

# IL PROGETTO DI ORIENTAMENTO E FORMAZIONE DEGLI INSEGNANTI - AREA SCIENZA DEI MATERIALI

## 1 • MOTIVAZIONI E OBIETTIVI SPECIFICI

### 1.1 • Orientamento e formazione in Scienza dei Materiali

Il PLS-Scienza dei Materiali ha chiaramente caratteristiche e motivazioni particolari, rispetto ai tre progetti, che chiameremo 'disciplinari', di Matematica, Fisica e Chimica.

Infatti la Scienza dei Materiali è una branca scientifica assai più giovane delle tre scienze storiche precedenti, con la caratteristica fondamentale di essere interdisciplinare fra la fisica e la chimica della materia solida. Il grande sviluppo autonomo di questo settore scientifico, nel quale veramente la distinzione tra aspetti fisici e aspetti chimici perde spesso significato, ha giustificato la creazione di una nuova disciplina indipendente. L'altro connotato centrale della Scienza dei Materiali è la sua stretta relazione con gli aspetti tecnologici dei fenomeni che sono oggetto di studio, come il concetto stesso di 'materiale', intrinsecamente legato alle proprietà applicative, chiaramente testimonia. Basterà pensare ai semiconduttori, materiale base dei dispositivi elettronici e informatici, ai polimeri (materie plastiche), alle leghe metalliche speciali, ai ceramici avanzati, e a tanti altri esempi consimili.

Proprio per la sua giovinezza e relativa complessità, la Scienza dei Materiali è attualmente insegnata nelle Università, ma non nella Scuola media inferiore e superiore. Corsi di Laurea di I livello in Scienza dei Materiali, metà circa dei quali afferiscono alla classe di Chimica e metà alla classe di Fisica, sono attivati in una dozzina di Università italiane. In molte di esse sono anche presenti Corsi di Laurea di II livello in Scienza dei Materiali, e scuole di Dottorato di ricerca sulla stessa tematica. La nascita dell'attività formativa universitaria nel campo della Scienza dei Materiali, avvenuta una dozzina di anni fa, servì a colmare una grave lacuna rispetto all'offerta didattica esistente

di  
Michele Catti  
Dipartimento  
di Scienza  
dei Materiali,  
Università  
di Milano Bicocca,  
Coordinatore  
Nazionale  
PLS-Scienza  
dei Materiali

da decenni nella maggior parte delle Università europee, americane e giapponesi. Infatti, come si è detto sopra, la Scienza dei Materiali copre uno spazio culturale e tecnologico di primaria importanza a cavallo della fisica della materia e della chimica dello stato solido. Esse sono tra loro strettamente legate nella visione moderna, e da questa concezione interdisciplinare hanno tratto l'impulso vigoroso alle scoperte e innovazioni degli ultimi anni. Le ricadute tecnologiche costituiscono la base per un possibile sviluppo industriale dell'Italia che mantenga il collegamento con le nazioni di punta a livello mondiale. A questo proposito, è opportuno ancora sottolineare che *i percorsi formativi universitari incentrati sulla Scienza dei Materiali sono nati anche come risposta a una domanda esplicita del mercato del lavoro, proveniente da importanti settori industriali collocati in diverse regioni italiane.*

Poiché la Scienza dei Materiali non è presente nei programmi d'insegnamento della Scuola, gli studenti secondari non sono evidentemente al corrente della sua natura e, spesso, della sua esistenza. A loro volta, gli insegnanti di fisica e di chimica della Scuola media superiore hanno sovente un'idea sommaria dei contenuti della Scienza dei Materiali, della sua importanza, e di come elementi di Scienza dei Materiali potrebbero ravvivare e modernizzare gli argomenti di chimica e di fisica che essi insegnano. Perciò è evidente l'obiettivo primario, attraverso il Progetto «Lauree Scientifiche», di portare studenti e insegnanti a contatto con alcuni semplici tematiche di Scienza dei Materiali attraverso l'approccio sperimentale, ovvero mediante l'esecuzione di adatte sperimentazioni di laboratorio.

Tale orientamento è particolarmente necessario perché l'esistenza stessa della disciplina, la sua natura e i suoi rapporti con la chimica e la fisica, l'interesse delle ricadute tecnologiche e dei possibili sbocchi occupazionali per i laureati in Scienza dei Materiali sono tuttora scarsamente noti al pubblico anche scientificamente informato. Questo stato di fatto ha reso estremamente attuale e pertinente un inserimento della Scienza dei Materiali nel Progetto «Lauree Scientifiche». Esso inoltre ha consentito di rafforzare l'interesse dei giovani verso le scienze della materia non vivente, presentando, accanto alle tre grandi discipline storiche (matematica, fisica e chimica), anche un nuovo percorso formativo interdisciplinare tra fisica e chimica che permetta di meglio apprezzare il carattere sostanzialmente unitario della cultura scientifica 'esatta', e di valutare direttamente l'impatto che questa può avere su aspetti importanti della tecnologia più moderna.

### 1.2 • Quadro di riferimento occupazionale

Il Progetto «Lauree Scientifiche» è stato impostato con un'ambizione esplicita: collegare l'aspetto di orientamento studenti/formazione insegnanti a un'analisi realistica delle esigenze del mercato del lavoro, e quindi alle richieste formative

È evidente l'obiettivo primario, attraverso il Progetto «Lauree Scientifiche», di portare studenti e insegnanti a contatto con alcuni semplici tematiche di Scienza dei Materiali attraverso l'approccio sperimentale

del mondo aziendale. Nel caso del PLS-Scienza dei Materiali, questo collegamento si è posto come una delle motivazioni fondamentali del Progetto, proprio per le caratteristiche particolarmente orientate alle applicazioni industriali che si è detto sopra sono proprie di questa disciplina.

Un numero molto grande di realtà produttive che si occupano di materiali ha sede nella maggior parte delle regioni italiane. Cartiere, cementifici, aziende per la produzione e stampaggio di materie plastiche, industrie di semiconduttori, fabbriche di prodotti per l'imballaggio, industrie ceramiche e metallurgiche, centri di ricerca su materiali avanzati o tradizionali sono disseminate nel nostro territorio. Spesso, però, manca da parte di queste aziende l'informazione sulle caratteristiche formative dei curricula in Scienza dei Materiali, e viceversa il mondo della Scuola e gli studenti non conoscono l'esistenza di molti di questi sbocchi occupazionali.

Il Progetto di Scienza dei Materiali è stato anche motivato in modo determinante dal desiderio di contribuire a colmare questo divario, attraverso attività e strumenti organizzativi che verranno presentati più in dettaglio nei paragrafi seguenti, ma che qui possiamo anticipare in due aspetti. Prima di tutto l'aspetto di censimento, pur in forma parziale, delle aziende interessate a collaborare all'attività formativa in Scienza dei Materiali, realizzandone un elenco significativo, che dia l'idea della ricchezza e varietà d'impresе operanti nell'ambito dei materiali e soprattutto permetta agli studenti delle Scuole superiori e universitari di rendersi conto della rilevanza dei materiali e della Scienza dei Materiali nel mondo del lavoro. Nell'altra direzione, tale repertorio può permettere anche alle aziende di farsi conoscere da studenti, ricercatori e docenti, operatori scolastici, insegnanti. In secondo luogo, dar vita alla possibilità di un incontro diretto tra studenti e mondo del lavoro, mediante opportuni soggiorni di tirocinio in azienda da parte degli studenti stessi.

Volendo esemplificare su una specifica categoria produttiva, possiamo citare le aziende che operano nel settore dei materiali per imballaggio (in vetro, in alluminio, in acciaio, in cellulosa, in materiali polimerici). L'Italia ha una forte rilevanza in questo contesto settoriale, in quanto incide per circa il 4% sul prodotto mondiale e in Europa è al secondo posto con la Francia, solo dopo la Germania. In particolare, si sono avuti significativi successi negli ultimi anni nel nostro Paese nel campo della progettazione di imballaggi flessibili presso i produttori di beni non durevoli e alimentari. Queste attività, come in campi analoghi per altri tipi di materiali, richiedono personale tecnico-scientifico con una formazione versata sia nella chimica sia nella fisica, poiché possono essere richiesti interventi da parte dello stesso operatore tanto nella fase di sintesi e analisi del prodotto, quanto in quella di caratterizzazione delle proprietà fisiche e tecnologiche. Da questo punto di vista, quindi, il curriculum del laureato in Scienza dei Materiali si presenta di particolare interesse per un vasto settore dell'apparato produttivo.

**L'Italia ha una forte rilevanza in questo contesto settoriale, in quanto incide per circa il 4% sul prodotto mondiale e in Europa è al secondo posto con la Francia, solo dopo la Germania**

### 1.3 • Obiettivi

Il Progetto si è posto lo scopo di organizzare e attuare una serie di attività, coordinate tra le diverse sedi universitarie partecipanti, finalizzate al conseguimento dei seguenti obiettivi.

- a) Fornire agli studenti della Scuola media superiore un'informazione chiara e stimolante sulla natura della Scienza dei Materiali e sui suoi rapporti con la fisica, la chimica e la matematica. Incentivare, presso gli studenti, l'attitudine a una moderna riflessione interdisciplinare sui fenomeni fisico-chimici di trasformazione della materia, e sulle proprietà utili dal punto di vista tecnologico che da essi risultano.
- b) Avvicinare gli studenti di Scuola secondaria alla conoscenza diretta dell'attività sperimentale di laboratorio nei settori della chimica e della fisica dei materiali, mediante la partecipazione a semplici sperimentazioni guidate presso laboratori universitari opportunamente attrezzati, con la collaborazione dei loro insegnanti.
- c) Rendere edotti i giovani che la conoscenza dei materiali dal punto di vista chimico-fisico è uno dei punti di forza di molte successive specializzazioni professionali, e riveste una particolare valenza sotto l'aspetto dell'ecologia e della eco-sostenibilità dello sviluppo socio-economico nazionale e locale.
- d) Realizzare prodotti informatici da collocare su siti ad accesso pubblico e/o riservato, contenenti materiale formativo su fisica e chimica della materia condensata e dei materiali. Il livello di approfondimento potrà essere opportunamente differenziato a seconda della destinazione a studenti della Scuola secondaria o studenti universitari.
- e) Informare specifici settori del mondo industriale sul profilo tecnico-scientifico dei laureati in Scienza dei Materiali e sulle competenze interdisciplinari di tipo chimico e fisico da essi acquisite. Progettare e realizzare attività di stage e tirocinio per studenti presso industrie e imprese attive nel settore dei materiali, in modo da migliorare i rapporti tra formazione universitaria e mondo del lavoro e fornire orientamento all'inserimento occupazionale *postlauream*. Recepire le indicazioni e i suggerimenti provenienti dal mondo aziendale per migliorare la formazione/informazione degli studenti finalizzata agli sbocchi lavorativi.

