



**UNIVERSITÀ
DI PARMA**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE
CHIMICHE, DELLA VITA E DELLA
SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE



Piano Nazionale
Lauree Scientifiche

Le Frontiere della Chimica
Conferenze divulgative per studenti di quarta e quinta superiore

La chimica nei campi

Prof. Mauro Carcelli

Esplosivi ed altri materiali energetici

Prof. Mauro Carcelli

Italo Calvino, Primo Levi e lo stirene: un incontro fra chimica e letteratura

Prof. Mauro Carcelli

Formule chimiche e chimica di formulazione

Prof.ssa Elena Motti

Sostenibilità di prodotto e sostenibilità dei processi produttivi

Prof.ssa Elena Motti

Cristallografia, chimica e farmaci: un nuovo mondo alla nanoscala

Prof.sse Alessia Bacchi, Chiara Massera

La Chimica Supramolecolare: dalla sociologia molecolare alle nanotecnologie

Prof. Alessandro Casnati

Acidi nucleici "artificiali"- strumenti chimici nella Biologia

Prof. Roberto Corradini

Il mondo allo specchio

Prof. Roberto Corradini

Dispositivi e macchine molecolari: molecole al lavoro

Prof. Andrea Secchi

Corrosione: arte o distruzione?

Prof. Franco Bisceglie

Dalla Natura... alla Natura: “chiudere il ciclo”
Sottoprodotti vegetali, una preziosa risorsa per un packaging sostenibile
Prof.ssa Antonella Cavazza

Materiali a contatto con gli alimenti – Non solo packaging
Prof.ssa Antonella Cavazza

Verso le nuove frontiere del packaging
Prof.ssa Antonella Cavazza

Plastiche e biopolimeri: luci e ombre. Le nuove sfide per il packaging del futuro
Prof.ssa Antonella Cavazza

Come frustare una reazione: la catalisi
Prof. Paolo Pelagatti

I segreti molecolari della gastronomia
Prof. Roberto Corradini

Zuccheri: molecole dalle mille risorse
Prof. Francesco Sansone

**Oltre il silicio: le Dye Sensitized Solar Cells, celle solari sensibilizzate con coloranti
(con costruzione di una cella funzionante)**
Prof. Daniele Alessandro Cauzzi

Abstracts

La chimica nei campi

Prof. Mauro Carcelli

La chimica ha consentito di affrontare su basi scientifiche problemi come l'aumento della capacità produttiva delle terre, la lotta contro i parassiti, la messa a punto di tecniche per la conservazione degli alimenti. Nel XXI secolo, da una parte l'aumento della popolazione mondiale e dall'altra la nuova consapevolezza ambientale stanno ponendo nuove sfide ai chimici di tutto il mondo. Nella presentazione verranno proposti alcuni esempi al riguardo e in particolare si tratterà dell'inquinamento da aflatossine negli alimenti.

Esplosivi ed altri materiali energetici

Prof. Mauro Carcelli

Un materiale viene detto “energetico”, quando nella sua struttura è immagazzinata una grande quantità di energia; gli esplosivi e i combustibili sono esempi di questo tipo. L'uomo è da sempre

alla ricerca di nuovi “materiali energetici”: dalla polvere nera dei Cinesi, alla dinamite di Nobel, ai più recenti esplosivi ad alto potenziale.

Per comprendere cosa accade durante una esplosione o una combustione bisogna studiare le relazioni che esistono fra reazione chimica e liberazione di energia.

Italo Calvino, Primo Levi e lo stirene: un incontro fra chimica e letteratura

Prof. Mauro Carcelli

Nel 1985 Italo Calvino viene incaricato dall'editore Vanni Scheiwiller della traduzione de *Le Chant du Styrène*, un brillante inno alla plastica dello scrittore-matematico francese Raymond Queneau. Calvino è da sempre interessato alla scienza; nel 1960 si presenta dicendo: “Sono figlio di scienziati ... un mio zio materno era un chimico, professore universitario, sposato a una chimica (anzi ha avuto due zii chimici sposati a due zie chimiche) Io sono la pecora nera, l'unico letterato della famiglia.” Per dei consigli sulla traduzione, Calvino contatta Primo Levi. Il carteggio fra questi due intellettuali è una occasione per riflettere sui linguaggi, quello della letteratura e quello della scienza, necessari per descrivere la Natura.

