

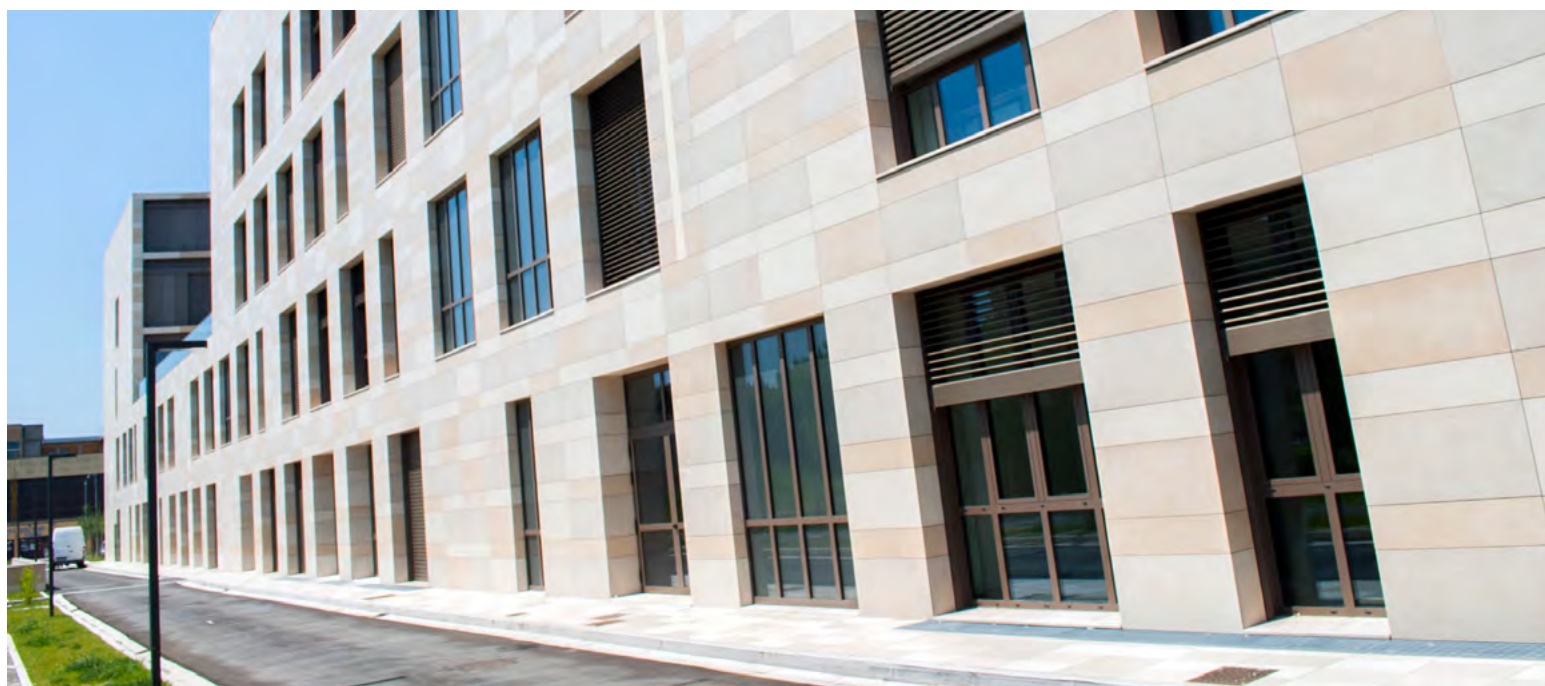


UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

SYMBOLS

N.4 MAGGIO/GIUGNO 2020



Mappa del numero

In questo numero sono illustrate le attività di ricerca svolte nei **Dipartimenti di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG)** e di **Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche (FIM)**.

Sono i due Dipartimenti che raccolgono le competenze sulle scienze “di base”. Per entrambi è molto interessante il “parallelismo dimensionale”: studi alla nanoscala per la conoscenza profonda del mondo e studi su sistemi “macro” che impattano anche nella vita quotidiana dell’uomo. Dal piccolissimo al grandissimo, da micro a macro, da nano a exa.

Nel dettaglio, ci sono colleghi e colleghe che teorizzano le proprietà e le caratteristiche di materiali e dispositivi alle dimensioni più piccole possibili e che descrivono il funzionamento di sistemi basati su questi dispositivi, per valutarne poi l’impatto sull’essere umano.

I laureati e le laureate dai corsi di studio erogati da questi due Dipartimenti sono professionisti/e con conoscenze profonde. Affrontano studi su teorie di base e anche su come applicarle al mondo reale. In particolare, gli studi sulle proprietà fondamentali della natura sono possibili grazie alle notevoli capacità di calcolo presenti in Ateneo. Questo permette di descrivere dettagli impensabili fino a qualche anno fa e mettono in risalto il ruolo dei “big data” che vengono utilizzati massivamente per questo tipo di studi.

Il rapporto tra il “piccolissimo” e il “grandissimo” ha diverse declinazioni. Si va infatti dagli studi sulle **nanoscienze** e le **tecnologie quantistiche** che abitano, per esempio, il funzionamento dei transistor nei nostri apparati elettronici moderni, allo studio delle **proprietà dei materiali per applicazioni molto diverse**: nel mondo della **ceramica**, della **salute** e della **sicurezza alimentare**. Non solo: è molto interessante anche leggere come gli studi sui processi dinamici della litosfera (macro) possono trovare spunti e valenze non solo nelle missioni oceaniche, ma anche dallo studio delle rocce dell’Appennino settentrionale e della composizione (micro) dei sedimenti dell’Appennino. La composizione delle rocce e i fossili quindi, danno informazioni su molte cose. È indubbiamente curioso venire a sapere che le analisi dettagliate sui denti (relativamente micro) fossili dei dinosauri possono dare informazioni sulle loro abitudini alimentari e aiutare a comprendere come si viveva in condizioni ambientali che possono assomigliare a quelle a cui sembriamo avvicinarci (tematica sicuramente macro).

Lo studio dell’ambiente e di alcuni fenomeni come le frane, i terremoti o le barriere coralline, è uno dei temi caratterizzanti la ricerca al DSCG. Non solo: **la “chimica di domani” sarà verde, circolare e sostenibile**. abbraccerà studi sulla sostenibilità ambientale, sui nuovi materiali, svilupperà nuovi “smart sensor” che aiuteranno nella rilevazione di una quantità di dati utili per la previsione dei rischi e per la loro gestione, per l’ottimizzazione della produzione agricola, per analizzare la composizione degli alimenti e la loro sicurezza.

Analisi specifiche su alcuni materiali aiutano a capire anche la nostra storia. La composizione delle arenarie usate per costruire monumenti, come la torre di San Prospero a Reggio Emilia, può servire per restauri più duraturi; l’analisi della composizione delle volte del Duomo di Modena rivela gli interventi del passato probabilmente a seguito di terremoti non registrati; l’analisi di pigmenti permette di restaurare opere d’arte di indiscusso valore.

La Chimica e la Fisica si avvicinano alla salute: lo studio delle proteine, in particolare delle globine, riesce a migliorare la comprensione di alcune patologie; lo sviluppo di piccole proteine può aiutare nella diagnosi e nel trattamento di patologie tumorali; lo sviluppo di nuovi biomateriali come un biovetro che aiuta nella rigenerazione del tessuto osseo; lo studio dei fenomeni fisici che hanno rilevanza biologica, come le proprietà di alcune membrane biologiche possono aiutare lo sviluppo di nuovi antibiotici; viene studiato come le cellule reagiscono a stimoli esterni sia di tipo elettromagnetico che di tipo meccanico per la medicina rigenerativa e lo studio di malattie degenerative.

Tutti questi studi sono supportati da **ricerche in ambito matematico** per permettere di risolvere calcoli e algoritmi sempre più complessi in tempi sempre minori, progettando sistemi intelligenti distribuiti, applicando tecniche di *data management*, arrivando alla progettazione di sistemi “real-time” ad alte prestazioni. Ad esempio, alcuni di questi studi hanno permesso di creare sistemi che abilitano la guida autonoma nei veicoli. Modalità di risoluzione di equazioni differenziali, tecniche di ottimizzazione numerica, studi di matematica discreta e statistica trovano ormai applicazioni in tantissimi campi e risultano a noi “trasparenti”: reti neurali in biologia, reti sociali (formazioni di preferenze in un gruppo di individui ampiamente utilizzate nei/dai social), ambito sanitario (ottimizzare l’adesione a campagne di *screening* per la salute), etologia (studi degli stormi di storni), e molti altri esempi.

I Dipartimenti si occupano anche di divulgazione e di orientamento e hanno **molteplici rapporti con le scuole del territorio**, riconoscendo che queste attività sono essenziali anche per poter mantenere in futuro un’alta qualità della ricerca.

Il FIM, in particolare, organizza annualmente **diversi corsi di formazione e aggiornamento per docenti di scuola secondaria superiore**, svolti all’interno del progetto Piano Lauree Scientifiche promosso dal MIUR.

Il DSCG è molto attivo su più fronti (gestione della proprietà industriale, attività conto-terzi, attività culturali, didattica aperta e public engagement) e gestisce anche, come fiore all’occhiello, il **Museo Mineralogico e Geologico Estense GEMMA 1786**, visitabile nella sede distaccata di Via S. Eufemia 19.





Chimica e Geologia: una sinergia vincente per un futuro sostenibile

L'integrazione esclusiva di conoscenze e competenze del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche per uno sviluppo sostenibile dell'ambiente e della tecnologia

di Alessandro Francesco Gualtieri - Direttore del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche



Il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG) (www.dscg.unimore.it/site/home.html) nasce nel 2013 dalla fusione degli storici dipartimenti di Chimica e Scienze della Terra.

In uno scenario globale orientato alla **sostenibilità ambientale**, al **risparmio energetico** e alla **valorizzazione delle risorse sia naturali che di sintesi**, nell'ottica di un'**economia circolare** che valorizzi i rifiuti prodotti dall'uomo come risorse secondarie, il DSCG è in grado oggi di offrire le migliori competenze chimiche e geologiche in settori di ricerca strategici come la chimica verde, la sensoristica, la ricerca nell'ambito dei magneti molecolari e dei materiali organici funzionali, la tracciabilità dei prodotti alimentari tipici, l'applicazione delle metodologie computazionali nella ricerca di nuovi farmaci e di materiali innovativi, la chimica bio-inorganica, la salvaguardia, valutazione, protezione e recupero dell'ambiente, dei beni geologici e culturali, la ricerca e caratteriz-

zazione di geo-materiali, l'archeometria, l'idrogeologia, la modellizzazione dei processi geodinamici con effetti sia a scala locale che globale (www.dscg.unimore.it/site/home/ricerca.html).

Il DSCG, uno dei Dipartimenti di eccellenza di Unimore ammessi alla procedura di selezione nazionale, collabora con diversi enti pubblici e aziende sia nazionali sia internazionali per svolgere, oltre ad attività di servizio, consulenze tecnico-professionali indispensabili per risolvere problemi di carattere scientifico-tecnologico, gestionale e produttivo di natura complessa.

Per la didattica (www.dscg.unimore.it/site/home/didattica.html), al DSCG afferiscono tre corsi di laurea triennale in Chimica, Scienze Geologiche e Scienze Naturali e quattro corsi di laurea magistrale in Scienze Chimiche, Geoscienze-Georischi-Georisorse, Didattica e Comunicazione delle Scienze Scienze e Quaternario, Preistoria e Archeologia. Quest'ulti-

mo è un corso inter-ateneo con le Università di Ferrara, Verona e Trento. Per il terzo livello della didattica, il DSCG amministra il corso di Dottorato di Ricerca *Models and Methods for Material and Environmental Sciences* che garantisce una formazione avanzata per laureati che vogliono svolgere attività di ricerca di alta qualificazione in ambito chimico, geologico e biologico. È attivo dal 2017 anche un Corso di Perfezionamento annuale in "Emergenze Territoriali, Ambientali e Sanitarie - EmTASK".

Per quanto riguarda la terza missione (si veda: www.dscg.unimore.it/site/home/terza-missione.html), il DSCG è molto attivo su più fronti (gestione della proprietà industriale, attività conto-terzi, attività culturali, didattica aperta e public engagement) e presenta come fiore all'occhiello il **Museo Mineralogico e Geologico Estense GEMMA 1786**, visitabile nella sede distaccata di Via S.Eufemia 19.



Il passato come chiave del presente

Studiare l'Appennino per comprendere gli tsunami e le frane sottomarine



I processi dinamici della litosfera terrestre evolvono su scale temporali molto più grandi della storia umana, ma controllano eventi di grande impatto sulla nostra società come terremoti, tsunami, grandi frane e variazioni climatiche. Gran parte di questi processi avviene negli oceani, le zone più inaccessibili e inesplorate del nostro pianeta. Proprio negli oceani, lungo i margini in subduzione, viene liberata gran parte dell'energia sismica, avvengono le più grandi frane sottomarine

e intercorrono continui scambi di minerali e materiale microbico tra le acque oceaniche e i fondali, regolando i cicli di accumulo e stoccaggio di carbonio nel fondale sottomarino.