Il Progetto si è posto lo scopo di fornire agli studenti della Scuola media superiore un'informazione chiara e stimolante sulla natura della Scienza dei Materiali e sui suoi rapporti con la fisica, la chimica e la matematica

## 2 • ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 • Organizzazione e attività

Per soddisfare alle motivazioni illustrate nei paragrafi precedenti, il Progetto nazionale «Lauree Scientifiche»-Scienza dei Materiali si è articolato in una parte

principale relativa all'*Orientamento e Formazione degli Insegnanti*, e una parte secondaria concernente gli *Stage* degli studenti universitari presso le aziende. In questa sede riferiremo sui risultati ottenuti per la prima parte del Progetto. Questo si organizza in **11 sottoprogetti locali** appoggiati presso altrettante sedi universitarie; il coordinatore nazionale appartiene alla sede dell'Università di Milano «Bicocca». La distribuzione geografica delle sedi (Tabella 2.1) è ragionevolmente equilibrata, coprendo sia il Nord, sia il Centro sia il Sud del Paese, pur in presenza di un numero complessivo di sedi che è circa un terzo di quello degli altri tre progetti disciplinari (Matematica, Fisica e Chimica).

Si ricorda che i Corsi di Laurea di Scienza dei Materiali appartengono in parte alla classe di Chimica e in parte alla classe di Fisica, ma con una rappresentanza pressoché paritaria delle materie d'insegnamento fisiche e chimiche negli ordinamenti didattici di tutte le sedi. Pertanto l'interesse principale di questo quarto progetto nazionale è legata al suo carattere d'interdisciplinarietà tra chimica e fisica, e anche al forte accento sulle applicazioni tecnologiche, che risponde a una domanda esplicita di settori industriali di punta presenti sul mercato del lavoro. Si sono previste due linee d'azione rivolte a orientamento e formazione insegnanti.

#### A) Laboratori regionali

Ogni sede ha istituito laboratori integrati di chimica e fisica con finalizzazione alle applicazioni di Scienza dei Materiali, strutturati su cicli di sperimentazioni destinate agli studenti delle medie superiori, in collaborazione con i loro insegnanti. In tali laboratori si è attuata la partecipazione ad attività pratiche della durata di alcune mezze giornate per classi di studenti della Scuola secondaria, e/o la realizzazione di esperienze di laboratorio con partecipazione attiva per 4-5 pomeriggi per gruppi di ragazzi opportunamente selezionati e assistiti dagli insegnanti della Scuola secondaria. Le attività di laboratorio sono state progettate congiuntamente dai docenti universitari e dagli insegnanti partecipanti al Progetto.

Gli studenti hanno eseguito esperienze di base di chimica e fisica dei materiali, quali per esempio sintesi chimica e crescita di semplici materiali cristallini, caratterizzazione elettro-ottica di semiconduttori, analisi in microscopia ottica ed elettronica di materiali vari, con il duplice obiettivo di:

- iniziarli ai metodi di preparazione, di analisi e caratterizzazione di materiali;
- stimolarli a prendere atto delle notevoli ripercussioni del lavoro dello scienziato dei materiali sullo sviluppo tecnologico attuale.

Alle attività sperimentali hanno partecipato docenti e ricercatori universitari e di enti di ricerca, giovani laureati esercitatori finanziati con i fondi del Progetto, e gli insegnanti delle Scuole secondarie, che hanno contribuito in modo determinante alla realizzazione dei lavori e contemporaneamente hanno sviluppato competenze disciplinari da trasferire poi nel lavoro quotidiano delle loro classi.

In alcune sedi sono stati anche realizzati laboratori di approfondimento, per un numero più limitato di studenti e di durata e impegno maggiore.

### B) Formazione telematica a distanza

Questa azione ha avuto per oggetto l'informazione e apprendimento per via telematica, da parte degli studenti della Scuola secondaria partecipanti, di elementi di Scienza dei Materiali e delle loro basi fisico-chimiche fondamentali. L'attività si è basata sull'allestimento e utilizzo di un sito web con materiale formativo e informativo sui contenuti fisici e chimici della Scienza dei Materiali e sui possibili sbocchi occupazionali collegati, con l'ausilio di materiale stampato di supporto.

Si sono sviluppati e impiegati prodotti multimediali con test di valutazione e autovalutazione, disponibili su supporto fisso o in rete, sotto la direzione della sede di Parma partecipante al Progetto. Lo studente ha potuto accedere al materiale didattico con libertà di tempi e di modi (rete e supporto fisso, per esempio CD-ROM o DVD), e con l'assistenza del personale universitario e della Scuola partecipante al Progetto.

Sono stati individuati argomenti di interesse generale, sviluppati in tre o quattro *moduli tematici* (per esempio energia, nanotecnologie, ambiente, ecc.) che mirano a sottolineare sia il ruolo che la Scienza dei Materiali ha svolto e può svolgere nello sviluppo delle conoscenze e nell'innovazione tecnologica, sia la ricchezza di potenzialità occupazionali che si offrono allo scienziato dei materiali in una vasta serie di settori applicativi, non ultimo quello vastissimo e di enorme potenzialità futura quale quello ecologico. Gli insegnanti partecipanti al Progetto hanno collaborato alla definizione di contenuti e modalità attuative dell'azione, in modo da essere poi in grado di trasferire l'esperienza acquisita nella loro attività didattica corrente.

Entrambe le linee di azione hanno coperto sia il primo sia il secondo anno del Progetto.

### 2.2 • Dati quantitativi su enti, personale partecipante e costi

I **dati generali riassuntivi relativi all'intero Progetto** si trovano nelle Tabelle da 1.1 a 1.6 della parte *Tabelle riassuntive nazionali*, dove sono messi a confronto con quelli degli analoghi progetti per le aree della Chimica, della Fisica e della Matematica.

Nelle Tabelle 2.1, 2.3, 2.8 si trovano poi i dati relativi alle **risorse** impegnate per il progetto *Scienza dei Materiali*. La maggior parte dei dati sono riassunti nella Tabella 2.1.

La successiva Tabella 3.1 contiene poi i dati sui **numeri di studenti e insegnanti** effettivamente coinvolti, contando la stessa persona più volte se ha partecipato ad attività distinte del Progetto, e sul numero di relativi questionari compilati.

L'attività si è basata sullo allestimento e utilizzo di un sito web con materiale formativo e informativo sui contenuti fisici e chimici della Scienza dei Materiali e sui possibili sbocchi occupazionali collegati

Un confronto quantitativo tra i quattro progetti disciplinari, relativo alle Scuole, Enti e Personale partecipanti in ciascun caso, è riportato nelle Tabelle 1.1-1.6 (alle pp. 52-55).

Per quanto riguarda Scienza dei Materiali, abbiamo un numero totale di 219 Scuole coinvolte, tra le quali figurano come più rappresentati 87 Licei Scientifici, 52 Istituti Tecnici Industriali e 27 Licei Classici. La percentuale di rappresentanza dei tipi di Scuole non si discosta molto negli altri progetti. Riferendoci alle 11 sedi universitarie del Progetto, abbiamo quindi una media di 20 Scuole partecipanti per sede sui due anni di durata del Progetto. Tale valore è in linea con quanto osservato negli altri tre casi, e riteniamo che si sia trattato di un numero ottimale per assicurare una partecipazione adeguata e, nel contempo, la possibilità di seguire con cura le unità scolastiche coinvolte.

Con riferimento agli Enti partecipanti, si può notare la percentuale elevata di aziende private e associazioni presenti nel Progetto di Scienza dei Materiali, con valori simili a quelli del Progetto di Chimica e superiori agli altri casi. Questi dati trovano riscontro nella Tabella 1.5 relativa al personale coinvolto, da cui risultano, per il progetto di Scienza dei Materiali, le percentuali più alte di partecipazione di unità di personale delle associazioni industriali, delle imprese e di altri enti. Il personale della Scuola (insegnanti) risulta presente in proporzione simile ai progetti di Fisica e Chimica (tutti un po' inferiori alla Matematica), e rappresenta, come negli altri casi, di gran lunga la frazione maggiore. Ancora è da notare che la percentuale di personale a contratto supera quella del personale universitario docente di ruolo, a differenza che negli altri progetti, situandosi al secondo posto dopo il personale della Scuola. In definitiva, possiamo dire che il Progetto di Scienza dei Materiali si caratterizza per un peso più ridotto dei docenti universitari di ruolo all'interno del personale partecipante, a favore del personale a contratto e di altri enti.

I dati numerici riassuntivi relativi alle 11 sedi del Progetto sono contenuti nelle Tabelle 2.1-2.8.

La partecipazione del personale della Scuola è distribuita in modo abbastanza omogeneo tra le diverse sedi, anche se il numero di Istituti scolastici varia maggiormente da caso a caso, con una compensazione dovuta al numero di insegnanti per scuola. Per quanto riguarda i dati riassuntivi sul numero di ore d'impegno del personale (Tabella 2.3), notiamo che il contributo maggiore viene dagli insegnanti e subito dopo dal personale a contratto (esercitatori), seguiti dai docenti universitari di ruolo in terza posizione. Vi è anche una buona rappresentanza di personale delle associazioni industriali e di altri enti.

### 2.3 • Contenuti delle attività di laboratorio e di formazione a distanza

Per quanto riguarda le attività, tutte le sedi si sono impegnate prioritariamente sulla linea d'azione centrale A), ovvero i *laboratori sperimentali regionali*, e in

Possiamo dire che il Progetto di Scienza dei Materiali si caratterizza per un peso più ridotto dei docenti universitari di ruolo all'interno del personale partecipante, a favore del personale a contratto e di altri enti

secondo luogo sull'azione B) della formazione telematica a distanza. I laboratori regionali sono stati concepiti e attuati primariamente come laboratori in cui gli studenti in parte assistono a dimostrazioni, in parte eseguono personalmente semplici sperimentazioni sulla fisica e chimica dei materiali, in base a un programma concordato precedentemente da docenti universitari e insegnanti, e illustrato agli studenti anche mediante la distribuzione di materiale didattico appositamente preparato.

L'impegno chiesto a ogni studente variava in media da due a quattro pomeriggi consecutivi.

A conclusione dei laboratori, in molte sedi è stato chiesto agli studenti di produrre presentazioni e/o poster d'illustrazione dell'attività svolta, e i migliori sono stati premiati ottenendo un grande motivazione nella partecipazione.

Passiamo a esaminare sinteticamente i contenuti specifici delle sperimentazioni di laboratorio attuate nelle diverse sedi.

*Bari:* (1) Deposizione via plasma di un film sottile polimerico in funzione idrofobica. (2) Il colore degli elementi che compongono la materia: esperimenti di saggi alla fiamma su diversi sali. (3) I nanomateriali: sintesi colloidale di nanoparticelle di oro, fotodegradazione di un colorante organico, incorporazione di semiconduttori nanocristallini in matrici polimeriche. (4) Esperimenti dimostrativi di interazione laser-materia.