Formule chimiche e chimica di formulazione

Prof.ssa Elena Motti

Lo studio e l'uso concreto della chimica si basa sulla conoscenza delle formule delle molecole, che ci dicono con semplicità quanti e quali atomi siano presenti in un determinato composto. Nella vita quotidiana però non abbiamo spesso a che fare con composti chimici puri, ma con loro miscele complesse, cioè formulazioni, contenenti tanti ingredienti. Ogni ingrediente svolge una determinata funzione all'interno della formulazione e la denota anche da un punto di vista della sua sostenibilità ambientale complessiva.

Nel seminario verranno spiegate le funzioni di ingredienti tipici di formulazioni di uso quotidiano, ricollegando le etichette di composizione con le formule chimiche ed evidenziando la relazione struttura/sintesi/proprietà/funzione degli ingredienti stessi. Partendo da esempi concreti di formulazioni di plastiche, farmaci, detersivi, cosmetici, vernici, etc., il seminario si propone di fornire conoscenze di base per comprendere meglio la composizione dei prodotti che usiamo, e spunti di riflessione per una scelta consapevole e più sostenibile dei prodotti stessi.

Sostenibilità di prodotto e sostenibilità dei processi produttivi

Prof.ssa Elena Motti

La definizione di sviluppo sostenibile universalmente accettata è quella che si trova nella relazione “Our Common Future”, pubblicata oltre 30 anni fa dalla “World Commission on Environment and Development”, secondo la quale lo sviluppo sostenibile è “lo sviluppo che fa fronte ai bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di fare fronte ai propri”, e come tale lo sviluppo può essere sostenibile solo se tiene conto di tre aspetti fondamentali: sviluppo economico, salvaguardia dell'ambiente ed equità sociale.

Durante il seminario con semplici esempi verranno applicati i concetti di “ciclo di vita” e “impronta carbonica” a prodotti e processi produttivi della vita quotidiana di ognuno di noi; inoltre affronterà anche il concetto di Chimica verde, con esempi presi tra i polimeri sostenibili più diffusi (PLA) e tra i processi chimici di larga scala a minor impatto ambientale (processi con reagenti e solventi sostenibili e da biomasse, processi ad elevato riciclo, processi a basso consumo energetico).

Cristallografia, chimica e farmaci: un nuovo mondo alla nanoscala

Prof.sse Alessia Bacchi, Chiara Massera

La cristallografia ha portato la visione molecolare nella scienza, ha popolato di immagini e strutture la chimica moderna, la biologia molecolare, le scienze farmaceutiche, la fisica dello stato solido: la Scienza moderna ha talmente incorporato questa nuova visione del mondo che ormai qualsiasi nuova idea non può prescindere da un'interpretazione strutturale. Grazie alla cristallografia moderna in questi 100 anni l'immaginario scientifico si è arricchito di splendide architetture molecolari, di meravigliose simmetrie, e il concetto di relazione tra forma e funzione si è esteso dal mondo macroscopico delle macchine meccaniche e degli organismi biologici al microscopico mondo delle macchine molecolari, dove dettagli grandi quanto un decimiliardesimo di metro determinano con precisione inesorabile le proprietà di un materiale per l'elettronica, l'efficacia di un farmaco, la funzione di un enzima.

La Chimica Supramolecolare: dalla sociologia molecolare alle nanotecnologie

Prof. Alessandro Casnati

Fin da quando, alla fine degli anni '80, J.-M. Lehn, D. J. Cram e C. J. Pedersen sono stati insigniti del premio Nobel grazie alle loro fondamentali scoperte nel campo della Chimica Supramolecolare, questa branca della Scienza è stata oggetto di un fortissimo e crescente interesse non solo per quanto riguarda gli importanti studi di base che ha originato, ma anche per le numerose applicazioni che si sono, con essa, potute realizzare. La Chimica Supramolecolare ci ha, infatti, insegnato non solo a capire le regole fondamentali con cui le molecole relazionano tra loro (*Sociologia Molecolare*), ma anche come assemblare *Dispositivi Molecolari* atti a compiere predeterminate funzioni (Sensori, Catalizzatori, Trasportatori di Farmaci, Agenti di Contrasto per la risonanza magnetica nucleare ...) e come questi dispositivi possano essere utilizzati nelle *Nanotecnologie* per migliorare la qualità della vita.