Queste interazioni sono studiate nei margini attuali tramite le campagne oceanografiche, che sono però limitate dagli alti costi e sono necessariamente puntuali nello spazio e nel tempo. Gli studi sui margini attuali vengono quindi affiancati a quelli su esempi fossili che si trovano nelle catene montuose, testimonianza degli stessi processi avvenuti nel passato, ma molto più accessibili. Questi studi permettono di analizzare e caratterizzare l'evoluzione delle rocce che sono state coinvolte in questi processi, che quindi ci possono fornire informazioni chiave sulle condizioni in cui i processi sono avvenuti. I gruppi di ricerca del Dipartimento negli ultimi anni si sono in particolare occupati del **ruolo delle argille pelagiche nel rischio tsunami e del ruolo dei gas idrati nell'influenzare grandi frane** e le loro relazioni con i cambiamenti climatici. Queste ricerche sono coordinate da Daniela Fontana, Stefano Conti, Chiara Fioroni, Silvia Mittempergher e Francesca Remitti.

Il ruolo delle argille nel rischio tsunami

Il terremoto di magnitudo 9.1 di Sumatra del 2004, seguito da un'onda di tsunami che ha ucciso più di 230.000 persone, è stato l'evento naturale più catastrofico e inaspettato della storia recente. Una spedizione oceanografica internazionale organizzata subito dopo il terremoto di magnitudo 9.0 di Tohoku-Oki del 2011 ha dimostrato che la presenza di argille pelagiche ricche in smectite lungo il piano di faglia può avere determinato un rigetto anomalo e la formazione di un'onda di tsunami di ampiezza inaspettata. Una migliore comprensione dei meccanismi che controllano il comportamento di queste aree è quindi cruciale per una valutazione più realistica del rischio sismico in generale e in special modo per il rischio da tsunami. Tra i parametri che devono essere caratterizzati per raggiungere questo obiettivo rientrano l'architettura e composizione interna delle zone di faglia e la composizione e la pressione dei fluidi circolanti.



Le unità Liguri dell'Appennino settentrionale si prestano perfettamente per questi tipi di studi offrendo la possibilità di caratterizzare in dettaglio argille pelagiche cretacee che sono state deformate in un margine convergente raggiungendo condizioni comparabili a quelle in cui ora sono ospitate le faglie che hanno causato i grandi terremoti tsunamogenici. Gli studi condotti dal gruppo di ricerca del Dipartimento hanno permesso di caratterizzare in dettaglio queste faglie fossili che presentano grande eterogeneità ed evidenze della presenza di fluidi in pressione, suggerendo che questi parametri debbano essere quantificati per una più puntuale valutazione del potenziale rischio tsunami.



Gas idrati

I gas idrati sono composti solidi cristallini di gas ed acqua, stabili a basse temperature ed alte pressioni, in cui molecole di metano sono incluse in una gabbia di molecole di ghiaccio. Le condizioni per la loro formazione all'interno dei sedimenti si verificano negli oceani a profondità superiori a 300-500 m. Rapide diminuzioni della pressione idrostatica per abbassamenti del livello marino, o per locali aumenti di temperatura legati a risalite di fluidi lungo faglie e fratture, possono causare la rapida destabilizzazione dei gas idrati presenti nei sedimenti, con la liberazione di enormi volumi di gas ed acqua. L'imponente ed improvvisa liberazione dei fluidi ha come conseguenza l'innescare di grandi frane sottomarine, oltre ad influenzare variazioni climatiche a scala globale tramite l'immissione in atmosfera di grandi quantità di metano, un importante gas serra.

La presenza di gas idrati nei sedimenti lascia delle tracce e delle evidenze sotto forma di grandi masse e concrezioni calcaree prodotte dalla degradazione batterica del metano. Si tratta dei calcari di "cold seep" noti in Appennino con il nome di Calcari a *Lucina*. Questi calcari metano-derivati sono riconoscibili in quanto ricchi di gusci di bivalvi chemiosintetici di grandi dimensioni, e per rapporti isotopici del carbonio che dell'ossigeno anomali. Studi recenti hanno mostrato che esempi di fenomeni di risalite di metano sui fondi marini per dissociazione di gas idrati sono ottimamente preservati nelle successioni sedimentarie del Miocene dell'Appennino, oggetto da numerosi anni di studi dei geologi del Dipartimento, con affioramenti spettacolari noti a livello internazionale (nell'Appennino modenese: Sasso Streghe). Lo studio di questi affioramenti fornisce importanti contributi per l'individuazione di un'importante risorsa, il metano, ma anche delle implicazioni climatiche dovute al rapido rilascio in atmosfera e all'innescare di fenomeni di frane sottomarine.



Georischi: questi (s)conosciuti

Lo studio e il monitoraggio di rischi naturali, quali frane e terremoti, condotti dai ricercatori e dalle ricercatrici del DSCG sono fondamentali per la previsione, prevenzione e mitigazione degli effetti devastanti che tali fenomeni possono avere su popolazioni, economie e paesaggi, anche in considerazione dei cambiamenti climatici in atto.

Processi naturali come terremoti, eruzioni vulcaniche, frane e alluvioni sono l'espressione di un pianeta vivo, che evolve secondo complessi processi di lungo e breve termine in gran parte sconosciuti alla maggioranza dei cittadini. In realtà, tali processi sono ben conosciuti grazie all'attività di ricerca dei geologi, consentendo una efficace previsione, prevenzione e mitigazione dei loro impatti sullo sviluppo socio-economico del territorio.

Nel campo della ricerca sui **Georischi**, le competenze del DSCG sono il frutto di decenni di co-

ordinamento e partecipazione a progetti di ricerca internazionali e nazionali nei settori geomorfologico, geologico-applicativo e geologico-strutturale. Tali ricerche hanno dirette ricadute anche sulle attività di terza missione che il DSCG svolge per enti pubblici e soggetti privati. Ad esempio, il DSCG opera come struttura di supporto tecnico dell'Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito di una convenzione-quadro pluriennale (responsabile Prof. Corsini)

Si occupano della tematica i proff. Diego Arioso, Dorianò Castaldini, Alessandro Corsini, Silvia Mittempergher, Francesca Remitti, Francesco Ronchetti e Mauro Soldati.



avente come oggetto “Attività specialistica di supporto alla previsione ed alla pianificazione di emergenza di protezione civile in materia di rischio idrogeologico”, che prevede attività di monitoraggio, modellazione numerica ed analisi di fenomeni franosi (come ad esempio quello in figura, che nel marzo 2018 nel comune di Gaggio Montano, Bologna, ha danneggiato edifici ed ha interrotto per settimane la viabilità stradale e ferroviaria locale e che ha visto il DSCG direttamente coinvolto nelle attività di monitoraggio emergenziale ed analisi).

Nel campo della didattica, i georischi, sono trattati approfonditamente nella *Laurea Magistrale in Geoscienze, Georischi e Georisorse*, e costituiscono il focus dell'indirizzo scientifico-tecnologico del *Corso di perfezionamento in Emergenze Territoriali, Ambientali e Sanitarie EmTASK* (responsabile Prof. Soldati), realizzato in collaborazione con Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile Emilia-Romagna, Arpa Emilia-Romagna, Comune di Modena, Direzione Vigili del Fuoco Emilia-Romagna ed Esercito Italiano.

Il DSCG è quindi parte attiva, sia in ambito di ricerca che di didattica, nell'**azione di contrasto ai rischi naturali** nello spirito del Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, attraverso il quale le Nazioni Unite intendono rispondere efficacemente all'esigenza di definire una strategia comune e condivisa a livello globale per la riduzione dei rischi (anche geologici), alcuni dei quali sono da stati caratterizzati negli ultimi decenni da crescenti livelli di intensità e di frequenza, anche in relazione ai cambiamenti climatici in atto.

Quale futuro per le scogliere coralline? La risposta dai fossili

I paleontologi del DSCG studiano i cambiamenti climatici del passato



Le scogliere coralline oggi

Le scogliere tropicali costruite dai coralli, organismi coloniali eccezionali produttori di carbonato di calcio ma estremamente delicati, rappresentano oggi l'ecosistema più ricco e diversificato dell'ambiente marino. Negli ultimi decenni, purtroppo, si è registrato il declino delle scogliere coralline in tutto il mondo, a causa di una combinazione di stress antropogenici diretti e indiretti, questi ultimi strettamente legati ai cambiamenti climatici in atto. Vediamo con i nostri occhi lo sbiancamento dei coralli dovuto allo stress termico e la riduzione del loro tasso di calcificazione, imputata principalmente all'acidificazione degli oceani. Ma la domanda cruciale è: a lungo termine **cosa succederà alle scogliere coralline**, resisteranno in qualche modo o scompariranno del tutto, e se resisteranno quali strategie potranno adottare?

Le scogliere coralline fossili: perché le studiamo, cosa studiamo

“Looking back to see ahead” è il motto del recente congresso internazionale organizzato a Modena

presso il DSCG dalla Prof.ssa Francesca Bosellini (attuale Presidente della International Fossil Coral and Reef Society, IFCRS). Per comprendere a quale futuro vanno incontro le scogliere coralline è infatti cruciale studiare la loro evoluzione registrata nelle rocce e nei fossili. I paleontologi hanno a disposizione una straordinaria opportunità per rintracciare la risposta ecologica delle scogliere agli stress ambientali collegati alle rapide variazioni climatiche: la documentazione fossile ci permette di inquadrare i cambiamenti che stiamo osservando ora in un contesto a lungo termine e di trovare degli analoghi periodi di riscaldamento veloce nel passato.

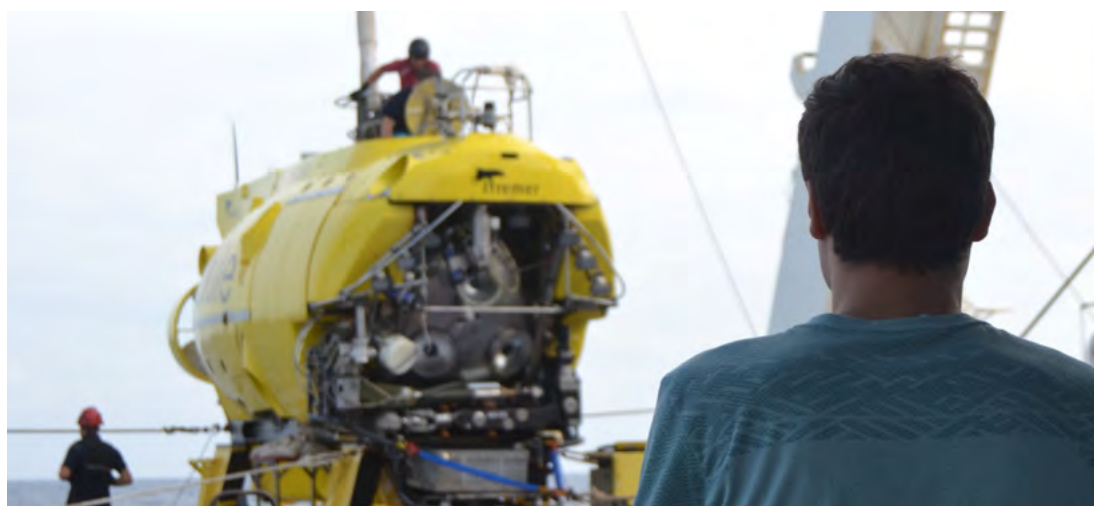
Le ricerche svolte dai proff. Francesca Bosellini, Cesare A. Papazzoni e Alessandro Vescogni presso il DSCG riguardano gli ultimi 60 milioni di anni, un periodo di tempo caratterizzato da forti fluttuazioni climatiche globali, e le scogliere fossili rinvenute in Italia e altrove nel Mediterraneo. I risultati ci dicono che le scogliere e i singoli coralli costruttori hanno spesso risposto in modo diverso agli stress ambientali. Fasi di forte riscaldamento ed elevate concentrazioni di CO₂ negli oceani hanno portato in passato al collasso degli ecosistemi di scogliera ma non sempre ad una

diminuzione della diversità dei coralli. Alcuni di questi si sono dimostrati organismi resilienti in grado di adattarsi al cambiamento climatico, “rifugiarsi” a latitudini più elevate o migrare verso acque leggermente più profonde o torbide. Analisi sulla microstruttura e composizione chimico/mineralogica dei coralli fossili hanno dimostrato una stabilità e resistenza nel tempo della modalità di costruzione dello scheletro, indipendente dai cambiamenti ambientali. Le ricerche ora sono focalizzate sulla risposta dei coralli ed altri organismi calcificatori ad intense e veloci fluttuazioni termiche e della concentrazione di CO₂, e su come e quanto rapidamente le condizioni pre-perturbazione vengano poi ripristinate.



Oceani, ultima frontiera

L'esplorazione dei fondali oceanici, eccellenza del DSCG, offre uno sguardo sui processi fondamentali della Terra, risorse di materie prime, rischi e sostenibilità



La ricerca oceanica al DSCG è orientata su tre versanti principali: i trasferimenti di massa dall'interno della Terra ai fondali oceanici, la definizione dei modelli tettonico-magmatici che governano i processi di trasferimento alla scala delle placche litosferiche e l'esplorazione morfologica dei fondali.

Il gruppo coordinato dal Prof. Brunelli ha partecipato e guidato spedizioni oceanografiche internazionali in collaborazione con l'Istituto

di Scienze del Mare del CNR lungo i margini tettonici sulle dorsali degli oceani Atlantico e Indiano. Gli studenti e dottorandi di Scienze della Terra a bordo di navi oceanografiche hanno mappato e studiato i processi tettonici attivi negli abissi contribuendo a svelare i **processi vulcanici e geochimici che governano il trasferimento di elementi chimici dal mantello terrestre ai fondali oceanici**. Più del 70% dell'attività vulcanica e sismica del nostro pia-

netta avviene negli abissi lungo le dorsali oceaniche. È nel campionamento diretto delle lave oceaniche e nella ricerca delle fonti idrotermali profonde che si svolge l'attività di ricerca marina. Nello scorso anno il DSCG ha diretto una campagna di esplorazione internazionale nell'Oceano Atlantico Equatoriale in cui ricercatori e studenti sono scesi sul fondale a oltre 6 km di profondità tramite il sottomarino Nautilus della flotta oceanografica francese.