*Cagliari:* (1) Sintesi e caratterizzazione strutturale e magnetica di nanomateriali. (2) Sintesi di catalizzatori (zeoliti e ossidi misti) e studio dei processi catalitici. (3) Analisi di superfici, elettrochimica e corrosione. (4) Proprietà ottiche dei composti del III-V gruppo, e applicazioni alla fotonica e microelettronica. (5) Ottica non lineare con applicazioni alla fotonica (laser ad alta potenza).

*Cosenza:* Esperienze e dimostrazioni su varie tematiche di fisica e di chimica dello stato solido.

*Genova:* (1) Realizzazione di un catalizzatore nanometrico. (2) Analisi di sistemi auto-organizzati.

*Milano:* (1) Preparazione e caratterizzazione di materiali polimerici (elastomeri). (2) Conversione fotovoltaica dell'energia luminosa (realizzazione di una cella solare). (3) Caratterizzazione spettroscopica di materiali: proprietà ottiche di vetri. (4) Preparazione e caratterizzazione di semplici dispositivi (LED organici). (5) Preparazione e studio di vetri colorati.

*Napoli:* (1) Esperienze di laboratorio di ottica dei materiali semiconduttori. (2) Esperienze di diffrazione X su materiali polimerici.

*Padova:* (1) Assemblaggio di una cella di Grätzel. (2) Preparazione del superconduttore YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ) mediante metodo ceramico con verifica delle proprietà superconduttrici mediante effetto Meissner. (3) Preparazione di film di  $\text{WO}_3$  via CVD. (4) Deposizione di film di ossidi, o metalli mediante Magnetron Sputtering. (5) Assemblaggio di una batteria a ioni litio. (5) AFM:

A conclusione dei laboratori, in molte sedi è stato chiesto agli studenti di produrre presentazioni e/o poster d'illustrazione dell'attività svolta, e i migliori sono stati premiati ottenendo un grande motivazione nella partecipazione



esperimenti in remoto di microscopia a forza atomica mediante controllo dell'apparecchiatura attraverso collegamento Internet.

*Parma:* Insieme di dodici esperimenti possibili, tra cui: (1) Preparazione di ossidi macroporosi per applicazioni fotoniche e sensoristiche. (2) Coating ceramici su vetro per via sol-gel. (3) Sintesi e caratterizzazione di «nanofili» di ossido di stagno per sensori di gas. (4) Preparazione e studio di una fullerite superconduttiva. (5) Preparazione e analisi di un campione ferromagnetico intermetallico.

*Roma:* (1) Realizzazione di una cella a combustibile. (2) Preparazione e levitazione di un superconduttore YBCO. (3) Sintesi di un vetro organico (SOLGEL).

*Torino:* (1) Esperienze di microscopia elettronica e simulazione al calcolatore sulla struttura dei materiali. (2) Preparazione di vetri colorati e di xerogeli. Lezioni e conferenze su argomenti vari di Scienza dei Materiali.

*Venezia:* Insieme di dieci esperimenti possibili, tra cui: (1) Sintesi di fosfori per schermi TV, Monitor PC e altre applicazioni. (2) Realizzazione di una cella solare (cella di Grätzel). (3) Sintesi di film sottili elettrocromici via *Chemical Vapor Deposition* (CVD). (4) Preparazione di nanofibre magnetiche di nichel: una introduzione alle nanotecnologie. (5) Sintesi di opale inverso per applicazioni di cristalli fotonici.

In alcune sedi (Milano «Bicocca», Cagliari, Genova, Venezia) è stato realizzato anche un secondo tipo di laboratorio, chiamato *laboratorio di approfondimento*, che si è svolto generalmente subito dopo la conclusione dell'anno scolastico e ha visto la partecipazione di un numero più limitato di ragazzi, in genere selezionati (con la collaborazione degli insegnanti) tra i più motivati di quelli che già avevano partecipato ai laboratori regionali. I ragazzi partecipanti, in gruppi di 2-4 unità, hanno frequentato per una settimana (cinque mezzeggiornate) un laboratorio universitario di ricerca, contribuendo direttamente, sotto la guida di un docente, ad alcune fasi e parti delle sperimentazioni e misure ivi correnti.

Infine l'azione sulla *formazione telematica a distanza*, sotto la direzione della sede di Parma, ha visto nel primo anno del progetto la realizzazione del sito web e del materiale formativo ivi disponibile (<http://www.farscimat.unipr.it/percorsi.htm>), con una trascrizione anche sotto forma di supporti fissi (CD, DVD). L'attuazione vera e propria delle sedute con gli studenti medi ha potuto realizzarsi non in tutte le sedi durante il primo anno, perché il materiale si è reso disponibile solo nei primi mesi del 2006, quando in alcune scuole era oramai troppo tardi per organizzare l'attività entro l'orario scolastico. Il programma ha potuto invece essere attuato integralmente nelle diverse sedi partecipanti nel corso del secondo anno di attività. Ecco alcuni esempi di *moduli tematici* utilizzati.

*Le nanotecnologie:* evoluzione storica, ruolo delle scienze fondanti (Fisica e Chimica) nella progettazione e preparazione di nuovi materiali assemblabili su

In alcune sedi (Milano «Bicocca», Cagliari, Genova, Venezia) è stato realizzato anche un secondo tipo di laboratorio, chiamato *laboratorio di approfondimento*

scala atomica o molecolare. Approccio interdisciplinare e applicazioni dalla biologia alla medicina, all'elettronica, all'ambiente, ecc. Esperimento di produzione e caratterizzazione di nanoparticelle per applicazioni fotoniche, che illustra in maniera semplice agli studenti la possibilità di ingegnerizzare la materia con la creazione di materiali artificiali aventi proprietà *ad hoc*.

*Materiali e tecnologie dell'informazione*: storia dei sistemi di comunicazione e loro rapida evoluzione, segnata dallo sviluppo della microelettronica e della fotonica. Allestimento di un esperimento finalizzato alla realizzazione e alla misura di un semplice dispositivo a stato solido, allo scopo di illustrare in maniera semplice agli studenti i principi delle microtecnologie elettroniche.

*L'energia*: origine, produzione, trasformazione e impatto ambientale; fonti di energia rinnovabili, con un'esperienza finale avente come obiettivo la caratterizzazione completa di un sistema di conversione energetica, illustrando in maniera semplice agli studenti i vantaggi e le potenzialità di fonti di energia non convenzionali.

*Ambiente e territorio*: impatto ambientale da fonti energetiche non rinnovabili. Sviluppo sostenibile. Esperimento di misurazione del grado di inquinamento, che illustri in maniera semplice agli studenti l'importanza di opportuni sensori per il monitoraggio ambientale.

In ciascuna delle sedi, l'azione si è in genere sviluppata in due fasi. Nella prima fase gli insegnanti partecipanti hanno esaminato, insieme con i docenti e gli esercitatori a contratto universitari, il materiale informatico disponibile, e hanno selezionato le parti da includere nelle esercitazioni e le modalità di svolgimento delle stesse. La seconda fase, svolta insieme con gli studenti delle scuole, si è articolata in due tempi: illustrazione e spiegazione delle tematiche, ed esercitazioni vere e proprie svolte in laboratori provvisti delle attrezzature informatiche necessarie.

#### 2.4 • Azione di coordinamento nazionale

L'azione di coordinamento nazionale si è svolta lungo diverse direttrici. Prima di tutto, essa ha voluto agire da strumento di raccordo tra le iniziative delle diverse sedi, in modo da dare un carattere possibilmente omogeneo ai contenuti dei progetti locali, e da verificare in corso d'opera che non ci fossero deviazioni sostanziali dal programma di lavoro iniziale. Secondariamente, essa ha agevolato lo scambio d'informazioni e di esperienza tra le diverse sedi, costituendo il canale di comunicazione centralizzato tra gli operatori attivi nei progetti locali. In terzo luogo, l'azione di coordinamento centrale ha costituito il necessario strumento di raccordo con la Commissione Nazionale del PLS presieduta dal prof. Nicola Vittorio, che ha diretto la realizzazione dei quattro sottoprogetti di orientamento e formazione con criteri unitari, e ha gestito i rapporti

L'azione di coordinamento centrale ha costituito il necessario strumento di raccordo con la Commissione Nazionale del PLS presieduta dal prof. Nicola Vittorio

con i Ministeri e le altre organizzazioni legate al PLS. Infine, una parte importante del coordinamento nazionale ha riguardato la guida e l'assistenza delle diverse sedi nella compilazione delle schede di monitoraggio del Progetto, predisposte dal Polo Qualità di Milano.

Gli strumenti operativi di cui si è avvalsa l'azione di coordinamento nazionale sono state sei riunioni con i coordinatori locali, tenutesi a Milano, e numerose riunioni (a Roma e Milano) e teleconferenze del coordinatore nazionale con gli altri componenti della Commissione Nazionale del PLS, in qualche caso con la partecipazione di dirigenti ministeriali. A conclusione del Progetto, è stato organizzato un convegno nazionale del PLS-Scienza dei Materiali a Milano, allo scopo di fare una valutazione complessiva dei risultati ottenuti e delle prospettive di lavoro futuro in direzione analoga.

### 3 • OSSERVAZIONI E VALUTAZIONI SULLE ATTIVITÀ SVOLTE NEL PROGETTO

#### 3.1 • Analisi dei questionari riempiti da studenti e insegnanti

Un'analisi compiuta dei risultati conseguiti dalle singole sedi può essere effettuata in primo luogo mediante lo strumento dei questionari di gradimento e valutazione, che sono stati distribuiti alla fine delle attività a studenti e insegnanti delle Scuole che vi avevano partecipato. Dai dati riassuntivi aggregati (Tabella 3.1), risulta prima di tutto l'elevato numero di studenti che hanno partecipato alle azioni in quasi tutte le sedi, con una media di circa 370 ragazzi per sede. In alcuni casi il numero di questionari restituiti è significativamente inferiore al numero dei partecipanti, spesso per problemi organizzativi che dovrebbero essere risolti nel secondo anno di attuazione.

Il gradimento risulta elevato da tutte le risposte; in particolare, risulta che le sperimentazioni proposte erano accessibili alla preparazione scolastica dei ragazzi, e che la qualità del materiale didattico impiegato e della prestazione del personale docente è risultata elevata. L'unico punto un po' più critico è costituito dal fatto che una minoranza consistente (44%) ritiene che l'attività svolta non sarà utile nella scelta degli studi futuri. Ciò sembra indicare un atteggiamento di distacco e di prudenza da parte di un settore significativo degli studenti medi partecipanti, rispetto alla questione della scelta del Corso di Laurea universitario.

