o dagli effetti biochimici indotti dagli stessi composti chimici (o dai loro

metaboliti). Le misurazioni vengono effettuate in un'ampia gamma di matrici biologiche di provenienza umana (urina, sangue, aria espirata).

Le concentrazioni di cancerogeni aromatici, quali appunto il benzene ed analoghi, hanno avuto un incremento nell'atmosfera delle città come conseguenza della sostituzione delle benzine contenenti piombo con le benzine verdi che hanno nella loro composizione un alto livello di tali composti

- n-paraffine: 15%
- iso-paraffine: 30%
- cicloparaffine: 12%
- aromatici: 35%
- olefine: 8%
- composti ossigenati: tracce

per il raggiungimento del numero d'ottano, inoltre dipendono fortemente dall'efficienza dei catalizzatori utilizzati negli autoveicoli che a loro volta dipendono non solo da grado di usura ma anche dalle condizioni di marcia.

Circa il 17-19% del benzene rilevato nei centri urbani proviene dalla sua evaporazione durante le fasi di stoccaggio, trasporto, rifornimento e durante le fasi di marcia e di sosta degli autoveicoli, la restante parte risulterebbe dalle emissioni degli stessi veicoli in base all'equazione

“% in peso di benzene nelle emissioni =  $0.5 + 0.44 \times bz + 0.04 \times ar$ ”

dove: bz =% in peso di benzene nella benzina e ar =% in peso degli altri composti aromatici nella benzina che, durante il processo di combustione, possono essere convertiti in benzene.

Il monitoraggio si sta evolvendo verso metodi sempre più selettivi, capaci di ridurre le fasi di separazione dei componenti in miscele, più accurati, possibilmente lineari, con risposte in tempo reale (ai fini di segnalare eventuali situazioni di allarme), capaci di essere incorporati all'interno di stazioni sperimentali urbane. Un aspetto puntualmente sentito riguarda la speciazione chimica: ormai non sempre le concentrazioni totali sono sufficienti come valori per una corretta valutazione; contano cioè sempre di più i contributi che le singole specie danno alle concentrazioni totali.

### ***C) Impronta Ecologica degli Alimenti***

I cambiamenti climatici, al di là della interpretazione della loro causa, impongono alla società civile di adottare tutti i possibili provvedimenti per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. Poiché la dieta alimentare sta nella nostra società assumendo un significato sempre più rilevante in quanto capace non solo di fornire un nutrimento un sostegno, ma anche di agire per lo stabilirsi di uno stato di salute che possa ridurre al minimo il consumo di farmaci, risulta chiaro come il costo in termini di CO<sub>2</sub> emessa per produrre gli alimenti sia una valutazione assai significativa. L'impronta ecologica degli alimenti rappresenta per l'appunto nel ciclo di vita di un alimento il costo in termini di CO<sub>2</sub> emessa. La sua determinazione richiede la messa a punto di metodi di screening, di analisi di valutazione del ciclo di vita che devono essere prodotti dalla ricerca scientifica.