Svelare la natura dei processi geochimici lungo le dorsali oceaniche significa esplorare la profondità del tempo e aprire una finestra sull'interno della Terra inaccessibile all'uomo. Attraverso modelli che integrano geochimica, termodinamica e fisica si svelano i processi evolutivi del nostro pianeta alla scala dei miliardi di anni. Sotto la guida della Prof.ssa Anna Cipriani si sono sviluppate tecniche analitiche capaci di misurare, nelle rocce oceaniche, le variazioni elementari al di sotto delle parti per milione e le fluttuazioni nelle sistematiche isotopiche degli elementi che subiscono decadimento radioattivo naturale come uranio-torio-piombo, rubidio-stronzio, lu-



Il team DSCG nella spedizione SMARTIES, da sx: Daniele Brunelli, Léna Verhoest (studente PhD), Anna Cipriani, Fabio Lombardi (Studente Magistrale)



Campionamento delle lave a 5 km di profondità mediante il braccio meccanico del sottomarino Nautilus

tezio-hafnio e renio-osmio. L'analisi associata di elementi come le terre rare, gli elementi volatili come il carbonio, idrogeno e gli alogeni, permette di costruire modelli della struttura profonda della Terra e leggere i processi che danno forma al nostro pianeta. Lo sviluppo del clean lab dedicato alla chimica isotopica e del polo spettrometrico del CIGS hanno permesso di costruire una storia di successo scientifico che ha portato a collaborazioni attive con i maggiori centri di ricerca mondiale a partire dalla Columbia University, NY, il Woods Hole Oceanographic Institution, Boston, MA, l'Institut de Physique du Globe de Paris, l'Università di Pechino tra i principali. Queste ricerche di base hanno implicazioni dirette su aspetti macroeconomici concernenti materie prime ed energia a livello globale. Le scoperte degli ultimi vent'anni hanno rivelato l'enorme potenziale degli oceani come risorsa di materie prime fondamentali per l'industria avanzata come ittrio e terre rare per l'elettronica, litio e nichel per l'accumulazione di energia tra i principali. A livello planetario il reperimento e controllo di queste materie prime ha innescato una corsa agli oceani che pone pressanti interrogativi ambientali, legislativi, etici prima ancora che tecnologici. Le ricadute applicative si estendono alla definizione dei rischi sismici e da tsunami, vulcanici e la conservazione dei litorali.

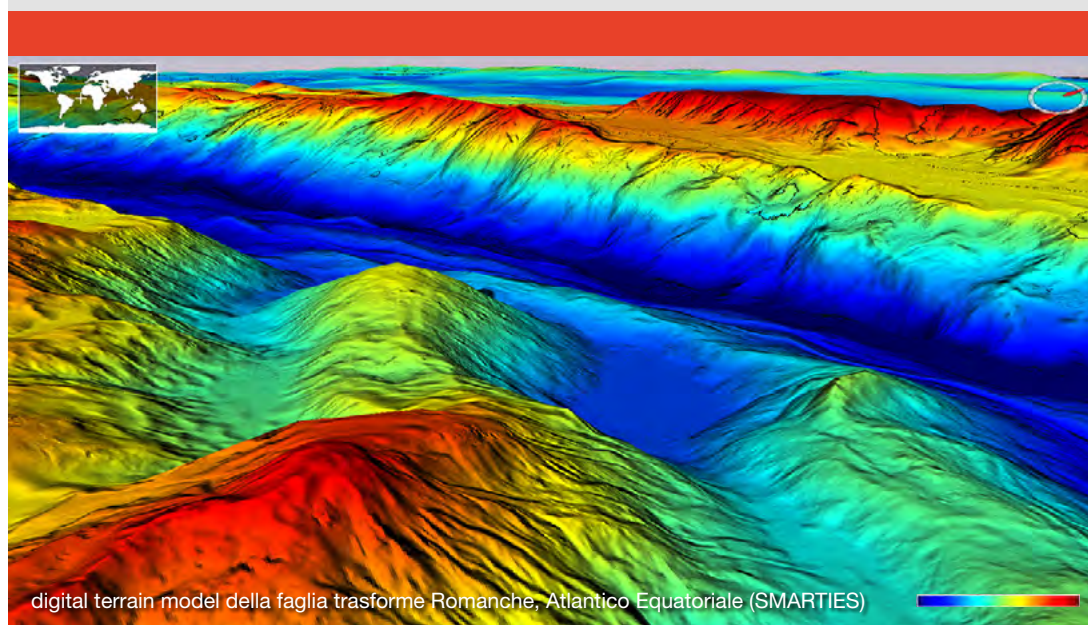
Le forme del pianeta sommerso, *remote sensing* e *digital terrain modelling*

Mentre l'umanità ha intrapreso l'esplorazione diretta dei pianeti esterni la Terra rimane per gran parte ignota. Possiamo contare su mappe complete di Marte, Venere, Luna e altri satelliti del sistema solare ma non abbiamo idea di cosa giaccia sotto gli oceani per più di metà del nostro pianeta. Le acque che coprono circa 2/3 della Terra rendono complessa l'osservazione diretta e solo una piccola parte è stata mappata e studiata. Batimetria e morfologia dei fondali si acquisiscono in *remote sensing* tramite ecoscandagli multifascio a modulazione di frequenza, essi restituiscono una mappa batimetrica con footprint di 50 m a profondità di 4-6 km. Contestualmente al rilievo batimetrico si misurano le anomalie magnetiche e la gravità specifica locale. Questi dati, accompagnati dal *digital terrain modelling*, permettono di defini-

re la struttura tettonica e la cinematica della deformazione litosferica e del vulcanesimo sottomarino. La mappa delle campagne mostra le spedizioni oceanografiche dei proff. Brunelli e Cipriani e le strutture scoperte nell'Atlantico Equatoriale durante la spedizione SMARTIES 2019. Con le stesse tecniche il gruppo del Prof. Mauro Soldati ha studiato la stabilità dei fondali negli intorno dell'isola di Malta.



Siti esplorati lungo le dorsali medio Atlantica ed Indiana, dal 2006 ad oggi



digital terrain model della faglia trasforme Romanche, Atlantico Equatoriale (SMARTIES)



I beni culturali

Il restauro della torre di San Prospero (RE), della torre Garisenda (BO) e del Duomo di Modena

È appena iniziato lo smantellamento del ponteggio di restauro della torre di San Prospero. Icona dello profilo urbano di Reggio Emilia, la torre fu completata nel 1571 rivelando ben presto gravi problemi al paramento lapideo soggetto a fenomeni di degrado di intensità straordinaria. Per questi motivi il progetto di restauro ha dovuto affrontare sfide di una complessità senza precedenti nel panorama nazionale. Festeggeremo a breve il completamento del restauro, mentre sono invece appena iniziati i lavori di consolidamento della torre Garisenda a Bologna. Gli studi in corso riguardano le caratteristiche della luccicante roccia selenitica del basamento, delle malte antiche e di quelle da impiegare per il restauro. Nel 2019 si sono invece conclusi i grandi lavori di rafforzamento antisismico del Duomo di Modena in seguito ai danni provocati dal terremoto del 2012. L'entità distruttiva degli eventi sismici è drammaticamente venuta alla luce dalla nostra scoperta che le volte quattrocentesche sono state parzialmente ricostruite più volte per riparare danni provocati da antichi terremoti. Anche in questo

caso il lavoro non è concluso ma prosegue attraverso la partecipazione di Stefano Lugli, coordinatore degli studi geologici sulle pietre ornamentali e sui fenomeni di degrado, alle attività del Comitato per l'alta sorveglianza del Sito Unesco di Modena.

I beni geologici e paesaggistici

Nell'ottica di un **approccio interdisciplinare al tema del patrimonio culturale**, e della sua valorizzazione e conservazione, le ricerche svolte dal gruppo di geomorfologia risultano fondamentali perché in grado di individuare forme del rilievo meritevoli di essere conosciute e tutelate, promuovendo una fruizione pubblica consapevole e sostenibile. Infatti, i beni naturali, e in particolare i beni geologici, considerati patrimonio culturale già nelle leggi del 1939, stanno beneficiando di un notevole interesse, sia nell'opinione pubblica, sia attraverso iniziative legislative di censimento, protezione e valorizzazione. Tra i beni geologici meritano una particolare attenzione quelli geomorfologici e paesaggistici, che per le loro caratteristiche sono più facilmente e immediatamente apprezzabili dalla popolazione. In questo contesto gli studi condotti, sia in ambito locale che internazionale, da Doriano Castaldini, Paola Coratza e Mauro Soldati, hanno

consentito di individuare, valutare e valorizzare quelle forme del paesaggio scientificamente rilevanti e meritevoli di essere conosciute e tutelate per le generazioni future, in quanto elementi chiave per la comprensione dell'evoluzione fisica del territorio e delle relazioni tra questo e le vicende umane.

Archeometria dei pigmenti

Nell'ambito delle attività Archeometriche, che prevedono l'utilizzo di tecniche strumentali scientifiche per lo studio dei materiali, del degrado e dell'individuazione di interventi di restauro dei beni culturali, numerosi interventi sono stati coordinati da Paolo Zannini, per ottenere informazioni su materiali costitutivi le opere, pigmenti, coloranti, materiali leganti, strati di degrado ecc. Per questo scopo sono state utilizzate tecniche di spettroscopia infrarossa e Raman, spettrometria a raggi X, microscopia elettronica, diffrattometria a raggi X, separazione cromatografica seguite da riconoscimento in spettrometria di massa, analisi termiche ecc. In questo modo è stato possibile essere di ausilio a importanti cantieri di restauro, nonché ampliare la conoscenza su la più grande varietà di opere d'arte, con interventi su opere di Raffaello, Caravaggio, Correggio, Modigliani, Cézanne e

tanti altri, ed incrementando le conoscenze scientifiche su molte aree archeologiche, dove sono stati caratterizzati i pigmenti utilizzati nelle decorazioni a fresco, come a Pompei, Ercolano, Oplonti ecc. Va segnalata anche un'estesa collaborazione con l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze, assieme al quale sono stati sviluppate studi e sperimentazioni su attività di consolidamento. Una particolare attenzione è stata rivolta alle opere del territorio Modenese-Reggiano: il Duomo e la Torre Ghirlandina, le chiese oggetto di restauro, il grande scavo archeologico del Novi Park ecc.

Il progetto Stromboli

Il Progetto Stromboli, ideato e diretto da Sara Tiziana Levi, ha lo scopo di ricostruire le vicende culturali e naturali con un'impostazione fortemente interdisciplinare specificamente mirata all'ambiente peculiare: piccola isola e vulcano attivo. È uno scavo-scuola internazionale a cui, dal 2009, hanno partecipato più di 300 studenti di una trentina di Atenei europei e americani. L'attività didattica comprende corsi, tirocini, tesi di Laurea e Dottorato. Il Progetto ha ricevuto la visita del Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano e ha partecipato a numerose iniziative divulgative tra cui i Geoeventi della "Settimana del Pianeta Terra". Lo scavo stratigrafico si è svolto finora per un periodo di 70 settimane interessando una superficie complessiva di circa 800 m². Le principali scoperte riguardano un villaggio preistorico, una necropoli romana e – come asso-



Il Prof. Stefano Lugli in azione

luta novità – una chiesetta medievale. La comunità medievale ha abbandonato l'isola a seguito di una serie di eventi naturali catastrofici rappresentati nel film "Tsunamis, facing a global threat" che verrà proiettato dall'UNESCO durante "International Day on Natural Hazards" 2020. I risultati scientifici sono pubblicati in numerosissimi lavori scientifici inclusi alcuni in Scientific Reports, Applied Physics A, Antiquity, Journal of Archaeological Science.

Analisi isotopiche in archeologia e antropologia

Le attività di ricerca del gruppo di geochimica isotopica coordinato da Anna Cipriani in collaborazione con Federico Lugli non sono limitate alle geoscienze in senso stretto. Un importante traguardo del gruppo è stato applicare metodologie analitiche all'avanguardia a studi archeologici e antropologici. Le analisi isotopiche infatti possono essere utilizzate in diverse paleoscienze con il fine di indagare l'interazione uomo/animale e ambiente. In particolare, la firma isotopica dell'elemento stronzio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) viene registrata in ossa e denti di esseri viventi ed è direttamente correlata a quella di acque e rocce dell'ambiente in cui l'individuo è nato e cresciuto. Ad esempio, abbiamo sfruttato questa relazione isotopica per indagare la mobilità, rivelatasi limitata, di una madre del Pleistocene Medio, analizzando il più antico dente fossile da latte mai rinvenuto in Italia (Isernia, 570 ka). Abbiamo anche osservato differenze di mobilità e strategie di sussistenza fra due diversi gruppi umani vissuti in Sud Italia (Grotta Paglicci) a cavallo dell'Ultimo Massimo Glaciale (30-18 ka), nel contesto di intricate dinamiche di popolazione durante il Tardoglaciale caratterizzate da movimenti umani dai Balcani. Questi lavori sono stati possibili grazie alle collaborazioni con Stefano Benazzi e il suo gruppo di UNIBO, che sta indagando la scomparsa del Neanderthal e il successo evolutivo di *Homo sapiens* in Italia. Ricostruire la mobilità e le abitudini di vita ha profonde implicazioni sulla nostra comprensione dell'ecologia di specie estinte ma anche sul rapporto uomo/ambiente, in risposta a cambiamenti climatici estremi, che anche oggi hanno forti ripercussioni sulla nostra specie e sulle altre specie animali.