Per quanto riguarda i questionari insegnanti (Tabella 3.4), abbiamo una media di circa 20-25 insegnanti per sede partecipanti, con circa altrettanti questionari riempiti. Le risposte della parte relativa alla valutazione dell'attività nel suo insieme (Tabella 3.4A), mostrano un quadro di apprezzamento generale assai positivo, confortato anche da dichiarazioni verbali e scritte estremamente favorevoli alle iniziative attuate, in maniera omogenea su tutte le sedi. Un

**L'unico punto un po' più critico è costituito dal fatto che una minoranza consistente (44%) ritiene che l'attività svolta non sarà utile nella scelta degli studi futuri**

aspetto mostra però in quale direzione ci sia ancora lavoro da fare, ed è il dato che la maggioranza delle risposte indica una partecipazione insufficiente alla progettazione delle attività. Ciò può anche essere spiegato con la carenza d'informazione e formazione sulle tematiche di chimica e fisica dei materiali, e in particolare per quanto riguarda l'azione di formazione telematica a distanza con la novità degli strumenti didattici proposti. In ogni modo, migliorare questo aspetto costituisce sicuramente un obiettivo per il secondo anno del progetto.

Particolarmente soddisfacente sembra poi essere l'esito dei questionari nella parte che concerne la valutazione della ricaduta didattica (Tabella 3.4B). Da qui si può apprezzare che, nel giudizio degli insegnanti, le attività svolte non solo sono state stimolanti per gli studenti, ma hanno anche fornito spunti didattici utili, sia nei contenuti sia nelle metodologie, per gli insegnanti stessi. Inoltre anche il grado di difficoltà delle sperimentazioni sembra essere stato ben calibrato, visto che i contenuti sono stati giudicati accessibili con le conoscenze degli studenti. La valutazione complessiva degli insegnanti sembra quindi indicare un netto successo del primo anno di attività.

### 3.2 • Bilancio complessivo dei risultati conseguiti nelle azioni del Progetto

La valutazione finale che si può trarre è decisamente positiva, sia dal punto di vista del numero di scuole, insegnanti e studenti partecipanti, sia da quello della qualità scientifico-formativa delle attività svolte nelle diverse sedi. In particolare, bisogna tener presente il problema specifico della Scienza dei Materiali, che non è in quanto tale una materia d'insegnamento nei programmi di Scuola media superiore, e quindi poteva incontrare qualche forma d'incomprensione o diffidenza da parte di studenti e insegnanti. Invece abbiamo riscontrato grande interesse e talvolta anche entusiasmo nei confronti di un approccio interdisciplinare a settori moderni della fisica e della chimica, quali quelli riguardanti lo stato solido e i materiali, con un particolare orientamento verso gli aspetti tecnologico-applicativi.

L'azione dei laboratori regionali ha ottenuto dei risultati che possiamo considerare come 'maturi', nel senso che disponiamo ormai di una serie di sperimentazioni di laboratorio pienamente collaudate, che potrebbero in buona parte essere trasferite nei laboratori delle Scuole e inserite nei programmi correnti. Si è potuto verificare che effettivamente gli studenti delle Scuole apprezzano molto l'attività laboratoriale, e ne ricevono una forte motivazione allo studio delle scienze e al superamento delle difficoltà teorico-concettuali a esso legate.

L'azione della formazione telematica a distanza, pur fortemente innovativa e potenzialmente di grande impatto sulla modernizzazione della didattica, si è mostrata suscettibile di miglioramenti. In particolare, i contenuti sono apparsi un

Abbiamo  
riscontrato  
grande  
interesse  
e talvolta  
anche  
entusiasmo  
nei confronti  
di un approccio  
interdisciplinare  
a settori  
moderni  
della fisica  
e della chimica,  
quali quelli  
riguardanti  
lo stato solido  
e i materiali

po' sbilanciati a favore degli aspetti fisici, e dovranno quindi in futuro essere integrati con più materiale riguardante gli aspetti chimici della Scienza dei Materiali. Inoltre occorrerà predisporre con maggiore attenzione percorsi di studio selezionati e preconfezionati che rispondano alle esigenze didattiche dei programmi scolastici correnti.

Infine, dato che abbiamo a che fare con un Progetto nazionale, una considerazione deve essere rivolta all'aspetto del grado di omogeneità territoriale dei risultati conseguiti. Occorre dire che, naturalmente, vi sono state differenze di qualità e quantità di risultati tra le diverse sedi, in un quadro tuttavia di grande impegno profuso dai partecipanti in tutti i casi. Queste differenze sono quindi dovute in parte alle diverse dimensioni delle istituzioni universitarie e scolastiche tra sede e sede, e in parte alla diversa esperienza storica del personale nelle attività di orientamento e formazione verso la Scuola secondaria. Riteniamo però che, anche nelle sedi che sono risultate meno brillanti, la qualità del lavoro fatto abbia tratto grande giovamento dall'aver lavorato a stretto contatto con i colleghi di altre città nel quadro del coordinamento nazionale del progetto. Inoltre sicuramente l'interazione continua con i rappresentanti delle associazioni industriali è stata un'occasione di crescita per tutte le unità operative del progetto. Questo si è verificato in modo particolare nelle realtà locali dove tali rapporti erano storicamente piuttosto labili, e dove quindi il progetto stesso ha messo in moto un processo di cooperazione tra mondo della formazione e mondo produttivo che si spera possa dare frutti ancora migliori in futuro.

#### 4 • INDICAZIONI PER FUTURE INIZIATIVE DI ORIENTAMENTO E FORMAZIONE

Il primo obiettivo generale è quello di estendere il contatto con Scuole e insegnanti a una cerchia più vasta di quella precedente, attuando possibilmente una rotazione nella scelta dei partecipanti per restare entro limiti quantitativi accettabili. Il secondo obiettivo consiste in un coinvolgimento maggiore degli insegnanti nella fase di progettazione delle attività; ci attendiamo che ciò sia reso possibile anche dalla rete di rapporti umani e professionali stabilitasi nel corso di una collaborazione assai proficua e soddisfacente nella fase di gestione delle attività stesse.

Per quanto riguarda specificamente la linea d'azione dei laboratori, l'esperienza acquisita dovrà essere messa a frutto in più direzioni. In primo luogo, occorre completare la realizzazione e sistemazione del materiale didattico prodotto, sotto forma di dispense cartacee, testi elettronici resi disponibili in rete, filmati, presentazioni, ecc. Inoltre si attuerà una revisione e integrazione del programma didattico dei laboratori, utilizzando lo scambio d'informazioni attuato tra le diverse sedi nel corso di riunioni nazionali periodiche di aggiornamento. Per esempio, il microscopio a forza atomica didattico appena acquistato dalla

**Il primo obiettivo generale è quello di estendere il contatto con Scuole e insegnanti a una cerchia più vasta di quella precedente, attuando possibilmente una rotazione nella scelta dei partecipanti per restare entro limiti quantitativi accettabili**

sede di Padova è collegato in rete e consente di effettuare esperienze comandate a distanza, che potrebbero in futuro diventare operative ed essere sfruttate da più sedi.

È indubbio che l'attuazione del Progetto «Lauree Scientifiche» per la Scienza dei Materiali, così come anche per le altre tre discipline, è stato un notevole successo. Questo risultato non era scontato in partenza, ed è dovuto essenzialmente al grande impegno ed entusiasmo messo da tutti i partecipanti, che hanno creduto fermamente nell'utilità del lavoro che stavano facendo. Abbiamo visto docenti universitari preoccuparsi dei problemi della formazione secondaria, a cui forse prima pensavano assai poco, insegnanti della Scuola mostrare un nuovo interesse per l'attività creativa della scienza 'sul campo', e studenti medi uscire da una certa apatia e indifferenza e rispondere con grande partecipazione agli stimoli di una diversa presentazione della realtà scientifica. Ci sembra quindi naturale concludere che occorrerà trovare i modi per non disperdere il patrimonio di esperienze e di rapporti personali acquisito, realizzando una qualche forma di continuazione o rinnovo del progetto stesso. Il problema del rapporto della formazione scientifica nella Scuola secondaria con le vocazioni ai Corsi di Laurea e alle carriere scientifiche è troppo importante e ancora attuale perché meriti di essere abbandonato o trascurato.

Occorrerà  
trovare i modi  
per non  
disperdere  
il patrimonio  
di esperienze  
e di rapporti  
personali  
acquisito,  
realizzando  
una qualche  
forma di  
continuazione  
o rinnovo  
del progetto  
stesso

## 5 • TABELLE RIASSUNTIVE

**Tabella 2.1** • Scienza dei Materiali – Dati principali, per sede – Complessivo nei due anni

Sede	Ist. scolastici	Ass. industriali	Altri enti	Pers. Univers.	Pers. Scuola	Altro pers.	Ore totali	Ore progetto	Costo prog.
Bari	11	2	28	11	44	43	7.310	1.924	73.001
Cagliari	7	2	7	5	15	15	2.309	996	79.999
Cosenza	12	2	4	7	22	18	3.544	1.356	60.000
Genova	16	2	9	9	20	17	4.634	780	76.000
Milano «Bicocca»	24	2	4	13	40	35	3.554	2.090	95.000
Napoli «Federico II»	7	1	4	5	13	8	746	746	23.999
Padova	40	7	5	5	17	13	1.086	794	60.000
Parma	16	1	9	10	15	37	6.539	4.986	119.200
Roma «Tor Vergata»	4	2	2	7	12	3	3.545	1.888	65.000
Torino	27	3	22	9	36	21	2.705	1.470	75.000
Venezia	55	4	9	18	22	27	6.461	1.992	75.000
<b>TOTALE</b>	<b>219</b>	<b>28</b>	<b>103</b>	<b>99</b>	<b>256</b>	<b>237</b>	<b>42.433</b>	<b>19.022</b>	<b>802.199</b>

**Tabella 2.3** • Scienza dei Materiali – Ore di impegno del personale. Riassunto, per tipo e per anno

Tipologia	Ore 1° anno	%	Ore 2° anno	%	Totale ore	% su totale ore	Media ore persona
UNIV. RUOLO-DOCENTE	4.793	24,5	5.227	23,0	10.020	23,7	125
UNIV. RUOLO-ALTRO	588	3,0	677	3,0	1.265	3,0	67
SCUOLA RUOLO-DOCENTE	6.539	33,4	7.343	32,3	13.882	32,8	56
SCUOLA RUOLO-ALTRO	20	0,1	183	0,8	203	0,5	29
ASS. INDUSTRIALI	552	2,8	523	2,3	1.075	2,5	33
IMPRESE	691	3,5	696	3,1	1.387	3,3	36
ALTRI ENTI	740	3,8	720	3,2	1.460	3,5	43
A CONTRATTO	5.669	28,9	7.332	32,3	13.001	30,7	98
<b>TOTALE</b>	<b>19.592</b>		<b>22.701</b>		<b>42.293</b>		