Acidi nucleici "artificiali" - strumenti chimici nella Biologia

Prof. Roberto Corradini

Più di cinquanta anni fa fu svelata la struttura della doppia elica del DNA, mostrando come le basi dell'ereditarietà fossero legate ad un codice genetico fatto di molecole che possono essere "lette" e trascritte da parte dei sistemi viventi. Questa scoperta diede impulso al tentativo dei chimici di ottenere gli stessi composti naturali mediante sintesi, e molti metodi sono stati descritti nei decenni successivi. L'efficienza attuale di queste tecniche è tale che oggi è possibile ordinare on-line un frammento di DNA che viene sintetizzato "just in time" e consegnato entro due giorni. Questa disponibilità è stata uno dei fattori che ha permesso l'enorme sviluppo delle biotecnologie e della genomica compiuto negli ultimi decenni.

Contemporaneamente alla sintesi di DNA, si è pensato che le stesse tecniche fossero utilizzabili per ottenere composti simili al DNA, ma modificati nella loro struttura. Sono stati così ottenute molecole completamente artificiali (nel senso che non si trovano in natura) capaci di agire allo stesso modo del DNA, vale a dire conservare e leggere un codice genetico.

Tali molecole, pur non potendo far parte di un sistema vivente, hanno però importanti applicazioni nel rivelare sequenze di DNA a scopi diagnostici e come possibili farmaci in grado di inibire selettivamente l'espressione di un gene (si pensi al caso di oncogeni che sono coinvolti nell'insorgenza dei tumori).

Nella relazione verranno illustrati alcuni esempi recenti di queste applicazioni derivanti dalla recente esperienza di ricerca del relatore.

Il mondo allo specchio

Prof. Roberto Corradini

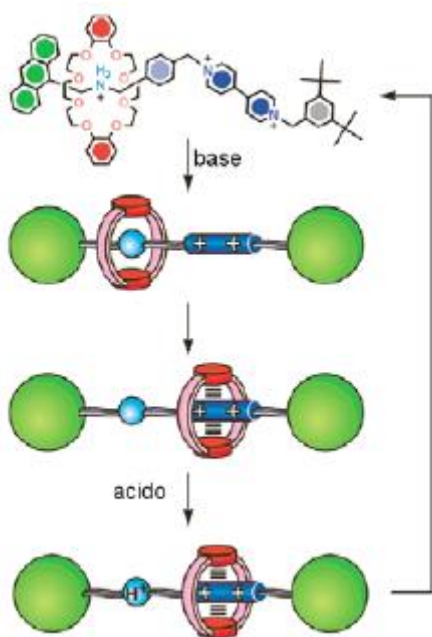
Molte delle molecole del mondo vivente possiedono una forma asimmetrica, che non è sovrapponibile alla propria immagine allo specchio. Nella maggior parte dei casi, i sistemi viventi

utilizzano solo una delle due immagini speculari. Come questa preferenza sia stata generata è ancora uno dei misteri della storia della vita, sebbene alcune affascinanti teorie sono state formulate negli ultimi anni. L'intervento illustrerà alcune di queste problematiche e si soffermerà successivamente sulle conseguenze di questa asimmetria molecolare, in particolare mostrando come le due immagini speculari di un composto siano in realtà due oggetti diversi per i sistemi viventi con esempi tratti dal campo dei farmaci, dei componenti biologici e dei composti di uso alimentare.

Infine verranno illustrate alcune delle sfide che questo problema comporta nella chimica di sintesi.

Dispositivi e macchine molecolari: molecole al lavoro

Prof. Andrea Secchi



Il progresso dell'Umanità è sempre stato collegato alla costruzione di nuovi dispositivi e macchine.

In funzione dello scopo per cui sono stati costruiti, questi dispositivi o macchine, possono essere molto grandi o molto piccoli. Negli ultimi 50 anni, la progressiva miniaturizzazione dei componenti utilizzati per la costruzioni di macchine o dispositivi, ha contribuito all'impetuoso sviluppo di molti campi tecnologici (es. memorie di computers, ecc.). Dal punto di vista concettuale, il processo di miniaturizzazione che ancora oggi viene perseguito consiste nel ridurre le dimensioni di ogni singolo componente della macchina, partendo da oggetti macroscopici. Questo approccio permette di ottenere dispositivi e macchine di dimensioni anche molto piccole (dell'ordine del centinaio di nanometri), ma ha dei limiti oggettivi per cui non è ragionevole pensare di riuscire a ottenere oggetti capaci di svolgere una data funzione con

dimensioni più piccole. In questo contesto, le discipline che sono proprie della chimica hanno dato impulso ad un nuovo orientamento per lo sviluppo di nuove tecnologie che consiste nell'approccio dal basso cioè l'impiego di molecole (le cui dimensioni possono essere anche di pochi nanometri) che possano essere usate come componenti di aggregati più grandi, i quali siano capaci di svolgere una funzione programmata come ad esempio essere capaci di funzionare come una macchina di dimensioni nanometrica. Così come il funzionamento di qualsiasi macchina "tradizionale" richiede un input di energia (es. benzina, energia elettrica, calore), anche una macchina di dimensioni molecolari ha bisogno di energia per funzionare, cioè ha bisogno luce, elettroni, calore, un reagente, ecc.