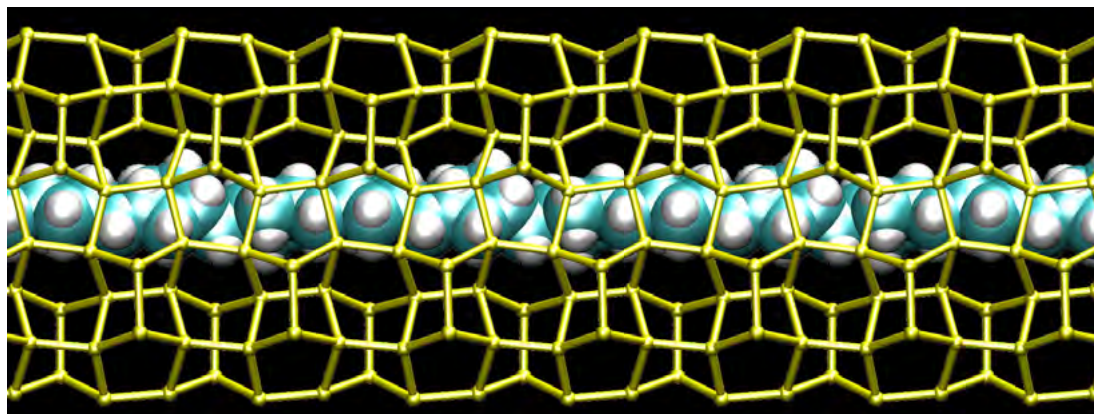
Dieta e abitudini dei dinosauri dallo studio dei denti

I denti fossili rappresentano un prezioso archivio di informazioni sulla dieta e l'habitat di un animale estinto da milioni di anni. Un team internazionale coordinato da Annalisa Ferretti, in collaborazione con Anna Cipriani, Daniele Malferrari e Federico Lugli, sta analizzando denti di dinosauri vissuti in Nord America durante il Cretaceo Superiore, circa 80 milioni di anni fa. L'analisi elementare, isotopica e cristallografica permetterà di definire abitudini e comportamenti che questi animali avevano in vita. In particolare, lo studio abbraccia sia i grandi predatori, tra cui il famoso *Tyrannosaurus rex*, che le loro prede, per valutare la loro dieta e le loro abitudini di caccia, nonché la struttura degli ecosistemi e la loro evoluzione nel tempo, poco prima della grande estinzione di massa di fine Mesozoico. I dinosauri vivevano in un mondo particolare: le piante con fiori erano meno diffuse di oggi, non c'era praticamente ghiaccio ai poli e la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera era più alta dell'attuale. Questa è lo scenario verso cui anche noi sembriamo avvicinarci, quindi è fondamentale che comprendiamo come gli ecosistemi e gli ambienti funzionino in quel tipo di condizioni per poterci preparare meglio per il futuro.



Materiali nanoporosi per la tecnologia e l'ambiente

Applicazioni avanzate di zeoliti naturali e sintetiche



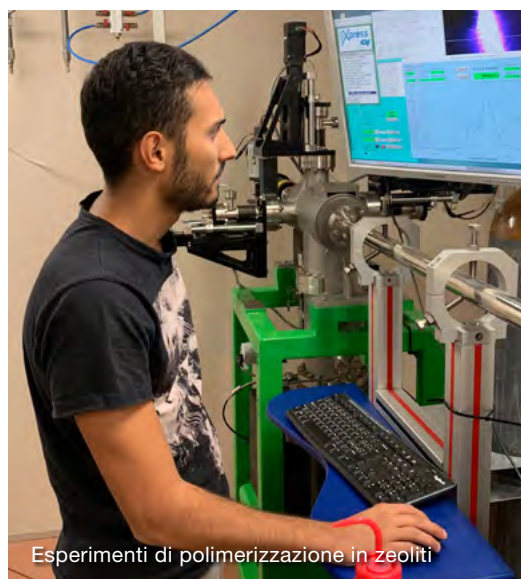
Zeolite micronizzata su foglia di vitigno lambrusco

All'interno del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche di Unimore sono numerosi i **progetti dedicati alla ricerca mineralogica**, in particolare a quella applicata. Il gruppo di ricerca sui materiali porosi, attivo da oltre 40 anni, ed eccellenza del panorama italiano ed internazionale, è attualmente impegnato in vari progetti che hanno come scopo lo sviluppo di sistemi basati su zeoliti sfruttabili in campo tecnologico e ambientale. Le zeoliti sono aluminosilicati di origine naturale o sintetica caratterizzati da una struttura porosa formata da canali e gabbie. Tale porosità ha permesso a questa classe di materiali di essere utilizzata in svariati ambiti: dalla catalisi alla zootecnia, dall'agronomia alla purificazione delle acque. Le ricerche attualmente in corso coordinate dalla Prof.ssa Maria Giovanna Vezzalini dalla Prof.ssa Rossella Arletti, e dal Dr. Daniele Malferrari, trovano applicazioni nel campo della sensoristica e dell'agricoltura sostenibile.

Realizzazione di polimeri conduttori in matrici porose

Questa ricerca, finanziata dal progetto ZAPPING (www.zapping.prin.it) ha reso possibile la polimerizzazione di idrocarburi all'interno di matrici po-

rose, per realizzare polimeri conduttori lineari. Preparare tali polimeri risulta molto impegnativo con i protocolli convenzionali, poiché l'aggregazione e la torsione delle catene ne impediscono la realizzazione. La scelta di polimerizzare le catene all'interno di framework zeolitici offre un ulteriore vantaggio: la zeolite offre protezione al polimero che, isolato ed esposto all'atmosfera, sarebbe molto instabile. I materiali compositi così realizzati presentano una combinazione unica di proprietà tra cui



Esperimenti di polimerizzazione in zeoliti

alta sensibilità e grande stabilità, con un forte potenziale nel campo della sensoristica dei gas.

Zeoliti in agricoltura: ammendanti e corroboranti

Grazie alla loro elevata capacità di scambio cationico, le zeoliti sono in grado di regolare l'equilibrio geochimico del suolo, permettendo un notevole risparmio di acqua e fertilizzanti. Queste proprietà sono state di recente dimostrate in applicazioni su larga scala attraverso il progetto Europeo ZeoLIFE di cui il DSCG è stato partner attivo.

Grazie ad una collaborazione con aziende del settore agro-tecnologico, è stato da poco depositato un brevetto internazionale per un formulato, MenoRame®, a base di zeoliti e rame. Diversi anni di sperimentazione sul campo hanno infatti dimostrato che con l'impiego di MenoRame® è possibile ridurre drasticamente (fino all'80%) gli apporti di rame forniti coi fitofarmaci convenzionali, pur mantenendo una valida azione antimicotica. Questo risparmio, il cui valore è da misurarsi soprattutto in termini ambientali, si ottiene sia grazie alla migliore adesione delle particelle minerali alle foglie, sia al rilascio graduale del metallo operato dalle zeoliti.

Rilevanza chimica di innovazioni in ambito ceramico

Nel DSCG, da decenni, sono state sviluppate ricerche di base ed applicate, tramite progetti di ricerca regionali e nazionali, e tramite una consolidata collaborazione con le Aziende del Comprensorio produttivo Sassolese-Reggiano, per l'approfondimento di problematiche produttive e progettuali. Alcuni esempi di interazione con forte valenza chimica nel settore della produzione di piastrelle e lastre ceramiche possono essere riassunti nei seguenti punti

Progettazione di inchiostri ceramici per stampa digitale

Il passaggio, nella decorazione di piastrelle ceramiche, da tecnologie "tradizionali", quali quelle serigrafiche, a quelle senza contatto, a getto di inchiostro, ha portato alla necessità di riprogettare completamente gli inchiostri, in funzione delle nuove richieste di parametri reologici, chimici (veicoli sospendenti i pigmenti) e fisici.

Studio dei prodotti di combustione di additivi e veicoli organici

In funzione del tipo di sospendente è stato necessario studiare approfonditamente i processi combustivi ed evaporativi, per poter predire

quale tipo di emissione si sarebbe potuto trovare ai camini dei forni ceramici. Meccanismi chimici della generazione di odori sgradevoli e della loro eliminazione grazie a tecnologie di adsorbimento su filtri a carbone attivo, o all'uso di post-combustori rigenerativi.

Compatibilità di materiali

In tutto il processo produttivo ceramico sono presenti, oltre a materiali schiettamente ceramici, materiali metallici, polimerici, macinanti, filtranti ecc. che rendono necessario uno studio accurato della compatibilità fra di essi e delle possibili interazioni chimiche nocive.

Funzionalizzazione di superfici per ottenere attività antibatterica ed antivirale

Realizzazione di superfici ceramiche in grado di impedire la diffusione di microrganismi o di essere tossiche per questi organismi stessi. Messa a punto tecnologie in grado di distribuire superficialmente nanoparticelle di molecole attive in questo senso (Ag metallico, ioni Ag, Cu e Cu ossidi, Zn e suoi ossidi, TiO₂ ed altri materiali aventi azione fotocatalitica)

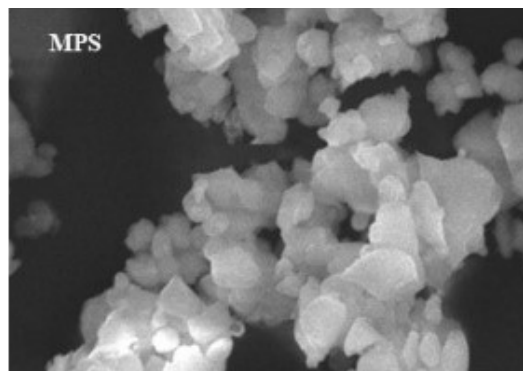
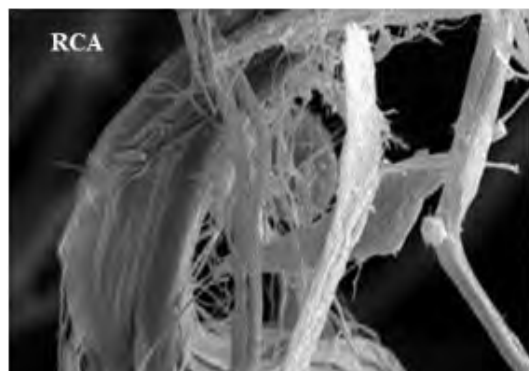
Ottimizzazione di resistenza ad attacco chimico ed alla macchia di superfici ceramiche

Fra le caratteristiche richieste ad una superficie ceramica c'è la resistenza alla macchiabilità e la resistenza agli attacchi chimici, che può essere impostata e controllata tramite appositi trattamenti, di cui è necessario conoscere approfonditamente il chimismo e la morfologia.

Recupero e riciclaggio di rifiuti contenenti amianto (RCA)

Grande attenzione è stata ed è posta, negli anni, a tutto il chimismo delle varie operazioni di trattamento inertizzante di sottoprodotti pericolosi per la salute pubblica, nell'intento di una loro neutralizzazione ed, auspicabilmente, di un loro riutilizzo secondo i principi dell'economia circolare. Nell'ambito di un progetto ministeriale (progetto MATT recupero rifiuti) è stata messa a punto una tecnologia di recupero e riciclaggio di RCA, che vengono trasformati in una materia prima secondaria (MPS) e successivamente introdotta in impasti ceramici per grès porcellanato.