**Tabella 2.8** • Scienza dei Materiali – Finanziamenti, per sede e per tipo

Sede	MIUR Università	USR studenti	USR insegnanti	Totale MIUR	Cofin. locale	Totale progetto	% cofin. su totale
Bari	36.525	16.407	5.469	58.401	14.600	73.001	20
Cagliari	36.274	16.294	5.431	57.999	22.000	79.999	28
Cosenza	30.020	13.485	4.495	48.000	12.000	60.000	20
Genova	36.274	16.294	5.431	57.999	18.001	76.000	24
Milano «Bicocca»	47.532	21.351	7.117	76.000	19.000	95.000	20
Napoli «Federico II»	15.010	6.742	2.247	23.999	0	23.999	0
Padova	30.020	13.485	4.495	48.000	12.000	60.000	20
Parma	57.539	25.846	8.615	92.000	27.200	119.200	23
Roma «Tor Vergata»	31.271	14.047	4.682	50.000	15.000	65.000	23
Torino	37.525	16.856	5.619	60.000	15.000	75.000	20
Venezia	37.525	16.856	5.619	60.000	15.000	75.000	20
<b>TOTALE</b>	<b>395.515</b>	<b>177.663</b>	<b>59.220</b>	<b>632.398</b>	<b>169.801</b>	<b>802.199</b>	<b>21</b>

**Tabella 3.1** • Scienza dei Materiali – Numero di Istituti scolastici, studenti e insegnanti, per sede e per anno

Sede	N. Istituti scolastici		N. studenti		N. insegnanti	
	nei 2 anni	1° anno	nei 2 anni	1° anno	nei 2 anni	1° anno
Bari	11	11	1.114	557	108	54
Cagliari	7	5	1.434	715	26	13
Cosenza	13	13	666	341	24	24
Genova	16	14	551	246	44	22
Milano «Bicocca»	24	9	1.066	206	151	85
Napoli «Federico II»	7	7	592	592	8	8
Padova	40	18	135	66	14	14
Parma	16	7	410	245	32	22
Roma «Tor Vergata»	4	4	518	302	37	24
Torino	27	20	361	215	18	18
Venezia	55	23	651	650	44	44
<b>TOTALE</b>	<b>220</b>	<b>131</b>	<b>7.498</b>	<b>4.135</b>	<b>506</b>	<b>328</b>



**Tabella 3.2** • Scienza dei Materiali – Numero di questionari compilati, per sede

Sede	N. questionari stud. M + F	N. questionari stud. F	N. questionari stud. M	N. questionari ins.
Bari	69	28	41	76
Cagliari	693	433	260	26
Cosenza	212	138	74	20
Genova	357	151	206	27
Milano «Bicocca»	587	187	400	38
Napoli «Federico II»	287	75	212	49
Padova	318	96	222	52
Parma	295	122	173	30
Roma «Tor Vergata»	320	102	218	19
Torino	853	414	439	43
Venezia	396	185	211	52
<b>TOTALE</b>	<b>4.387</b>	<b>1.931</b>	<b>2.456</b>	<b>432</b>

**Tabella 3.3** • Scienza dei Materiali – Percentuali risposte questionari studenti, tutte le sedi

	Decisamente NO	Più NO che SÌ	Più SÌ che NO	Decisamente SÌ
9. Gli argomenti dell'attività svolta sono stati interessanti?	1,2	8,2	45,1	45,6
10. L'attività è stata impegnativa?	19,0	43,6	29,5	7,9
11. La tua preparazione scolastica era sufficiente per seguire l'attività?	6,4	23,6	50,2	19,8
12. I locali e l'attrezzatura a disposizione erano adeguati?	2,0	8,6	39,3	50,0
13. I materiali scritti (schede o dispense) utilizzati per le attività erano chiari?	3,3	11,7	49,5	35,6
14. I docenti sono stati chiari?	2,0	7,2	38,7	52,1
15. Le attività svolte sono state utili per capire meglio cos'è la scienza dei materiali?	3,9	12,8	45,7	37,6
16. Le attività svolte ti saranno utili nella scelta dei tuoi studi futuri?	13,8	29,6	36,0	20,6
17. Valeva la pena di partecipare all'attività?	2,9	7,3	37,1	52,7

**Tabella SCI 1** • Percentuali risposte questionari studenti alla domanda: «Nelle attività si sono svolte ...»

	Per nulla	Qualche volta	Molto
18. spiegazioni teoriche da parte dei docenti	1,7	37,8	60,5
19. dimostrazioni sperimentali e pratiche da parte dei docenti	12,1	42,6	45,3
20. lavori individuali e di gruppo da parte degli studenti	28,7	31,7	39,6
21. attività sperimentali e pratiche da parte dagli studenti	29,8	32,0	38,2

**Tabella SCI 2** • Numero e percentuale di risposte alla domanda: «23-Vorresti che nell'insegnamento della fisica e della matematica si desse maggiore attenzione ... (indicare con una crocetta non più di 3 opzioni)»

A. all'aspetto sperimentale e pratico	2.567	29,4
B. all'aspetto formale	246	2,8
C. all'inquadramento storico	247	2,8
D. alle ricerche fondamentali più recenti	1.906	21,8
E. alle relazioni con altre discipline e alle applicazioni tecnologiche	1.641	18,8
F. alle implicazioni nella vita quotidiana	2.054	23,5
G. altro	75	0,9
<b>Totale indicazioni</b>	<b>8.736</b>	

**Tabella 3.4** • Scienza dei Materiali – Percentuali risposte questionari insegnanti, tutte le sedi

<b>A. Valutazione dell'attività nel suo insieme</b>	<b>Decisamente NO</b>	<b>Più NO che Sì</b>	<b>Più Sì che NO</b>	<b>Decisamente Sì</b>
9. Ha contribuito alla progettazione dell'attività?	43.3	22.2	15.7	18.7
10. Ha partecipato attivamente alla realizzazione dell'attività?	23.8	20.9	27.5	27.8
11. Ha trovato positiva la collaborazione con i docenti universitari?	0.7	4.1	27.0	68.2
12. L'attività è stata pesante per i suoi impegni?	34.9	40.5	21.9	2.8
13. Lo svolgimento dell'attività ha rispettato quanto era previsto?	0.5	3.7	35.4	60.5
14. I locali e l'attrezzatura a disposizione erano adeguati?	0.5	2.6	27.6	69.3
15. I materiali scritti (schede o dispense) utilizzati per le attività erano chiari?	2.2	4.2	35.1	58.5
16. Gli interventi dei docenti universitari sono stati efficaci?	0.0	0.5	22.7	76.8
<b>B. Valutazione della ricaduta didattica</b>	<b>Decisamente NO</b>	<b>Più NO che Sì</b>	<b>Più Sì che NO</b>	<b>Decisamente Sì</b>
17. I contenuti delle attività erano diversi rispetto a quelli che si insegnano a scuola?	6.4	26.1	49.3	18.2
18. Gli studenti hanno potuto svolgere un ruolo attivo?	3.7	23.7	40.5	32.1
19. I contenuti erano accessibili con le conoscenze degli studenti?	1.2	11.8	51.8	35.3
20. Le attività hanno stabilito collegamenti con altre discipline?	3.8	17.5	41.6	37.1
21. Le attività sono state stimolanti per gli studenti?	0.2	1.7	32.4	65.7
22. Le attività sono state utili ad aumentare la comprensione della scienza dei materiali?	0.2	6.9	45.3	47.6
23. Ha avuto spunti didattici utili relativamente ai contenuti o alle metodologie?	2.1	14.9	46.5	36.6
24. In conclusione, dà un parere positivo sulla attività svolta?	0.0	1.2	25.1	73.7

## 6 • ANALISI DI CASI: DUE SPERIMENTAZIONI ESEMPLIFICATIVE DELL'AZIONE LABORATORIALE

In questa appendice riteniamo opportuno illustrare in dettaglio i particolari di due esperienze scelte tra tutte quelle inserite nelle azioni di laboratorio delle diverse sedi (vedi elenco al paragrafo 2.3). Lo scopo è quello di dare un'immagine concreta dell'attività svolta nell'azione principale del progetto, mediante un'esemplificazione diretta del tentativo di rinnovamento della didattica della scienza implicito nell'esperienza del Progetto «Lauree Scientifiche».

Le sperimentazioni selezionate sono due: «Celle solari: la cella di Grätzel», realizzata dall'unità di Milano «Bicocca», e «Utilizzo di un microscopio a scansione di sonda (SPM) didattico in modalità remota», dell'unità operativa di Padova. I criteri di scelta di questi due casi-esempio sono stati diversi. L'esperienza sulla cella di Grätzel è d'importanza fondamentale dal punto di vista dei principi fondamentali della Scienza dei Materiali, riunendo gli aspetti di fisica e chimica dello stato solido in un nesso inscindibile, così da fornire un esempio tipico del carattere di questa scienza. Inoltre la tematica copre aspetti applicativi-tecnologici di grande impatto nella società odierna, quali quelli legati al problema delle fonti di energia rinnovabili e non inquinanti. Per questi motivi, l'esperienza della cella di Grätzel è stata inserita nel programma dell'azione laboratoriale non solo della sede di Milano «Bicocca», ma anche di quelle di Padova e Venezia. In particolare, a Milano «Bicocca» l'esperienza è stata eseguita da 182 studenti delle Scuole il primo anno, e da 386 studenti il secondo anno, per un totale di 568. È inoltre in corso di organizzazione il trasferimento dell'esperienza stessa presso i laboratori di tre Istituti scolastici: Liceo Scientifico Tecnologico «Molinari» (Milano), Liceo Scientifico Tecnologico «Conti» (Milano), ITIS «Badoni» (Lecco); si prevede che 180 studenti di questi tre Istituti potranno effettuare l'esperienza nel corso del corrente anno scolastico, direttamente presso la loro sede scolastica sotto la guida dei loro insegnanti.

La seconda sperimentazione è stata selezionata con un criterio differente. Si tratta infatti di un'azione molto innovativa ma ancora sperimentale, di realizzazione di un laboratorio in cui le sperimentazioni sono comandate per via remota tramite collegamento Internet, e dove quindi gli 'attori' (studenti) sono fisicamente separati dalla sede in cui l'apparecchiatura è installata. Quest'ultima è stata acquisita dall'unità di Padova all'inizio del secondo anno del PLS, e un certo tempo è stato necessario per la sua messa a punto. Tuttavia è già stato possibile farla entrare in funzione in collaborazione con due Scuole: il Liceo «Quadri» di Vicenza e il Liceo «Da Ponte» di Bassano del Grappa. Gli studenti di questi due Licei che hanno partecipato al secondo anno del PLS-Scienza dei Materiali hanno quindi potuto effettuare la sperimentazione relativa, secondo quanto descritto in seguito, con grande successo e soddisfazione, come anche attestato dalle risposte fornite nei questionari.