Nell'esempio di macchina molecolare rappresentato in figura, i componenti sono due: una molecola a forma di asse agli estremi della quale sono presenti due gruppi che per le loro dimensioni costringono l'altro componente, che ha la forma di anello, a rimanere confinato lungo l'asse.

Quando nell'asse sono presenti due posizioni (stazioni pallino blu e cilindro) nelle quali la ruota può risiedere, essa si posizionerà su quella verso cui ha maggiore affinità. Per mezzo di un opportuno stimolo esterno (in questo caso acido/base) è possibile far spostare la ruota nell'altra stazione. Quando cessa l'input di energia la ruota torna nella sua posizione originaria. In questo modo è possibile far compiere un'azione elementare (traslazione della ruota lungo l'asse) in modo reversibile.

Corrosione: arte o distruzione?

Prof. Franco Bisceglie

Con il termine “corrosione” si intende il decadimento che subiscono i materiali a contatto con ambienti vari per il passaggio di loro elementi costitutivi allo stato di combinazione. La forma di corrosione sicuramente più conosciuta è quella che porta il ferro a trasformarsi in ruggine. In passato il termine corrosione riguardava solo il decadimento dei materiali metallici. Oggi viene spesso impiegato per indicare anche il deterioramento di altri materiali. Stime di varia origine indicano che l'entità dei danni, pur variando da settore a settore, risulta compresa per i paesi industrializzati tra il 3 e il 4% del prodotto nazionale lordo. Stime relative agli Stati Uniti parlano addirittura di percentuali superiori al 6%. La corrosione è dunque di interesse larghissimo; provoca danni ingenti, consuma materie prime e risorse energetiche, addirittura a volte uccide persone. Pertanto andrebbe combattuta con tutti i mezzi. La corrosione però non vuol dire sempre e solo danni. Esiste una corrosione costruttiva, come per esempio l'attacco corrosivo che si effettua sui metalli per evidenziare la loro microstruttura, per rendere rugosa oppure lucida la superficie, per ricoprirli con strati protettivi, per produrre matrici di rilievo, per effettuare asportazioni selettive di materiale, per sviluppare idrogeno oppure per creare decorazioni artistiche. In quest'ambito, soprattutto grazie agli studi, ricerche e lavori condotti da un ingegnere chimico lombardo, si è sviluppata la titanocromia, una particolare tecnica che porta alla corrosione localizzata del titanio, e che grazie alle interferenze tra la radiazione luminosa ed i prodotti di corrosione genera particolari colorazioni che hanno dato origine a vere e proprie opere d'arte con un'ampia produzione di quadri, gioielli, complementi d'arredo e molto altro.

Dalla Natura... alla Natura: “chiudere il ciclo”

Sottoprodotti vegetali, una preziosa risorsa per un packaging sostenibile

Prof.ssa Antonella Cavazza

Il packaging alimentare, sebbene abbia tra le sue funzioni quella di proteggere i prodotti dal deterioramento e allungarne la shelf-life, è considerato una importante fonte di inquinamento. La ricerca scientifica è quindi oggi alla ricerca di soluzioni innovative che possano essere inserite nel progetto di Economia Circolare e di Zero-Waste promossi dalla Comunità Europea.

Se guardiamo alla Natura, ci vengono offerti numerosi esempi di “packaging” ideale, caratterizzato da struttura e design perfetti, e costituito da materiali biodegradabili e sostenibili, ricchi di sostanze bioattive in grado di proteggere gli alimenti, come le molecole ad azione antiossidante. Enormi quantità di prodotti e sottoprodotti vegetali vengono scartate in campo agroindustriale, e derivano dai processi di lavorazione delle materie prime alimentari. Questi materiali, ricchi di composti preziosi, potrebbero invece rappresentare una nuova risorsa da inserire nel ciclo produttivo per la produzione di packaging innovativo, sostenibile e green.