Contatti di riferimento: Prof. Gigliola Lusvardi (gigliola.lusvardi@unimore.it) – Prof. Paolo Zannini (paolo.zannini@unimore.it)



“Chimica Domani”: Verde, Sostenibile, Circolare

Sviluppo di materiali e metodologie innovative per l'energia del futuro e per l'ambiente

Il contesto storico in cui viviamo attualmente richiede un'attenzione particolare all'ambiente e al suo sfruttamento. La Federazione Nazionale dell'Industria Chimica (Federchimica) che ha tra i suoi obiettivi strategici la **tutela dell'ambiente** e la **ricerca di fonti energetiche alternative**, ribadisce il ruolo fondamentale che le discipline chimiche svolgono in questo ambito (<https://www.federchimica.it/la-chimica-per/ambiente>): *“La chimica ha un ruolo di primo piano nel promuovere lo sviluppo sostenibile. Il suo impegno si esplicita non solo nello sviluppo di processi sempre meno impattanti sull'ambiente circostante, ma anche nel miglioramento della compatibilità ambientale dei suoi prodotti. Inoltre, la chimica è in grado di fornire soluzioni che migliorano la sostenibilità dei settori a valle e degli utenti finali”*. Alcuni ricercatori del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche sono da anni impegnati nello studio di soluzioni a queste problematiche attraverso un approccio multidisciplinare incentrato sui seguenti argomenti:

1. Celle solari e fuel cells
2. Polimeri e catalizzatori ecocompatibili
3. Nuovi leganti eco-sostenibili
4. REACH *compliance* di prodotti e processi industriali

Polimeri e catalizzatori ecocompatibili

Le reazioni di polimerizzazione radicalica soffrono del fatto che il polimero generato è polidisperso, ovvero formato da catene polimeriche di varia lunghezza. La polidispersità può incidere fortemente sulle proprietà del materiale finale, per cui diventa importante poter esercitare un controllo sulla cre-

Celle solari e fuel cells

Le celle solari organiche sono dispositivi in cui il materiale fotoattivo non è costituito da silicio inorganico, bensì da materiali di natura organica che possono essere usati in piccola quantità e sotto forma di film, permettendo la realizzazione di pannelli fotovoltaici leggeri, stampabili e flessibili, idonei ad applicazioni innovative grazie alla loro adattabilità a diverse forme e superfici. Le celle fotoelettrochimiche sfruttano invece la radiazione solare assorbita da un colorante per indurre lo splitting della molecola di acqua in idrogeno e ossigeno. Queste celle sono particolarmente virtuose in quanto rendono possibile la produzione di un combustibile pulito, l'idrogeno, a partire da una fonte ampiamente disponibile e pulita, l'acqua. Da diversi anni il gruppo di ricerca guidato dalla prof.ssa Adele Mucci e dalla dott.ssa Francesca

Parenti è impegnato nello studio di materiali innovativi per queste interessanti applicazioni nel settore energetico. Sempre nell'ambito della produzione di energia ecosostenibile si sta portando avanti, insieme al dott. Fabrizio Roncaglia e ad altri ricercatori Unimore (FIM, DIF, DEMB) uno studio interdisciplinare (finanziato come progetto CARCOM, nell'ambito dei fondi FAR2019, linea FCRMO) sull'ottimizzazione di materiali compositi a base polimero/grafite che possono essere utilizzati per costruire piatti bipolari. Questi a loro volta sono componenti delle celle a combustibile che possono bruciare idrogeno, che può essere ottenuto anche dall'acqua per elettrolisi utilizzando energia solare, o altri combustibili, come metanolo o etanolo, ottenibili anche per via fermentativa. Nel caso in cui il combustibile sia l'idrogeno il prodotto della combustione è ancora acqua, una sostanza a impatto ambientale nullo.

scita polimerica in modo da avere un materiale formato da catene più o meno della stessa lunghezza. Un metodo efficace per controllare la polidispersità e la lunghezza delle catene polimeriche è la polimerizzazione radicalica a trasferimento di atomo o ATRP (Atom Transfer Radical Polymerization). Il prof. Franco Ghelfi e la dott.ssa Francesca Parenti sono da tempo impegnati nello studio della sintesi di polimeri tramite ATRP, una tecnica che consente anche di produrre polimeri a blocchi controllati. Se questi blocchi vengono collegati tra loro tramite opportuni gruppi funzionali si ottengono polimeri biodegradabili in quanto scindibili in frammenti più piccoli dai microorganismi presenti in natura. Per rendere una reazione chimica più ecocompa-

tibile è possibile intervenire anche sulla scelta dei catalizzatori. Metalli nobili come palladio, platino, rutenio, rodio e iridio sono tossici ed inquinanti oltre che rari e costosi, ma sono i più utilizzati a livello industriale. Di grande interesse è dunque lo sviluppo di sistemi catalitici più sostenibili ed economici ma di pari (o superiore) efficacia. “La ricerca in questo campo – spiega la dott.ssa Parenti – è un buon terreno di collaborazione tra chimici organici e inorganici. Insieme al prof. Andrea Cornia abbiamo iniziato a studiare nuovi catalizzatori «green», che trovano impiego in molteplici settori industriali: dalla sintesi dei farmaci a quella dei materiali polimerici fino alla produzione di idrogeno, un combustibile pulito.”

Nuovi leganti eco-sostenibili, per il costruito sicuro e di qualità

La presenza del comparto ceramico nel nostro territorio, vero e proprio presidio di eccellenza per tutto il settore dei materiali da costruzione, ha prodotto ricadute per la ricerca applicata coinvolgendo i ricercatori del DSCG che sono attivi su queste tematiche. L'indotto ceramico, trainan-

ZERO (Zero Environmental Risks in Our buildings)

La collaborazione scientifica con alcune aziende leader nel settore dei materiali leganti ibridi, ha consentito di sviluppare una progettualità dedicata per soddisfare esigenze specifiche, con risultati eccellenti sia per l'acquisizione delle risorse, che per qualità e quantità di risultati conseguiti dalla ricerca applicata.

I progetti MADE IN ITALY - Industria 2015 (MISE), e ZERO (POR-FESR), hanno consentito di sviluppare nuove classi di materiali leganti ibridi, VOC's-free e ADR-free, atossici, per il costruito sicuro e di qualità. L'eliminazione dei composti critici dalle formulazioni a base di resine epossidiche e poliuretatiche, ha contribuito a migliorare le condizioni lavorative lungo tutta la filiera, dall'azienda che produce i formulati, ai posatori, fino agli utilizzatori del costruito.

L'azienda che ha investito in innovazione, sostenibilità ed ecocompatibilità, ha preso distanza dai competitori. La stagnazione qualitativa per le aziende che non perseguono obiettivi di rinnovamento, è sinonimo di standardizzazione massiva, che relega l'azienda in posizione-corner dove l'unico strumento di mercato praticabile è la scelta di *no-price-competition* (no R&S = prodotti di basso prezzo, basse prestazioni, bassa qualità).

Il DSCG, con la sua attività di ricerca, è stato, ed è, co-protagonista di questa innovazione.

te e sempre in forte evoluzione, ha consentito lo sviluppo parallelo del settore dei materiali leganti, che ha saputo tenere il passo dell'innovazione raccogliendo sfide tecnologiche impegnative per soddisfare criteri di produzioni sempre più sostenibili ed ecocompatibili.

REACH-compliance di prodotti e processi industriali

Il Regolamento REACH è ormai operativo in tutti i suoi aspetti. Il regolamento persegue l'obiettivo di eliminare, o sostituire, i composti tossici e pericolosi per la salute e per l'ambiente, dai cicli produttivi. Il risultato dell'applicazione del REACH non è mai prontamente disponibile per ogni singolo caso di studio, ma è rappresentato da 'un mondo più pulito', un ambiente più sano e vivibile, poichè tutela acqua-aria-suolo in modo efficace nonostante le barriere di confine degli Stati membri della UE.

L'eliminazione di un composto dalle filiere d'elezione (resine, elastomeri, colle, vernici, ec.) può rappresentare un serio impedimento per le produzioni dedicate, fino a bloccare le filiere medesime. È quindi necessario procedere alla rapida individuazione dei composti non tossici e non pericolosi, più promettenti e più adatti a sostituire quelli in regime di restrizione.

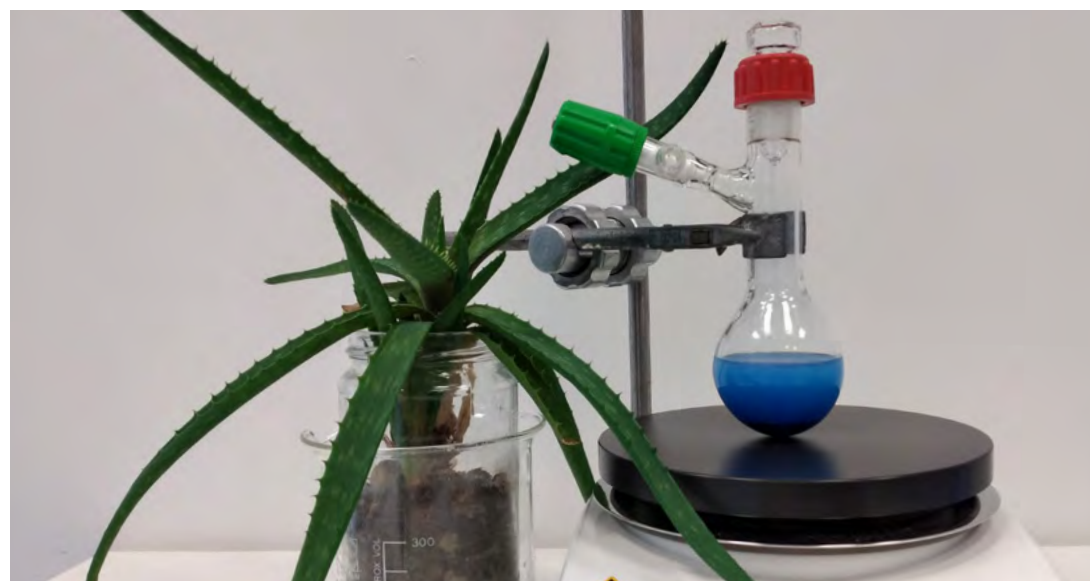
La REACH-compliance di prodotti e processi industriali rappresenta uno degli *hot-topics* per i ricercatori del DSCG.

Un caso-di-studio: la formaldeide

Fra i composti attenzionati dal REACH, la formaldeide è fra i più critici in assoluto, per l'elevata pericolosità e conclamata cancerogenicità. Le filiere di lavorazione del legno sono fra i comparti che necessitano maggiore capacità d'intervento. Le conoscenze acquisite consentono di perfezionare competenze per offrire soluzioni tecnologiche accessibili e vantaggiose, per mettere a punto nuovi processi ecocompatibili, per realizzare prodotti funzionali ed alternativi, privi di CH_2O , sicuri e performanti.

Le nuove materie prime per sostituire la CH_2O , sono polisaccaridi di origine naturale, che richiedono solo poche trasformazioni indispensabili per la funzionalizzazione mirata alla destinazione d'uso finale.

Le esalazioni di CH_2O contaminano l'aria indoor nei capannoni e sui luoghi di lavoro. Se non è possibile eliminare la CH_2O , si può abbattere il composto in fase gassosa mediante filtrazione su materiali chemiassorbenti, idonei e di basso costo, ed una volta esausti, riciclabili all'interno degli stessi cicli produttivi.



Big Data in Chimica sfide e opportunità

Big Data: “big” per volume (Terabyte), velocità d’acquisizione e varietà (numeri, testo, immagini). Estrarre l’informazione in essi contenuta è una vera sfida. I Big Data riguardano anche la Chimica che, ancora percepita come ampolle e fumi, oggi è: strumentazione che genera ogni secondo o per ogni pixel di un’immagine un segnale che riflette la composizione di suoli, cibo, materiali, cellule; simulazioni molecolari che seguono l’evoluzione del cosmo nanoscopico. Perché serve il Chimico per l’analisi di questi dati? Si trova quel che si cerca: senza una conoscenza della Chimica l’informazione chimica rimarrà sepolta.

Produzione Chimica 4.0

Tecnologia di punta per Industria 4.0 è “*Big Data Analytics: Analisi di un’ampia base dati per ottimizzare prodotti e processi produttivi*”. Introdotta nel farmaceutico (2001) le direttive Process Analytical Technology (PAT) e Quality by Design (QbD) sono ora di interesse generale per l’industria chimica, agroalimentare, ecc. Cosa ci indicano?

Principalmente che: la variabilità delle materie prime e condizioni di processo influenza la qualità dei prodotti; i sensori di processo (es: misuratori di pressione, portata, temperatura) sono i Big Data, accumulati da sempre ma ignorati ai fini di preve-

dere la qualità del prodotto; disponiamo oggi anche di sensori “chimici” (spettroscopia, imaging, cromatografia on/in-line) che registrano composizione e caratteristiche chimico-strutturali del prodotto mentre si forma; se analizzati in tempo reale i Big data (sensori di processo e chimici) possono far individuare malfunzionamenti, indicarci come correggere e indirizzare la performance dei prodotti (assicurando la qualità all’origine).

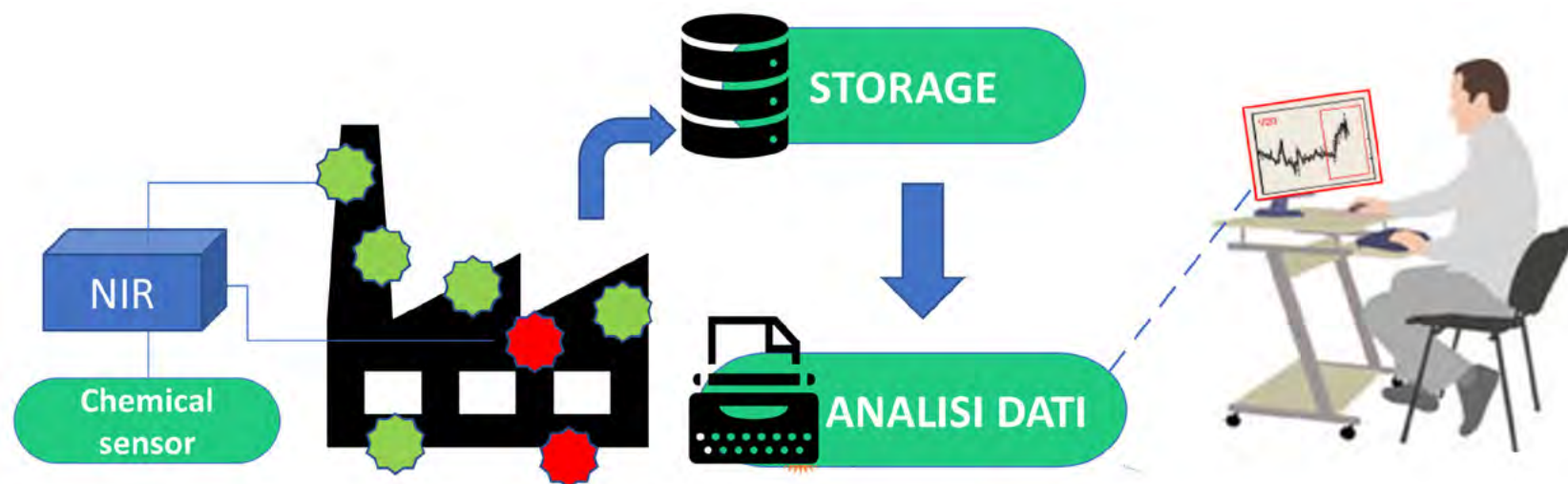
Come utilizzare i Process Big Data? Gli addetti d’impianto conoscono perfettamente i valori ottimali dei singoli parametri e la loro tolleranza (carta di controllo), ma quando le variabili da monitorare sono svariate centinaia? E non agiscono in modo indipendente? Inoltre, come combinarle con i responsi dei sensori “chimici”? Ci aiutano il controllo statistico di processo multivariato (MSPC) e la chemiometria che consentono la sintesi dei dati dai sensori di processo e “chimici” (data fusion) in poche variabili (latenti) tenendo conto della loro correlazione e permettono di monitorare due sole carte di controllo (multivariate). Rispetto ad approcci puramente predittivi (deep learning) hanno la capacità di diagnosticare quali dei singoli sensori (o anche delle proprietà dei materiali in ingresso, se monitorate) siano causa delle anomalie. Questi modelli sono implementabili in tempo reale ed i risultati visualizzati con grafica di semplice inter-

pretazione per gli addetti agli impianti.