L'esperienza sulla cella di Grätzel è d'importanza fondamentale dal punto di vista dei principi fondamentali della Scienza dei Materiali, riunendo gli aspetti di fisica e chimica dello stato solido in un nesso inscindibile

## 6.1 • «Celle solari: la cella di Grätzel» - Università di Milano «Bicocca»

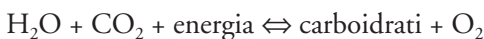
Esperienza curata da Simona Binetti,  
Dipartimento di Scienza dei Materiali

### Introduzione

Le celle solari convenzionali convertono la luce in elettricità sfruttando l'effetto fotovoltaico che ha luogo all'interfaccia tra materiali semiconduttori: per questo motivo sono strettamente correlate alla tecnologia del silicio (diodi, transistor, circuiti integrati, ecc.). Diversamente, le cosiddette celle di Grätzel funzionano secondo un meccanismo in cui l'assorbimento della luce e la separazione delle cariche (elettroni e buche) sono separati. Uno strato di colorante è legato chimicamente a una superficie di particelle di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) interconnesse tra loro e depositate su un *vetro trasparente e conduttore* (le dimensioni di queste particelle sono di poche decine di miliardesimi di metro e sono perciò chiamate *nanocristalli*); colpito dalla luce, il colorante trasferisce un elettrone al biossido di titanio il quale lo trasporta fino all'elettrodo (il vetro conduttore). Contemporaneamente, una carica positiva (buca) viene trasferita dal colorante a un composto mediatore che, ossidandosi (cedendo cioè un elettrone), trasporta la carica positiva fino all'altro capo della cella, il contro-elettrodo.

Esaminando il principio di funzionamento di questa cella, i processi che vengono messi in atto ricordano molto la *fotosintesi clorofilliana*, e questo paragone fornisce un concreto esempio dell'importanza della relazione tra principi chimici e fisici.

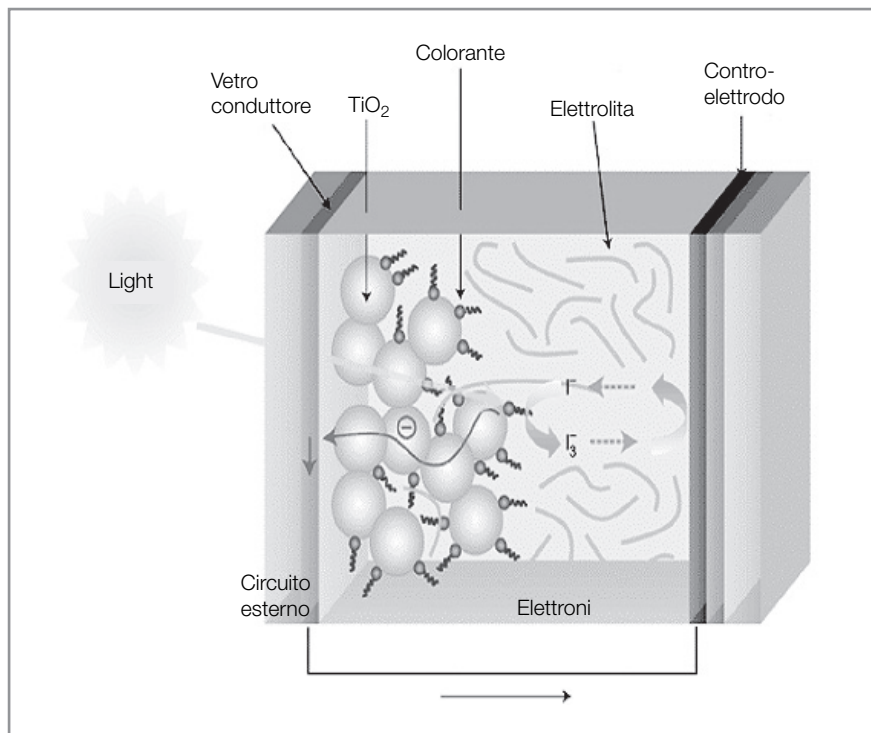
Nella fotosintesi, la piante «fissano» l'energia della luce solare in legami chimici presenti in molecole organiche complesse, i carboidrati, che assunti e bruciati da piante e animali, rilasciano nell'atmosfera biossido di carbonio completando quel ciclo, reversibile e rinnovabile, che sta alla base della vita sulla terra:



La fotosintesi che ha luogo grazie alle piante sulla terra e ai batteri negli oceani produce otto volte il fabbisogno energetico dell'umanità: se riuscissimo a convertire con un'efficienza del 10% l'energia solare su una superficie appena dell'1% delle terre emerse, produrremmo il doppio dell'attuale richiesta di energia elettrica, ma sebbene vengano costruite ogni anno celle al silicio per oltre 1 miliardo di watt, nessuna tecnologia ha ancora soppiantato l'uso dei combustibili fossili come fonte di energia.



I processi che vengono messi in atto ricordano molto la *fotosintesi clorofilliana*, e questo paragone fornisce un concreto esempio della importanza della relazione tra principi chimici e fisici



La presenza dello strato di  $\text{TiO}_2$  serve a incrementare enormemente l'efficienza di raccolta della luce

### La cella di Grätzel

La cella di Grätzel richiama nel suo funzionamento la fotosintesi delle piante:

1. usa un colorante organico analogo alla clorofilla per assorbire la luce e produrre un flusso di elettroni;
2. usa strati multipli per migliorare l'efficienza sia dell'assorbimento della luce, sia della raccolta di elettroni.

Come la fotosintesi, anche la cella di Grätzel è una macchina molecolare che supera i confini della tecnologia microelettronica entrando in quel regno che è noto come nanotecnologia: le particelle di dimensioni nanometriche di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) vengono distribuite su un vetrino conduttore; questo strato viene quindi asciugato e scaldato in modo da formare una struttura porosa, con un'altissima area superficiale; uno strato di molecole di colorante viene quindi legato a ciascuna particella di  $\text{TiO}_2$  immergendovi il vetrino: possono essere utilizzati tutti quei coloranti che posseggono i giusti gruppi chimici per legarsi al  $\text{TiO}_2$ . Il dispositivo viene infine completato gocciolando una soluzione elettrolitica che percola all'interno dei pori dell'ossido.

La presenza dello strato di  $\text{TiO}_2$  serve a incrementare enormemente l'efficienza di raccolta della luce, disperdendo il colorante su un'area vasta in maniera ana-

loga a quanto avviene per la clorofilla nei cloroplasti. Poiché lo strato di colorante è contemporaneamente così sottile, quasi tutti gli elettroni prodotti dall'assorbimento della luce sono raccolti dal  $\text{TiO}_2$ .

Gli elettroni perduti dalle molecole di colorante vengono velocemente rimpiazzati dal mediatore, lo ione iodio presente nella soluzione elettrolitica, il quale riceve a sua volta elettroni dal contro-elettrodo (platino o carbonio), in modo da ripristinare il ciclo.

Le reazioni coinvolte nel processo complessivo sono le seguenti:

1. colorante + luce  $\Rightarrow$  colorante eccitato (coppia elettrone-buca)
2. colorante eccitato +  $\text{TiO}_2 \Rightarrow e^-(\text{TiO}_2) + \text{colorante ossidato}$
3. colorante ossidato +  $3/2 I^- \Rightarrow \text{colorante} + 1/2 I_3^-$
4.  $1/2 I_3^- + e^-(\text{contro-elettrodo}) \Rightarrow 3/2 I^-$

Le particelle interconnesse di biossido di titanio agiscono da accettori di elettroni, lo iodio agisce da donatore di elettroni e il colorante funziona come una «pompa» fotochimica: nella fotosintesi, questi tre ruoli sono svolti rispettivamente dal biossido di carbonio, dall'acqua e dalla clorofilla.

#### Lavoro sperimentale

Componenti per ciascuna cella:

- 2 vetrini conduttori  $25 \times 25$  mm;
- 3-4 gocce di  $\text{TiO}_2$  in sospensione acquosa;
- colorante;
- 2 gocce di soluzione elettrolitica;
- soluzione Platisol o grafite.

Strumenti necessari per l'assemblaggio della cella:

- nastro adesivo;
- 2 clip.

#### Preparazione

Vetrini conduttori (3 da ciascuna lastrina):

- determinare con un multimetro la faccia conduttrice di una lastrina;
- incidere lievemente con la lama diamantata il lato isolante, appoggiando la lastrina su un foglio di carta;
- con un colpo lieve e deciso spezzare il vetro lungo l'incisione.

$\text{TiO}_2$  in sospensione acquosa:

- 3 g di  $\text{TiO}_2$ ;
- aggiungere 5 ml di acido nitrico (pH 3-4): 1 ml alla volta, macinando attentamente fino a ottenere una crema senza grumi, della consistenza di una vernice densa;

Le particelle interconnesse di biossido di titanio agiscono da accettori di elettroni, lo iodio agisce da donatore di elettroni e il colorante funziona come una «pompa» fotochimica

- trasferire la sospensione dal mortaio al crogiuolo e lasciarla riposare per circa 15 minuti.

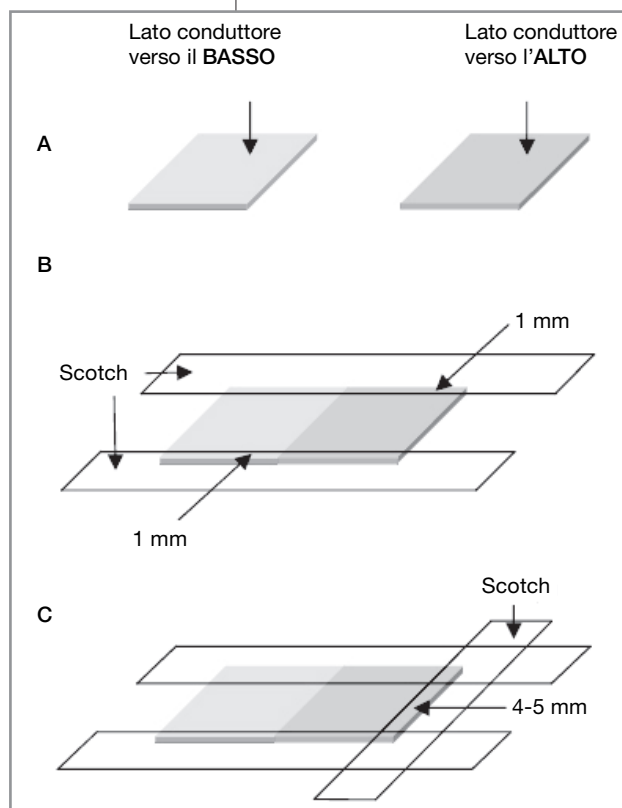
Colorante:

- scegliere 2-3 more o lamponi;
- una volta scongelati schiacciarli leggermente su un vetro d'orologio usando una spatola (se necessario, aggiungere qualche goccia d'acqua);
- in alternativa, avvolgerli nello straccio di cotone e strizzarli facendo gocciolare il succo sul vetro d'orologio.