Materiali a contatto con gli alimenti – Non solo packaging

Prof.ssa Antonella Cavazza

Alla scoperta delle possibili interazioni tra un prodotto e i materiali con cui entra in contatto, non solo durante il periodo di conservazione, ma anche in seguito ai processi tecnologici di produzione, trasformazione e confezionamento. Saranno descritti esempi che riguardano il campo alimentare, ma anche cosmetico e farmaceutico.

Verranno illustrati possibili fenomeni di migrazioni indesiderate, in particolare da materiali plastici, a partire dall'esempio più noto relativo alla migrazione di bisfenolo dai biberon in polycarbonato. I potenziali contaminanti e i relativi effetti sulla salute del consumatore saranno descritti fornendo cenni alle regolamentazioni vigenti e alle modalità di controllo.

Uno sguardo anche alla vita di tutti i giorni: utensili e pellicole in materiale plastico impiegati correntemente in cucina andrebbero tenuti d'occhio e utilizzati in maniera corretta tenendo conto

della loro stabilità a stress meccanici, chimici e fisici. E' inoltre importante considerare i processi di "invecchiamento" che gli oggetti subiscono, non solo in conseguenza della frequenza con cui li utilizziamo, ma anche dell'età del materiale; infatti il materiale plastico va incontro a progressivo deterioramento anche solo a seguito di semplice esposizione alla luce.

Verso le nuove frontiere del packaging

Prof.ssa Antonella Cavazza

Una "storia" che parte dalla descrizione delle classiche funzioni del packaging, si snoda concentrandosi con il legame al tema di Expo 2015 "nutrire il pianeta", e continua con la presentazione di moderne soluzioni relative a tipologie di packaging "intelligente" (in grado di comunicare lo stato di conservazione di un prodotto) ed "attivo" (che interagisce col suo contenuto preservandolo dai fenomeni di deterioramento).

La storia continua con uno sguardo alla ricerca attuale, volta a sviluppare processi innovativi per la realizzazione di packaging antimicrobici, antifungini o antiossidanti, a base di principi attivi di origine naturale.

E si andrà poi avanti nel tempo, con un'occhiata ai trend che potremmo trovare nel supermercato del futuro: packaging commestibili, contenitori con elettronica integrata, etichette "interattive" che dialogano con il consumatore fornendo informazioni sulle origini, la lavorazione, le caratteristiche nutrizionali del prodotto, ma anche sull'ecologia del packaging e il suo smaltimento. Grande attenzione quindi al packaging sostenibile, che limita gli sprechi, ma anche al tema della comunicazione e all'empatia con l'acquirente.

Plastiche e biopolimeri: luci e ombre. Le nuove sfide per il packaging del futuro

Prof.ssa Antonella Cavazza

Nel contesto della sempre crescente attenzione al tema della sostenibilità e della gestione dei rifiuti, oggi il settore packaging si trova ad affrontare un'importante sfida per minimizzare il suo impatto ambientale e veicolare invece un messaggio di rispetto per l'ecosistema, senza trascurare la sicurezza e la conformità alle normative.

Uno degli obiettivi che si cerca di perseguire è la sostituzione della plastica con materiali alternativi, e si assiste ad una proliferazione di packaging e articoli monouso in legno e carta, con prestazioni però in genere ridotte. E' inoltre indispensabile eseguire controlli analitici che ne valutino la composizione, misurino migrazioni di eventuali contaminanti in maniera puntuale, e forniscano informazioni sulla stabilità di questi materiali nel tempo, soprattutto a contatto con i diversi prodotti.

La ricerca scientifica si è attivata per proporre soluzioni innovative all'interno di quella che si definisce "economia circolare", proponendo materiali "bio" anche ricavati da sottoprodotti dell'industria agroalimentare. Un'interessante prospettiva è quella di coniugare a ciò anche le funzioni di packaging "attivo" per migliorare la conservazione degli alimenti, "intelligente" per comunicare con il consumatore e "smart" per incrementare la tracciabilità sfruttando le tecnologie avanzate.