Il gruppo di Chemiometria, coordinato dalla Prof.ssa Cocchi, è attivo da anni su questi temi, es: Scuola Metodi Chemiometrici per il Monitoraggio di Processo; progetto “Data analytics per la REALizzazione di sistemi predittivi e Monitoraggio real TIME di processi produttivi in industria 4.0 (DREAMTIME)” BANDO E.R. POR FSE 2014/2020.

Vedere l’invisibile: Simulazioni Computazionali

Le simulazioni al computer implicano la costruzione di un modello virtuale e l’osservazione del suo comportamento in condizioni controllate. Così da riprodurre e studiare fenomeni che sono difficili o impossibili da sperimentare nella vita reale a causa del rischio, e/o dei costi. Queste sono sempre più diffuse e inestimabili per ottimizzare le prestazioni di materiali avanzati e progettare nuovi farmaci. La simulazione di sistemi macromolecolari e materiali avanzati deve analizzare e genera enormi volumi (Big) di dati che i computer convenzionali non sono, ad oggi, in grado di gestire. Per questo si progettano algoritmi di chimica computazionale più efficienti includendo metodi di *machine* e *deep-learning*.



Computer aided Material Design

Ci racconta il Prof. Alfonso Pedone che negli ultimi anni l'attività dei ricercatori del DSCG nel settore della **chimica computazionale applicata alla scienza dei vetri** ha attirato grande attenzione nella comunità internazionale e pesanti investimenti da parte della multinazionale giapponese Asahi Glass Co. con cui è stata avviata una collaborazione. Questa azienda di spicco del gruppo Mitsubishi è tra i maggiori produttori di vetri per applicazioni in campo automobilistico, elettronica, ottica, telecomunicazioni e industria delle costruzioni.

Numerosi dottorandi e assegnisti cresciuti all'interno del corso di dottorato in Models and Methods for Materials and Environmental Sciences afferente al DSCG stanno lavorando allo sviluppo di metodi e algoritmi per la predizione di importanti proprietà e fenomeni, quali: la conducibilità ionica di vetri usati come elettroliti solidi in celle a combustibile e batterie; le proprietà meccaniche di composizioni vetrose usate negli schermi dei dispositivi elettronici; l'effetto di diversi additivi chimici alle reazioni mecano-chimiche che avvengono durante il processo di lucidatura delle superfici di lastre di vetro. Altrettanto di punta è lo sviluppo di metodi per simulare i processi di cristallizzazione dei materiali vetrosi. Infatti, una volta compreso come avviene la nucleazione e la crescita dei cristalli nel vetro sarà possibile progettare modifiche di composizione e ottimizzare le condizioni di produzione per evitare o favorire questi fenomeni a seconda della convenienza.

Incontri ravvicinati proteine-nanoparticelle

Invisibili ad occhio nudo, le nanoparticelle (insiemi di atomi o molecole con dimensioni comprese fra 1 e 100 nanometri, $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$) sono sempre più utilizzate nei prodotti di uso comune (dentifrici, cosmetici ed additivi per alimenti) e per applicazione mediche come vettori di farmaci, come mezzi di contrasto per la radiografia e come agenti in grado di rendere

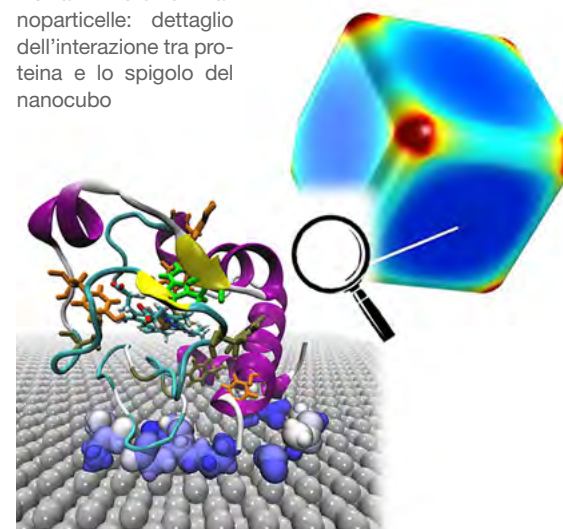
più efficace la radioterapia. Tuttavia, la produzione e l'uso di nanoparticelle non è esente da rischi per la salute. Uno dei processi biologici più rilevanti per la tossicità delle nanoparticelle ha inizio al contatto delle nanoparticelle con strutture subcellulari e biomolecole. Pertanto, spiega la Prof.ssa Maria Cristina Menziani, le simulazioni al computer giocano un ruolo di primaria importanza per poter sviluppare nuove tecnologie basate su nanomateriali che siano più efficienti e sicuri. Le simulazioni permettono di osservare con risoluzione a livello atomico l'interazione tra le nanoparticelle e i sistemi biologici e determinarne le conseguenze quali, ad esempio, i cambiamenti conformazionali delle proteine che possono dar luogo a malattie (proteopatia). Il gruppo di Chimica Computazionale del DSCG, in collaborazione con gruppi sperimentali dell'istituto CNR di fisica applicata, ha recentemente messo a punto una metodica per lo sviluppo di test diagnostici per il riconoscimento precoce di biomarcatori di patologie neurodegenerative basata sull'irraggiamento laser di nanocubi di argento (Figura 1).

Salvare i Big Data: un futuro molecolare?

I Big Data sono conservati nei dischi rigidi (HD) o altri dispositivi di memoria sotto forma di interminabili sequenze di "bit" (0 o 1). Gli HD catturano questa mole di informazioni in un sottile strato di materiale ferromagnetico che riveste la superficie del disco. È evidente che la capacità di un HD dipende dalla densità di scrittura, un po' come la lunghezza del testo contenuto in una pagina varia a seconda dello spazio tra le righe e delle dimensioni del carattere. Elevate densità di scrittura significano dispositivi più compatti e a più basso consumo di energia: esattamente quanto richiesto per l'archiviazione dei Big Data.

Negli HD più moderni, la densità di scrittura è di circa 200 Gbit/cm^2 e ogni bit occupa poco più di 400 nm^2 ($1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$). Ma una nuova

Figura 1: Incontri ravvicinati Proteine Nanoparticelle: dettaglio dell'interazione tra proteina e lo spigolo del nanocubo



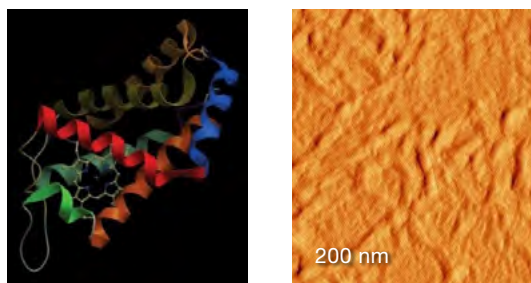
tecnologia con prestazioni 100 volte superiori potrebbe essere dietro l'angolo. "I chimici – spiega il Prof. Andrea Cornia del DSCG – hanno imparato a costruire speciali molecole magnetiche con dimensioni dell'ordine di 1 nm ognuna delle quali, se raffreddata a sufficienza, è in grado di memorizzare un bit". Su questo tema ricercatori del DSCG collaborano con la Prof.ssa Roberta Sessoli di UniFi e con numerosi colleghi europei. "Gli ultimi sono stati anni d'oro per la nostra comunità – continua il Prof. Cornia – grazie alla scoperta di nuove molecole attive già alla temperatura dell'azoto liquido ($-196 \text{ }^\circ\text{C}$), un liquido refrigerante poco costoso e rinnovabile. Essenziale è però mostrare che questi minuscoli magneti non si degradano quando sono interfacciati con la superficie di un dispositivo. «Se Dio ha creato il volume, il diavolo ha fatto la superficie» sosteneva Wolfgang Pauli, Nobel per la Fisica nel 1945. Dopo molti anni di lavoro, ora sappiamo che molecole ben progettate restano attive anche in queste nuove condizioni".

Saranno molecolari i futuri dispositivi di archiviazione dei Big Data? "Restano da completare alcuni passaggi chiave ma le opportunità offerte dalle molecole sono entusiasmanti". La ricerca sul magnetismo molecolare condotta presso il DSCG è finanziata dal MIUR attraverso un progetto PRIN2017.

Chimica e Salute: un ossimoro apparente

Protein Chemistry

Le patogenesi di molte malattie mostrano significativi elementi comuni da un punto di vista molecolare; la proteinopatia (accumulo anormale di proteine mal ripiegate), la disfunzione mitocondriale e lo stress ossidativo sono le caratteristiche ricorrenti di molte patologie. Nel Laboratorio di Bioinorganica e Bioelettrochimica viene studiato da un punto di vista molecolare il **comportamento fisiologico e patologico di diverse metallo-proteine umane di interesse biomedico**, fra queste le globine, particolarmente interessanti poiché costituite da una struttura polipeptidica in cui si inserisce uno ione ferro in forma di eme. Ciò conferisce a questa classe di proteine interessanti proprietà



Struttura terziaria di Ngb e immagine AFM degli ammassi fibrillari che si formano in seguito a stress ossidativo

spettroscopiche e di trasferimento elettronico che rendono il loro studio affrontabile sotto molti punti di vista, sia strutturali che funzionali. Le globine sono proteine ampiamente presenti in batteri, funghi, piante e animali. Nei vertebrati sono stati identificati quattro tipi di globine: emoglobina (Hb), mioglobina (Mb), neuroglobina (Ngb) e citoglobina (Cygb). Nonostante le globine abbiano peculiari differenze strutturali, tutte sono caratterizzate da una struttura globulare ad α -elica ripiegata sul gruppo eme prostetico. Hb e Mb sono state ampiamente studiate per diversi decenni e sono ben caratterizzate in termini di struttura, funzione ed evoluzione. Recentemente, una ricerca condotta nel Laboratorio di Bioinor-

ganica e Bioelettrochimica in collaborazione con gruppi di ricerca di diverse Università straniere ha portato all'identificazione della prima malattia genetica a carico della Mb e alla individuazione delle ragioni molecolari dell'effetto patologico della mutazione collegata. Per Ngb e Cygb, che sono proteine di recente scoperta, la funzione biologica è ancora un argomento di discussione. A Ngb, oggetto di studio attualmente presso il Laboratorio, è stata assegnata una gran varietà di ruoli biologici. Questi ruoli includono la partecipazione alla fornitura di ossigeno ai neuroni, agendo come serbatoio e sensore di ossigeno molecolare, al metabolismo e signaling dell'ossido di azoto, alla protezione di neuroni e cellule della retina dal danno ossidativo, in particolare quello correlato alla riperfusione ischemica conseguente all'ipossia. Recentemente a Ngb è stato correlato un importante effetto sulla formazione e sviluppo di placche amiloidiche e in questa ottica la ricerca del Laboratorio di Bioinorganica e Bioelettrochimica si è focalizzata sulla risposta strutturale della proteina allo stress ossidativo e alla formazione di aggregati amorfi e fibrillari. Nel Laboratorio la ricerca sulle metallo-proteine viene affrontata con approccio multidisciplinare, associando metodi sperimentali e computazionale,

per individuare le ragioni fisiche del comportamento fisiologico e patologico delle proteine, native e mutate, anche nell'ottica di poter progettare approcci terapeutici.