Soluzione elettrolitica:

- 1 ml di etilen glicole;
- aggiungere 12,7 mg di  $I_2$  e agitare;
- aggiungere 83 mg di KI;
- agitare e conservare al buio.

▼ Figura 1



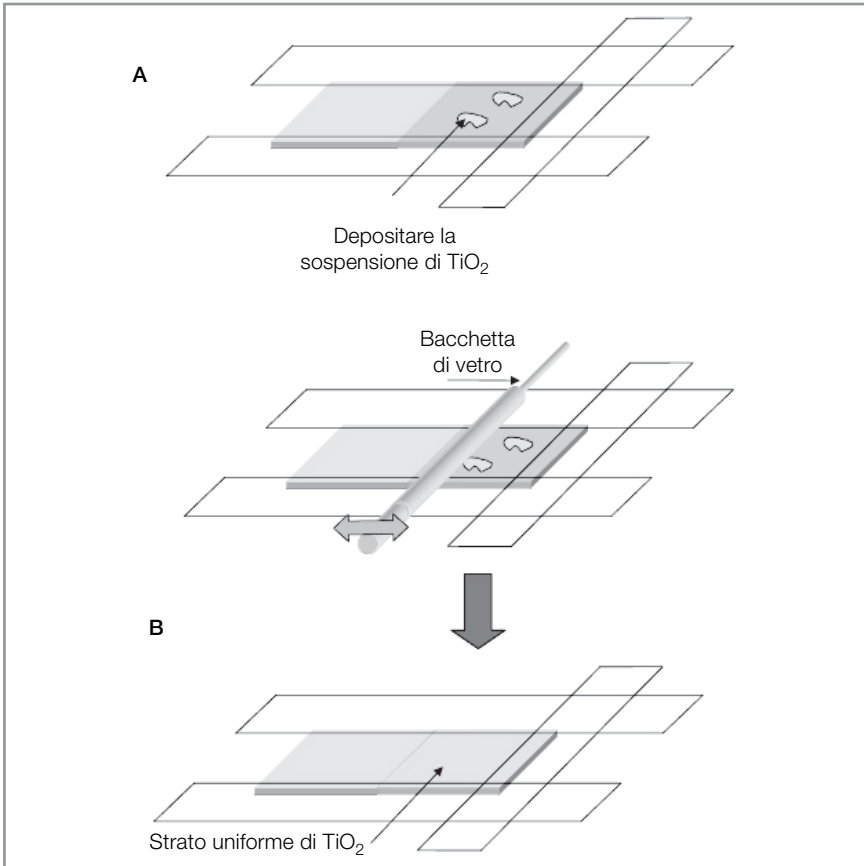
### Procedura

#### *Preparazione dello strato assorbente.*

1. Prendere due lastre di vetro conduttrici e lavarle con acetone o isopropanolo per rimuovere l'eventuale sporco; in particolare, il grasso della pelle può contaminare le superfici: d'ora in poi è opportuno maneggiare le lastre con le pinzette o tenendole per i bordi (Attenzione! I bordi spezzati possono essere molto taglienti). Asciugarle delicatamente con il panno di cotone.
2. Con il multimetro, determinare il lato conduttore di ciascuna piastrina.
3. Orientare una lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso l'alto: questa faccia sarà ricoperta dal biossido di titanio; capovolgere la seconda lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso il basso, accanto alla prima (vedi Figura 1A). In questo stadio, la seconda lastrina aiuta semplicemente il processo di ricopertura della prima.
4. Applicare due pezzi di scotch (lunghi circa 6-7 cm) sui bordi lunghi delle lastre, in modo che ne coprano non più di 1 mm (Figura 1B).



▼ Figura 2



5. Applicare un altro pezzo di scotch sul lato corto della lastrina che verrà ricoperta di  $\text{TiO}_2$ , per circa 4-5 mm (Figura 1C): le due lastrine vengono così non solo fissate a un piano d'appoggio, ma lo scotch crea anche una sorta di «vasca» profonda 40-50 mm che verrà riempita dal biossido di titanio, lasciando uno spazio utile per i contatti.

6. Depositare 2-3 gocce della sospensione di  $\text{TiO}_2$  sulla lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso l'alto (Figura 2A) e stenderle sul vetrino con la bacchetta di vetro o una pipetta pasteur, in modo da coprirlo in maniera uniforme (Figura 2B): la tecnica più efficace è quella di partire dal centro con il movimento della bacchetta (non deve rotolare) fino all'estremità con il nastro adesivo e quindi tornare indietro portando il  $\text{TiO}_2$  in eccesso sulla seconda lastrina. Se lo strato non fosse omogeneo, è possibile ripetere la procedura dopo aver rimosso delicatamente l'ossido già depositato.

7. Una volta terminato, rimuovere lo scotch e lasciare asciugare all'aria per circa 1 minuto; pulire la seconda lastrina dall'eventuale ossido in eccesso, come al punto 1.

La tecnica più efficace è quella di partire dal centro con il movimento della bacchetta fino all'estremità con il nastro adesivo e quindi tornare indietro portando il  $\text{TiO}_2$  in eccesso sulla seconda lastrina

▼ Figura 3



per circa 10 minuti (Figura 3): al termine, dovrebbe sparire completamente il colore bianco del  $TiO_2$ , anche guardandolo dal sotto, altrimenti immergerlo nuovamente nel succo per altri 5 minuti.

In ogni caso, è opportuno lasciarlo immerso nel colorante fino a quando non si è pronti ad assemblare la cella.

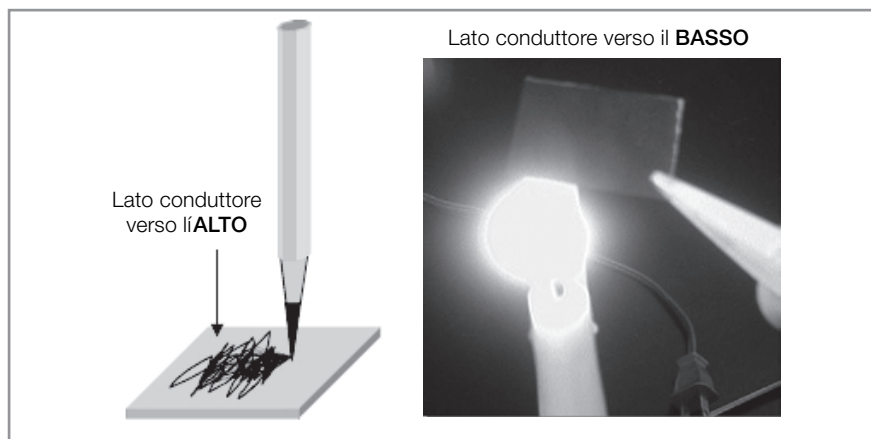
#### *Preparazione del contro-elettrodo.*

11. Se necessario, determinare nuovamente il lato conduttore della seconda lastrina e coprirlo con uno strato di carbonio, usando una matita morbida o affumicando il vetro sulla fiamma della candela (Figura 4).

**ATTENZIONE!** Sia l'acetone sia l'isopropanolo sono altamente infiammabili, non usarli vicino a fiamme libere.

In alternativa ricoprire il lato conduttore del vetrino con uno strato di platino, spennellando la soluzione Platisol. Lo strato di carbonio o platino così depositato agisce da catalizzatore per la reazione di rigenerazione dello iodio (reazione 4) e deve perciò coprire interamente il vetrino.

▼ Figura 4



Lo strato di carbonio o platino depositato agisce da catalizzatore per la reazione di rigenerazione dello iodio e deve perciò coprire interamente il vetrino

8. Il vetrino con lo strato di ossido è pronto per essere *sinterizzato* in forno a  $450\text{ }^\circ\text{C}$ , per 10 minuti.

9. Lasciare raffreddare il vetrino sulla *navicella* (un raffreddamento rapido potrebbe far spaccare il vetro o lo strato di ossido).

10. Immergere il vetrino nel succo sul vetrino d'orologio, tenendo la faccia coperta di ossido rivolta verso il basso,

*Assemblaggio della cella.*

12. Rimuovere il vetrino con l'ossido di titanio dal colorante e lavarlo con acqua e quindi con isopropanolo o acetone; affinché la cella di Graetzel funzioni correttamente, è importante che non ci siano tracce d'acqua sullo strato di  $\text{TiO}_2$ /colorante prima di aggiungere la soluzione elettrolitica: in tal caso, sciacquarlo nuovamente con isopropanolo o acetone e asciugarlo delicatamente con un tessuto.

13. Appoggiare il primo vetrino su una superficie piana con il lato con lo strato di ossido/colorante rivolto verso l'alto e adagiare delicatamente sopra di esso il contro-elettrodo con lo strato di carbonio rivolto verso il basso (Figura 6A), lievemente sfalsato in modo da lasciare esposto il bordo scoperto della prima lastrina (Figura 6B): le due estremità libere, di 4-5 mm, serviranno come contatti elettrici.

**ATTENZIONE!** Lo strato di  $\text{TiO}_2$  è abbastanza ruvido da grattar via il carbonio dall'altro elettrodo.

14. Sollevare i due vetrini mantenendoli nella loro posizione e bloccarli con due clip (Figura 6C).

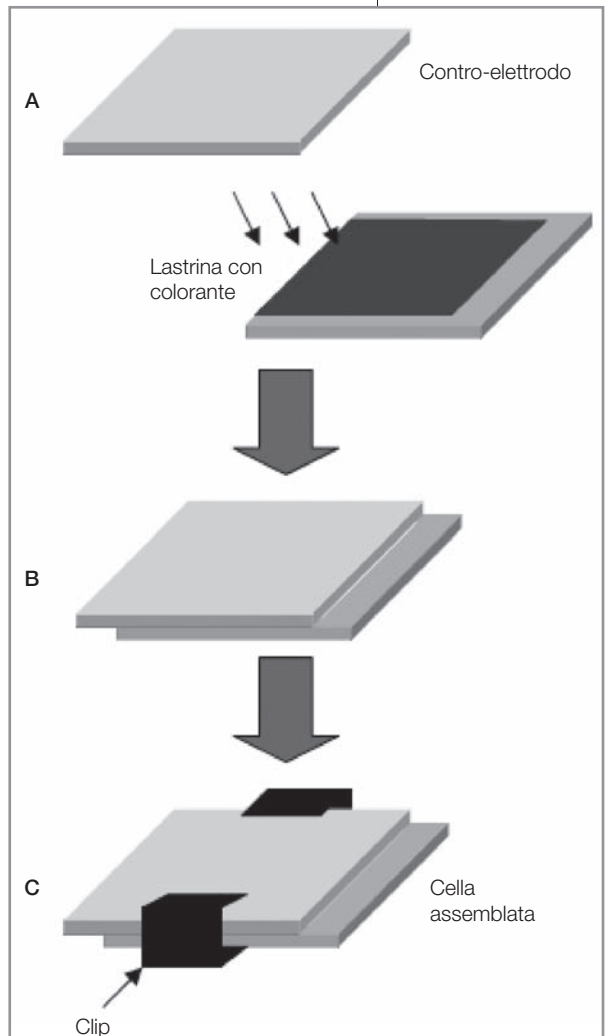
15. Depositare 1 o 2 gocce di soluzione elettrolitica sul bordo del dispositivo: per azione capillare, il liquido bagnerà completamente lo strato di ossido di titanio tra i due vetrini (per favorire questo processo è utile togliere e rimettere alternativamente le due clip).