Come frustare una reazione: la catalisi

Prof. Paolo Pelagatti

Il titolo si ispira alla definizione che il chimico tedesco Wilhelm Ostwald diede di catalizzatore, cioè una sostanza in grado di aumentare in modo significativo la velocità di una reazione chimica. Se ne comprende quindi l'immediata importanza applicativa, che vede i catalizzatori largamente impiegati in molti processi produttivi per l'ottenimento di composti chimici fondamentali per la sintesi di sostanze plastiche, farmaci, aromi naturali, solo per citarne alcuni. La catalisi è anche uno dei processi che consentono la vita sul nostro pianeta, essendo gli enzimi i catalizzatori naturali per

eccellenza, ed essendo la fotosintesi un processo catalitico. Il seminario avrà quindi lo scopo di introdurre in modo semplice il concetto di catalisi, avvalendosi di esempi derivanti dal mondo naturale così come dal mondo industriale, mettendo in risalto il ruolo che la catalisi ricopre, o è attesa ricoprire, nelle sfide che l'uomo ha di fronte per una corretta gestione ambientale ed energetica del pianeta Terra.

I segreti molecolari della gastronomia

Prof. Roberto Corradini

Dalla Cucina alla Chimica, andata e ritorno. Oltre ad essere una necessità, l'arte di cucinare è un insieme di trucchi e tradizioni che molto (anche se per i più inconsapevolmente) hanno a che fare con la Chimica. Comprendere il significato di alcune operazioni che si compiono nella cucina permette di introdurre la Chimica come materia "amica", che aiuta a capire i segreti e a sfatare alcuni miti dell'arte culinaria. Questa comprensione passa necessariamente attraverso gli aspetti molecolari, quindi alla necessità di una descrizione basata sul metodo scientifico. Questo percorso è un ausilio didattico molto efficace, come sperimentato in diversi incontri organizzati sull'argomento. Si può partire da un problema pratico e scomporlo nei suoi elementi, descrivendo le proprietà chimiche dei componenti alimentari in modelli semplificati, per poi ricomporli nella complessità della materia alimentare. Così facendo non solo si acquisisce un miglior controllo sulle operazioni necessarie per ottenere un egregio risultato in cucina, ma si può ricombinarne gli elementi e reinventarne i processi in maniera originale.

Si propone perciò un modello di lezione organizzato come un menù da ristorante, dall'antipasto (prosciutto di Parma), al dolce (Zabaione), analizzando per ciascun piatto le molecole coinvolte, le loro proprietà, le trasformazioni che avvengono durante la cottura, l'origine del gusto, del colore, degli aromi e della consistenza dei piatti. Infine, perché non gettare uno sguardo al futuro, agli orizzonti aperti dalla cosiddetta "cucina molecolare"?

Zuccheri: molecole dalle mille risorse

Prof. Francesco Sansone

In genere, quando parliamo o sentiamo parlare di zuccheri o carboidrati pensiamo subito al saccarosio che utilizziamo per dolcificare il caffè, il the, i dolci che prepariamo a casa, pensiamo al glucosio e al fruttosio presenti naturalmente nella frutta e nel miele, agli sciroppi utilizzati nell'industria alimentare. Pensiamo alle calorie che essi forniscono, fonte indispensabile di energia per il nostro corpo, e nelle quali è comunque bene non eccedere. Probabilmente pensiamo anche a forme più complesse di carboidrati come l'amido, il glicogeno e la cellulosa, polimeri costituiti da unità ripetute di glucosio che svolgono una funzione di stoccaggio e/o strutturale per gli organismi che li sintetizzano. Quasi certamente, però, è molto meno noto che alcuni di questi zuccheri e polisaccaridi, modificati chimicamente, acquisiscono importanti proprietà completamente diverse da quelle originarie, generando per esempio materiali innovativi. Così forse si ignora che i carboidrati rivestono abbondantemente la superficie delle cellule e che grazie proprio ad essi le cellule sono in grado di comunicare con l'esterno attraverso contatti specifici che si verificano tra questi carboidrati ed altre entità biologiche chiamate recettori. Alcuni di questi contatti sono purtroppo anche l'interruttore con cui si attivano malattie più o meno gravi, ma allo stesso tempo costituiscono un importantissimo obiettivo per lo sviluppo di nuovi farmaci e vaccini capaci di contrastare queste stesse malattie.

Oltre il silicio: le Dye Sensitized Solar Cells, ovvero celle solari sensibilizzate con coloranti (con costruzione di una cella funzionante)

Prof. Daniele Alessandro Cauzzi

Introduzione sulle celle solari DSSC, le Dye Sensitized Solar Cells. Chimica e struttura dei componenti, principi chimico-fisici di funzionamento. Costruzione di una cella e misura di potenziale e corrente utilizzando una lavagna luminosa o lampada simile.