Medicinal Chemistry from Bench to Bedside

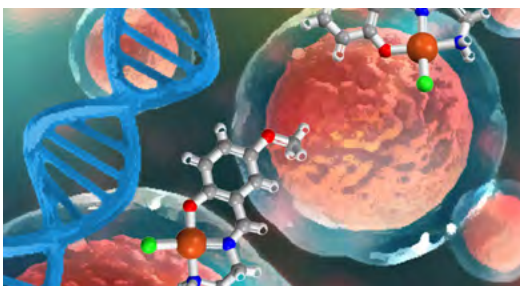
La ricerca di Erika Ferrari, Luca Rigamonti e Alfonso Zambon ha come obiettivo lo sviluppo di piccole molecole di interesse terapeutico. In tale ambito, le attività si focalizzano sulla sintesi di composti che possano aiutare sia nella diagnosi che nel trattamento di patologie tumorali attraverso la combinazione di tecniche in silico e di sintesi organica e inorganica, con lo scopo ultimo di traslare i risultati della ricerca di base in potenziali benefici clinici per i pazienti grazie a una vasta rete di collaborazioni nazionali e internazionali. Lo studio del riconoscimento molecolare tra leganti e macromolecole biologiche, quali proteine e DNA, offre l'opportunità di sviluppare entità chimiche con la miglior efficacia possibile contro una patologia, limitandone al contempo gli effetti collaterali attraverso l'ottimizzazione della loro interazione con più target molecolari (polifarmacologia) e delle loro proprietà farmacocinetiche e farmacodinami-



Da sinistra i proff. Erika Ferrari, Marco Borsari, Gianantonio Battistuzzi, Gianluca Malavasi, Gigliola Lusvardi, Alfonso Zambon, Luca Rigamonti



che. Il gruppo di Chimica Medicinale è impegnato nello sviluppo di molecole con un profilo di inibizione preciso verso specifiche proteinchinasi coinvolte in forme di leucemia, con lo scopo di superare e prevenire la resistenza del tumore al trattamento. Tra i composti inorganici più noti ed utilizzati oggi come antitumorale si ha il cisplatino, $\text{cis-[PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$, la cui efficacia è indubbia ma i cui effetti collaterali a carico dell'organismo possono essere anche molto importanti. La ricerca presso il DSCG volge quindi allo sviluppo di nuovi complessi molecolari contenenti rame, per cui sono noti minori effetti collaterali rispetto ai derivati di platino. In particolare, lo ione rame(II) è stabilizzato da leganti oligodentati che ne garantiscono l'integrità in ambito fisiologico e che fungono anche da modulatori della densità elettronica sul centro metallico e di conseguenza della loro attività antitumorale. Il metallo può inoltre essere sfruttato per studi metabolici finalizzati alla terapia personalizzata e per tecniche di diagnostica precoce, in particolare nell'ambito della chimica nucleare. Seguendo un approccio "chiave-serratura" è possibile legare a una molecola chelante specifica per il radioisotopo metallico di interesse una molecola organica definita targeting vector in grado di essere riconosciuta selettivamente dal bersaglio molecolare. Radioisotopi particolarmente interessanti per queste applicazioni sono i β -emettitori, come il Rame-64 e il Gallio-68, che consentono lo sviluppo di nuovi radiotraccianti per tecniche tomografiche, come la PET (tomografia ad emissione di positroni).

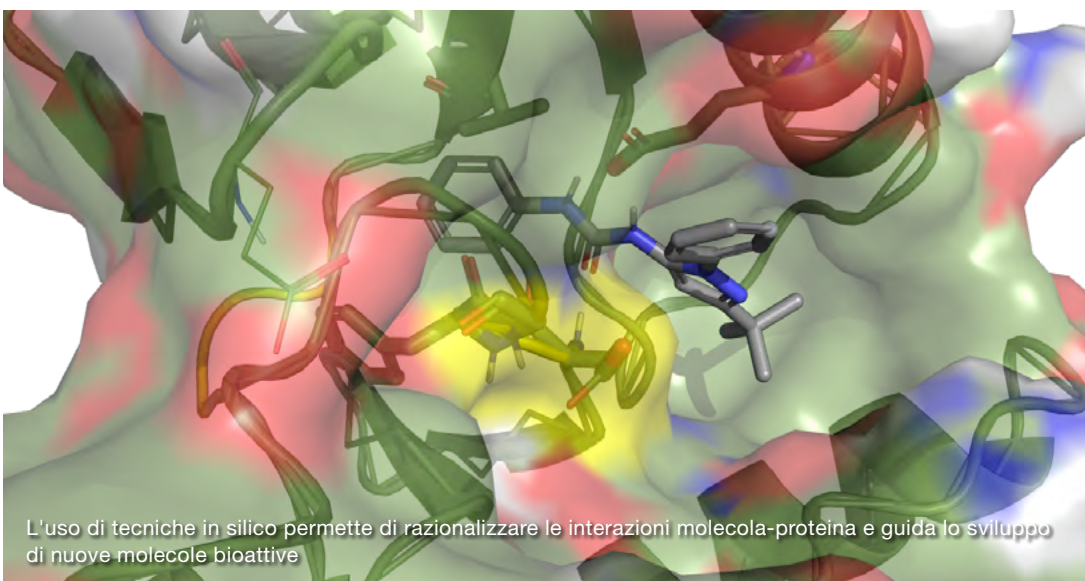
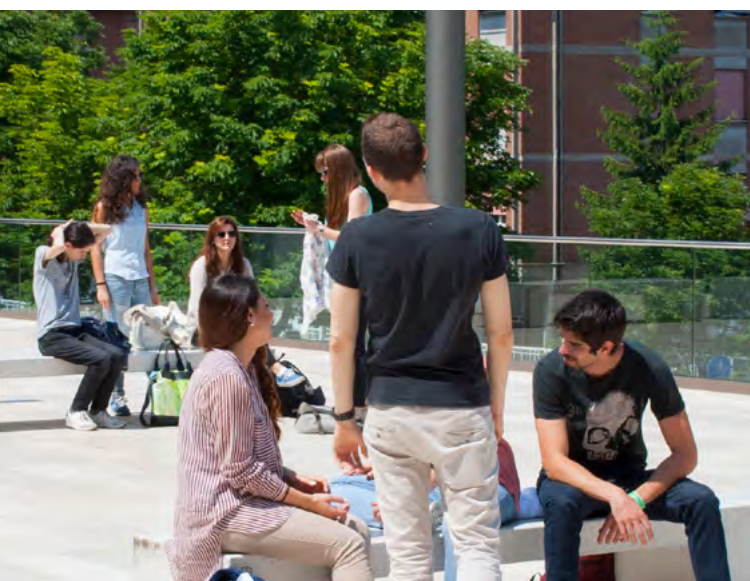


Complessi di rame (arancione) a basso peso molecolare studiati per la loro attività antitumorale e aventi il DNA come target cellulare

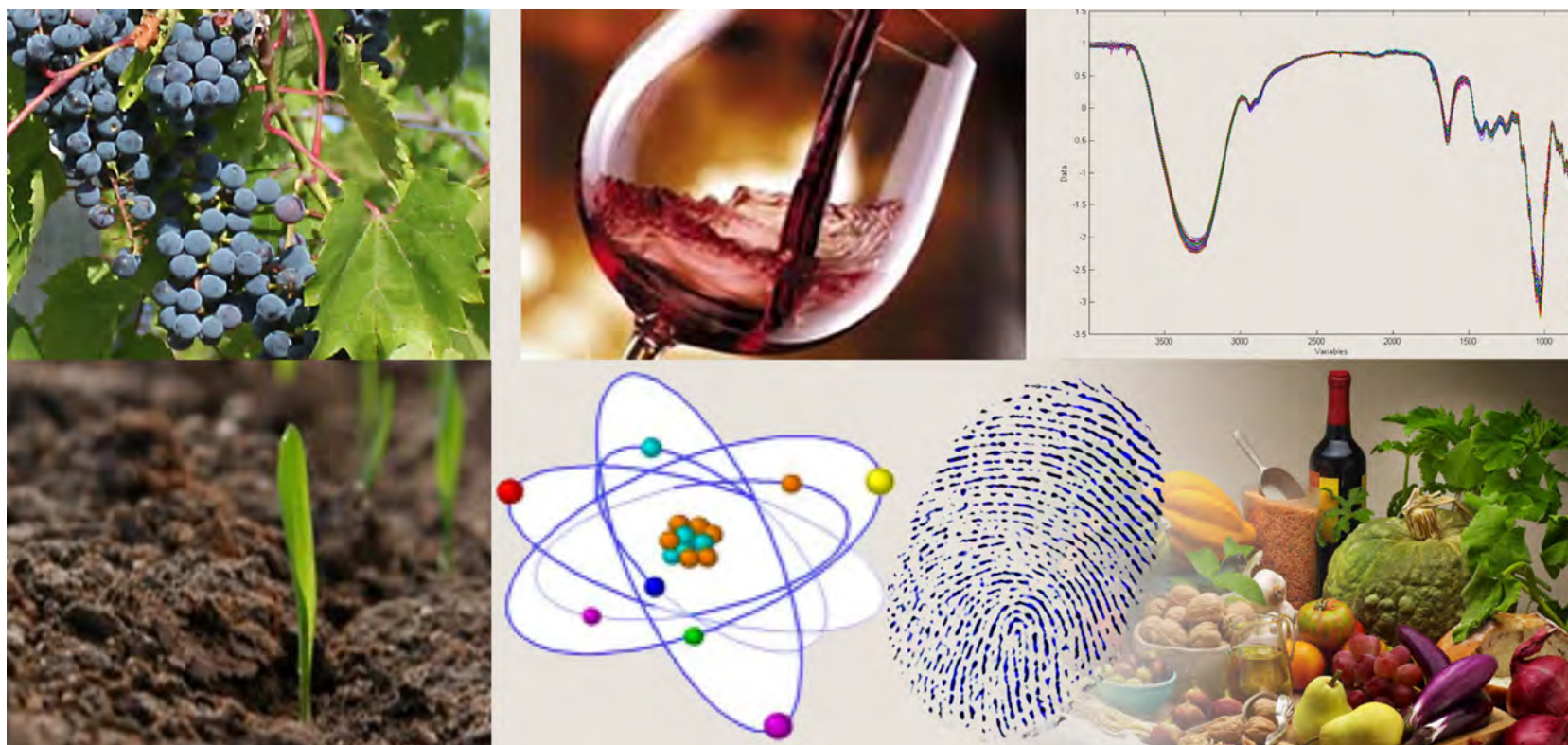
Smart Biomaterials

I professori Gigliola Lusvardi e Gianluca Malavasi del DSCG, grazie alla loro comprovata esperienza nel settore dei biomateriali ceramici, hanno progettato e realizzato un biovetro (vetro bioattivo) che è in grado di rigenerare nuovo tessuto osseo (bioattività) ed inibire lo stress ossidativo causato da infiammazioni locali derivanti dall'inserimento di una protesi. I biovetri sono una classe di materiali già in uso da qualche decennio, ad esempio, come additivi di paste dentifrice e rivestimenti per protesi metalliche. In quest'ultimo caso, la loro funzione è quella di stimolare la proliferazione cellulare degli osteoblasti e quindi la crescita ossea; la superficie del vetro si degrada progressivamente, su di essa cresce il "nuovo osso" e si realizza un ancoraggio stabile con la protesi. Il primo biovetro è stato sintetizzato nel 1969 dal Prof. Larry Hench, che si era occupato dei reduci del Vietnam feriti

agli arti, i quali spesso dovevano subire traumatiche amputazioni, non essendo disponibili materiali che potessero sostituire o rinforzare l'osso mancante; Hench si era posto quindi l'obiettivo di mettere a punto materiali idonei. Uno degli effetti collaterali degli interventi chirurgici per l'introduzione di protesi è l'infiammazione dei tessuti circostanti ed è noto con il termine stress ossidativo; si tratta di una produzione eccessiva di perossidi e specie radicaliche, dannose per l'organismo. Gli studi condotti all'interno del DSCG prevedono modifiche alla composizione di biovetri noti in letteratura mediante aggiunta di ossido di cerio. Tali studi dimostrano che il biovetro mantiene ancora le caratteristiche di bioattività e nello stesso tempo inibisce lo stress ossidativo, riducendo quindi l'infiammazione locale. Tutto questo grazie alla capacità del cerio di acquistare e cedere elettroni mediante reazione con perossidi e specie radicaliche con successiva formazione di specie innocue come acqua ed ossigeno. Tale comportamento simula quello degli enzimi catalasi e perossidasi, che negli organismi viventi sono deputati a queste funzioni (Figura). Fra le numerose pubblicazioni dei professori coinvolti in questo progetto, una in particolare dal titolo "Cerium-doped bioactive 45S5 glasses: spectroscopic, redox, bioactivity and biocatalytic properties", è stata pubblicata sulla prestigiosa rivista *Journal of Materials Science* (ed. Springer), tra i migliori contributi per il premio "2017 Cahn Prize".



L'uso di tecniche in silico permette di razionalizzare le interazioni molecola-proteina e guida lo sviluppo di nuove molecole bioattive



Chimica, sicurezza, qualità, identità

L'Analisi Chimica è indispensabile per **conoscere la composizione qualitativa e quantitativa dell'ambiente, di prodotti naturali, agro-alimentari, materiali**, ecc. e rilevare sia sostanze indesiderate (adulterazioni/contaminazioni) che ricercate e preziose per le loro proprietà. Oggi, sia le strumentazioni che i metodi analitici sono sofisticati e performanti. Nel DSGC la Ricerca in questo ambito è ampiamente rappresentata e d'avanguardia.

Una carta d'identità per gli alimenti

Garantire la qualità, la sicurezza e tracciabilità alimentare è sicuramente una priorità. A tal fine i marchi di qualità dell'Unione Europea (DOP, IGP, ecc.) garantiscono i prodotti tipici che si qualificano per il terroir, l'origine e la pratica di produzione. Al contempo, l'alto valore aggiunto trasferito da questi ai prodotti che se ne fregiano, è motivo di costante contraffazione/imitazione.