16. Rimuovere l'eccesso di elettrolita usando un bastoncino di cotone bagnato con isopropanolo o acetone: è importante che l'elettrolita sia completamente rimosso dalle aree esposte dei due vetrini.

La cella di Graetzel così assemblata è pronta per la caratterizzazione elettrica.

**Caratterizzazione elettrica**

Dopo aver misurato con un righello le dimensioni dell'area attiva della cella di Graetzel, collegarla con i coccodrilli al multimetro: l'elettrodo negativo è il vetrino coperto di  $\text{TiO}_2$  (cavo nero), mentre quello positivo è il contro-elettrodo (cavo rosso). È così possibile misurare la differenza di tensione ai capi

▼ **Figura 6**

della cella e la corrente massima prodotta. Per ottenere la curva completa tensione *vs* corrente, occorre collegare la cella a un potenziometro a carico variabile, raccogliendo punto a punto i valori di tensione e corrente al variare della resistenza.

## 6.2 • «Utilizzo di un microscopio a scansione di sonda (SPM) didattico in modalità remota» - Università di Padova

Il *Laboratorio Remoto per misure SPM*, allestito nell'ambito del PLS-Scienza dei Materiali di Padova, è stato proposto e organizzato da Giacomo Torzo (ICIS-CNR, Dipartimento di Fisica dell'Università di Padova e Labtrek Srl) con la collaborazione di GianAndrea Rizzi (Dipartimento di Chimica dell'Università di Padova), Paolo Peranzoni (Liceo «Cornaro», Padova), Stefano Agnoli (Dipartimento di Chimica dell'Università di Padova), Francesco Sedona (Dipartimento di Chimica dell'Università di Padova).

### Introduzione

Uno degli aspetti più interessanti della Scienza dei Materiali è lo studio della *superficie* dei solidi. Questo campo di studi è stato reso della massima importanza dal passaggio della tecnologia dei semiconduttori alle dimensioni *sub-micrometriche*. Quando la scaglia (chip) di silicio assume dimensioni inferiori al millesimo di millimetro (micron), allora la sua superficie, piuttosto che il volume, inizia a giocare un ruolo essenziale nella esecuzione di operazioni logiche e nella interazione con altri componenti.

La superficie e i fenomeni a essa correlati sono interessanti anche dal punto di vista della fisica fondamentale, dato che la struttura atomica del cristallo, ovvero la disposizione e le proprietà degli atomi nel reticolo alla superficie differiscono molto da quelle degli atomi nel volume del solido.

I metodi convenzionali di studio delle superfici, quali la diffrazione a raggi X o da ioni, la tecnica LEED (diffrazione di elettroni a bassa energia) e la spettroscopia Auger, consentono di acquisire una descrizione *media* della disposizione atomica lungo la superficie, ma non permettono di ricavare un'immagine della struttura atomica locale. Inoltre tutte queste tecniche devono essere condotte in vuoto spinto e danneggiano il campione esaminato per bombardamento con particelle ad alta energia, e infine non producono informazioni dirette sulla reale topografia.

Questi problemi sono stati in parte risolti dalla microscopia a effetto tunnel (STM), che nei primi anni Ottanta ha offerto all'uomo le prime immagini sperimentali della superficie di monocristalli di silicio con risoluzione atomica. Tuttavia molte nuove possibilità d'indagine sono emerse successivamente con l'invenzione del microscopio a scansione di forza (SFM), che ha reso possibile ottenere topografie non solo di materiali elettricamente conduttivi, ma anche

Questo campo di studi è stato reso della massima importanza dal passaggio della tecnologia dei semiconduttori alle dimensioni *sub-micrometriche*

di isolanti. Da allora si è enormemente diffusa e sviluppata la tecnologia dei microscopi a scansione di sonda (SPM).

Attualmente la tecnica SPM viene usata in un ampio spettro di discipline, sia in ricerca fondamentale sia in ricerca applicata. Moltissimi laboratori scientifici si sono dotati di microscopi a scansione di sonda, aumentando la richiesta di personale esperto in tale specialità. Per rispondere a tale richiesta la società NT-MDT di Mosca, Russia, ha sviluppato uno strumento didattico per microscopia SPM: il NanoEducator.

Il NanoEducator SPM è stato specificamente progettato per facilitare esperimenti SPM condotti da studenti. Si tratta di uno strumento completamente controllato da computer, dotato di interfaccia intuitiva e semplice, che offre animazioni grafiche consentendo un approccio graduale all'apprendimento della tecnica senza richiedere né complicate messe a punto né materiali di consumo costosi.

#### Motivazione dell'esperimento

La tecnica SPM (Microscopia a Scansione di Sonda) può essere considerata emblematica per il settore Scienza dei Materiali e come tale andrebbe proposta come prima scelta in un percorso didattico rivolto a studenti interessati a questo settore di studi. Tuttavia la strumentazione minima necessaria a un vero esperimento SPM richiede ancora un investimento notevole, accessibile a un numero molto limitato di strutture. Per questa ragione si è ritenuto utile proporre una versione remotizzata di laboratorio SPM che ne consente l'utilizzo con molte scuole mantenendo basso il costo di ogni sessione sperimentale.

#### Descrizione sommaria dell'esperimento

Il dispositivo denominato NanoEducator SPM è uno strumento progettato per essere utilizzato nella didattica delle Nanotecnologie.

Esso può essere utilizzato in tre distinte modalità: SFM (Microscopia a Scansione di Forza), STM (Microscopia a effetto Tunnel) e Microlitografia con tecnica *embossing* (incisione a pressione); è pilotato da un controller connesso a PC mediante linea seriale (USB).

Sono anche possibili analisi di vario tipo (analisi di linea, vista tridimensionale, appiattimento, filtri spaziali con trasformata di Fourier...) delle immagini ottenute con le tre tecniche.

La sonda usata per le scansioni è una punta di tungsteno il cui apice viene affilato mediante attacco elettrochimico con uno speciale dispositivo adatto a uso didattico, per azzerare il costo del materiale di consumo.

Tutte le misure e analisi citate possono venire eseguite in remoto, da una classe di studenti guidati dal loro insegnante, mediante connessione Internet via ADLS. (Il server connesso direttamente al NanoEducator gestisce anche una

La tecnica SPM (Microscopia a Scansione di Sonda) può essere considerata emblematica per il settore Scienza dei Materiali e come tale andrebbe proposta come prima scelta in un percorso didattico rivolto a studenti interessati a questo settore di studi

webcam che consente agli studenti, per esempio mediante collegamento Skype, di vedere anche l'apparato, e non solo l'applicativo e le immagini ottenute).



### Competenze necessarie

Gli insegnanti che aderiscono alla sperimentazione in oggetto sono addestrati sia all'allestimento della parte <client> presso un PC residente nella propria scuola connesso a Internet via ADSL, sia all'uso dello strumento e alla fruibilità didattica a livello di Scuola secondaria superiore.

Tale addestramento richiede alcune ore in collaborazione con personale fornito dal Progetto LS-SciMat presso la scuola, e alcune ore di prove con la strumentazione in modalità remota (test di funzionamento assistito dal personale operante presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Padova, ove è installata la parte <server> connessa con il NanoEducator).

Una volta eseguito con successo il test di funzionamento dell'esperimento, l'insegnante sceglie il tipo di campioni da analizzare con la propria classe e fissa, in accordo con l'assistente remoto, la data per l'esecuzione dell'esperimento con gli studenti.

Viene messa a disposizione degli insegnanti una documentazione cartacea e in formato pdf per consentire una più facile acquisizione delle competenze necessarie all'utilizzo del sistema e per l'introduzione didattica dell'argomento con gli studenti.

### Modalità e tempi di esecuzione

L'esperimento può essere eseguito in diverse modalità: minimo 1 ora di lezione, massimo 3 ore.

Ove l'insegnante lo ritenga utile, viene fornito un CD per l'installazione nel PC della scuola del *software* necessario alla analisi (senza collegamento Internet) dei dati ottenuti dagli studenti nelle misure (immagini SFM-STM-Litografia) e scaricati via Internet nel PC della scuola.

### Alcuni elementi didatticamente interessanti di questo esperimento

Il NanoEducator-SPM (prodotto dalla ditta MT-NDT) offre alcuni importanti spunti didattici: la sonda di forza è costituita da un piezotubo che è guidato in oscillazione risonante da una coppia di elettrodi e rivela l'ampiezza di oscillazione con una seconda coppia di elettrodi (studio dell'effetto piezoelettrico diretto e inverso); il processo elettrochimico per la realizzazione della punta della sonda è di per sé un esperimento interessante; la possibilità di esplorare una applicazione tecnologica di effetto quantistico (l'*effetto Tunnel* di elettroni dalla punta al campione) e di evidenziare il *superamento del limite di Abbe* alla risoluzione dei tradizionali microscopi ottici sono aspetti stimolanti per gli studenti interessati alla fisica moderna; la modalità di litografia

Tale addestramento richiede alcune ore in collaborazione con personale fornito dal Progetto LS-SciMat presso la scuola, e alcune ore di prove con la strumentazione in modalità remota

*embossing* consente di modificare i campioni e di analizzarli in tempo reale a livello microscopico...

Un esempio delle misure possibili è qui accanto riportato: si tratta di una immagine SFM di un campione precedentemente manipolato dagli studenti che hanno inciso un disegno (un gatto stilizzato) mediante microlitografia su film plastico: un gatto inciso su 2×3 millimetri di millimetro.

La tecnica consiste nel tracciare un disegno e salvarlo poi in formato BMP (una matrice di punti); quindi si istruisce la macchina a seguire il tracciato del disegno punto per punto con passo scelto a piacere (per esempio, passo nanometrico) e in ogni punto incidere il campione con forza proporzionale al tono di grigio di ciascun pixel nel file.