Da qui la necessità di definire di criteri oggettivi in grado di certificare l'autenticità, la tracciabilità di filiera-processo e geografica dell'alimento. Il gruppo di ricerca Metodologie Analitiche Innovative e Chemiometria (Prof. Marchetti e Cocchi) ha dato rilevanti contributi in questo ambito. Di rilievo i Progetti interdisciplinari (per Unimore coinvolti DSCG, DSV, CIGS) ad ampio partenariato (enti pubblici, realtà produttive, consorzi di tutela) coordinati dal Prof. Marchetti: AGER, 2011 – 2014: “Nuove tecnologie per la tracciabilità geografica e varietale di prodotti enologici” che in Italia, è stato il primo progetto di tracciabilità geografica mediante rapporti isotopici di elementi radiogenici, che abbia considerato, per i Lambruschi di Modena DOP, l'intera filiera (<http://www.visualmultimedia.it/portfolio/video-produzioni/31-alle-radi-ci-della-qualita>). Nel suo ambito l'Ateneo ha acquisito (Centro Interdipartimentale Grandi Strumenti, CIGS), primo in Italia, uno spettro-

metro di massa inorganica ad alta risoluzione (MC-HR-ICP/MS); ed il recente “Smart Inno-vaFOOD” per la realizzazione di un laboratorio di Spettrometria di massa per la determinazione dei rapporti isotopici di bio-elementi (Piattaforma EA-, LC-, Riequil.-, GC- IRMS) che completa la dotazione CIGS per la misura di parametri rappresentativi del suolo, piante, clima, che misurabili anche nell'alimento lo mettono in relazione diretta con il territorio.

La Ricerca è altrettanto attiva nello sviluppo di metodiche *fast, low-cost*, non-distruitive per ottenere un'impronta digitale unica dei prodotti (*fingerprint*) che coglie globalmente la composizione chimica dell'alimento (adatti per screening ampio e rapido alla produzione/vendita). Strumenti che, in sinergia con metodi chemiometrici dedicati, nel loro insieme verificano l'esistenza di un legame indissolubile ‘prodotto – territorio di origine’, e possono così restituirci la **Carta d'Identità degli Alimenti**.

Sensori chimici: l'analisi diventa smart

I sensori chimici hanno conosciuto negli ultimi anni un enorme sviluppo e permettono oggi il monitoraggio puntuale di diversi parametri chimici coniugando semplicità d'utilizzo, rapidità della risposta, trasportabilità ed economicità dell'analisi. Senza sostituirsi alla convenzionale strumentazione da laboratorio, i sensori possono essere efficaci in tutte quelle situazioni in cui il monitoraggio in campo può permettere un intervento tempestivo dell'operatore, ad esempio nel **controllo di processo**, o può costituire un primo *screening* nell'identificazione di campioni da sottoporre ad un'analisi chimica più dettagliata.

L'attività di ricerca del gruppo Elsens (<http://www.elsens.unimore.it/>) è dedicata allo sviluppo di nuovi sensori e biosensori elettrochimici applicabili all'analisi di specie di interesse nel settore alimentare, ambientale e della salute. Tra le applicazioni più innovative bisogna citare la nuova frontiera dei sensori "wearable", cioè integrabili nelle fibre tessili, per il monitoraggio di parametri fisiologici (es. elettroliti, glucosio e acido lattico) durante l'attività fisica. Parallelamente allo sviluppo di sensori per la determinazione di parametri chimici specifici, il gruppo sviluppa sensori anche per le cosiddette lingue elettroniche, dispositivi in grado di compiere analisi su liquidi complessi per permetterne la classificazione, l'analisi composizionale o la determina-

zione di parametri di qualità complessive, anche di tipo sensoriale. Una lingua elettronica è in grado di riconoscere molto rapidamente un campione in base alla sua "impronta digitale", rappresentata dall'insieme dei segnali prodotti da un array di sensori, e grazie a questa classificarlo in funzione di un determinato parametro, come ad esempio la provenienza geografica, oppure risalire alla sua composizione chimica. Le applicazioni specialmente in campo alimentare sono notevoli e finalizzate alla caratterizzazione e alla tipizzazione dei prodotti, all'individuazione di eventuali adulterazioni o frodi e alla rilevazione di additivi nocivi. Si può tuttavia estendere lo stesso approccio a tutte le situazioni in cui ci sia l'esigenza di identificare la composizione di liquidi in modo rapido e affidabile senza l'impiego di strumenti di fascia alta. Attualmente il gruppo è infatti impegnato nello sviluppo di una lingua elettronica per l'individuazione di prodotti a base di Cannabis sativa L. illegalmente commercializzati per il loro elevato contenuto di Δ^9 -tetraidrocannabinolo, la principale sostanza psicotropa contenuta nelle foglie di marijuana.

La chimica recupera e valorizza

L'implementazione di metodologie di trasformazione strategiche per l'economia circolare, coinvolgono ormai tutti i settori produttivi. Il comparto della produzione agricola primaria è fortemente interessato al recupero valorizzativo dei materiali di scarto agronomico, al fine di ricavarne prodotti a

valore aggiunto mediante frazionamento graduale e progressivo con tecniche di bioraffineria. Queste tematiche sono fortemente incentivate con i piani di sviluppo della S3 regionale, nazionale ed europea, destinando risorse consistenti per le attività di ricerca applicata di contesto. Si incrementano così le competenze specifiche di soggetti beneficiari (Dottorandi in Alta Formazione ed Assegnisti) e si accresce la competitività del sistema economico con la creazione di nuovi posti di lavoro.

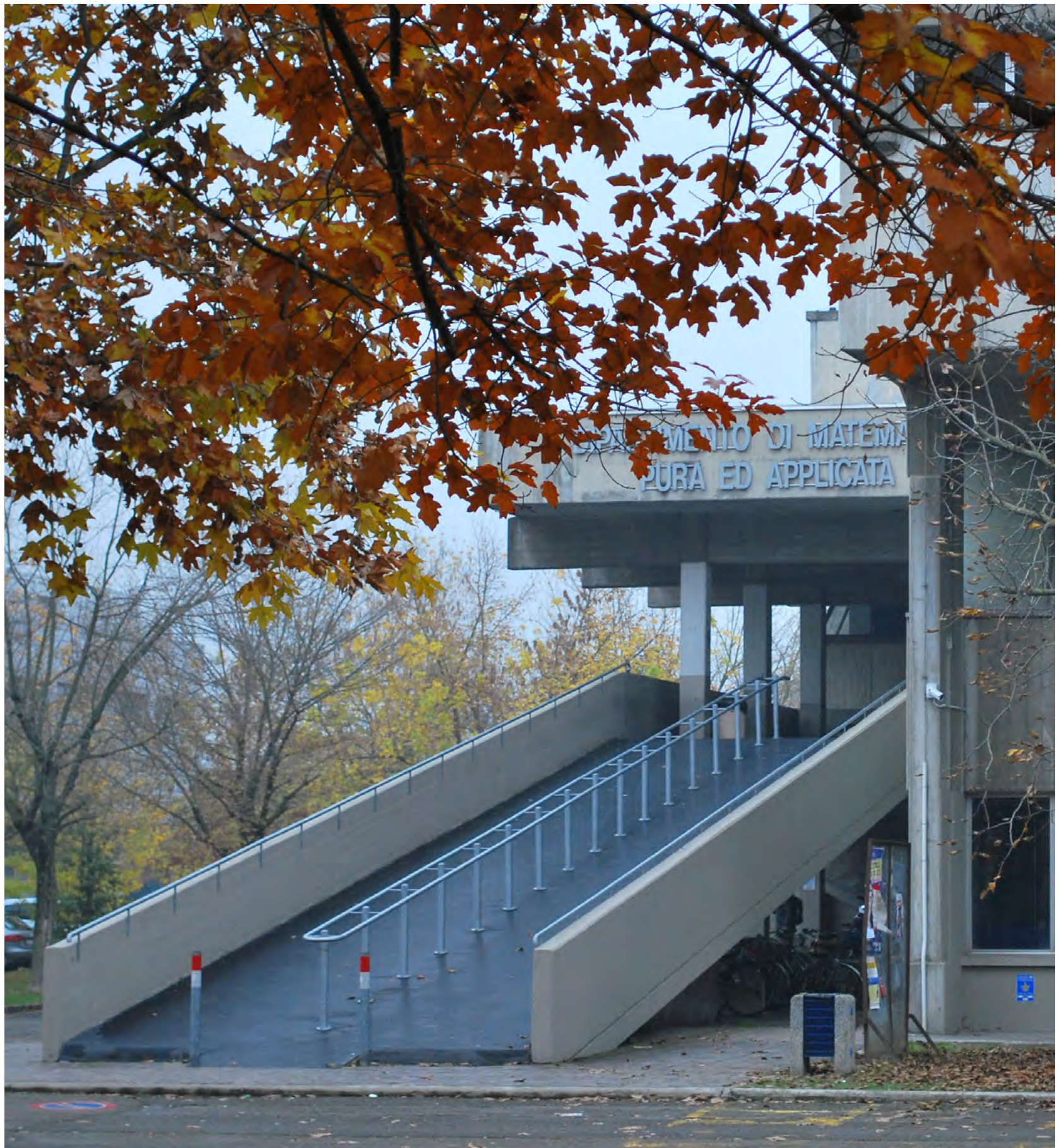
Un progetto POR-FESR del 2018, ha consentito di acquisire una posizione di Dottorato per il DSCG, per sviluppare attività di ricerca articolata su questi segmenti.

- studio delle produzioni agricole primarie, individuate come "filiera di elezione" per l'attività di progetto (*cucurbitaceae*, ed ortofrutticole in genere);
- individuazione di metodologie estrattive efficaci per il recupero selettivo delle frazioni oleosa, amidaceo-proteica, polifenolica, ec. utilizzando tecniche DoE;
- caratterizzazione chimica, profilo compositivo e valutazione delle proprietà bio-farmacologiche - nutraceutiche delle componenti estratte;
- progettazione di formulati alimentari, mangimistici, cosmeceutici, ec. che possano utilizzare i prodotti frazionati, i componenti estratti ed i principi attivi a maggiore valore aggiunto;
- valutazione delle rese dei processi di frazionamento, e stima del contenuto energetico dei materiali sfibrati;
- valorizzazione dei risultati della ricerca e processi di Trasferimento Tecnologico.

L'economia di sistema può trarre vantaggio su tutta la filiera delle *cucurbitaceae*, a partire dagli agricoltori che potranno raccogliere l'intera produzione primaria in campo, soprattutto quella residuale del periodo di stanca stagionale, per conferirla alla trasformazione successiva mediante processi innovativi. Attualmente, le eccedenze produttive de-valorizzate sono eliminate col sovescio dei terreni agricoli, od avviate agli impianti di compostaggio con costi aggiuntivi per lo smaltimento. Viceversa, la biomassa può diventare risorsa insostituibile per il recupero estrattivo di prodotti alimentari, o materiali per altri usi.



Smart sensors



Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche

Comprendere e gestire le tecnologie del futuro attraverso le Scienze di base

di Luca Zanni - Direttore del Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche



Il Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche (FIM) nasce nel 2012 sulla base di un **progetto culturale che mira a consolidare e rendere sempre più efficaci le attività di ricerca scientifica, formazione e trasferimento tecnologico nelle tre discipline citate nel suo nome**. L'aggregazione in un'unica struttura dipartimentale di queste discipline trova motivazioni profonde sia dal punto di vista storico, per la secolare attività nell'ambito delle scienze Matematiche e Fisiche condotta presso l'Ateneo Modenese, sia in una prospettiva attuale, in cui la necessità di sviluppare nuove tecnologie si coniuga con quella di formare professionalità qualificate in settori cruciali, quale il settore Informatico. Attraverso l'integrazione di elevate competenze in discipline scientifiche trasversali, il FIM ha acquisito la capacità di contemperare efficacemente le esigenze culturali di avanzamento delle conoscenze con le esigenze specifiche del territorio.

Grazie alla passione e all'impegno del proprio personale (ad oggi afferiscono al FIM 61 docenti

e ricercatori e 22 unità di personale tecnico-amministrativo) il FIM fornisce una robusta formazione agli studenti dei Corsi di Studio Triennali e Magistrali in Fisica, Informatica e Matematica offerti dal Dipartimento, in un ambiente caratterizzato da una forte interazione docente-studente, utile per trasmettere il fascino della ricerca nelle discipline scientifiche, da laboratori all'avanguardia, da collaborazioni internazionali e da accordi con grandi gruppi ed aziende innovative per lo sviluppo di attività di tirocinio. Le conoscenze di base in discipline fondamentali e trasversali acquisite dai laureati FIM offrono ampie possibilità di occupazione dopo la laurea: dal settore della ricerca scientifica, alla scelta di percorsi di formazione per la professione di docente nella Scuola, fino all'ambito aziendale, dove il laureato FIM può portare competenze complementari rispetto agli specialisti di altre discipline applicate. Una rilevante parte dell'attività didattica del FIM è dedicata anche a fornire solide conoscenze di base agli studenti dei Corsi di Studio di ambito scien-

tifico-tecnologico offerti da altri Dipartimenti, in particolare all'interno della Scuola di Ingegneria di Unimore alla quale il FIM afferisce.

Gli articoli che seguono forniscono un quadro dell'attività scientifica del Dipartimento evidenziando come le ricerche condotte risultino cruciali per proporre, comprendere e migliorare le innovazioni tecnologiche richieste in svariati settori delle scienze applicate. Queste ricerche hanno consentito negli anni una crescente attività progettuale, con un forte incremento dei finanziamenti istituzionali acquisiti dal Dipartimento, e un incremento delle attività di trasferimento tecnologico e di supporto allo sviluppo di importanti realtà produttive del nostro territorio. Infine, grazie non solo alle competenze ma anche all'entusiasmo dei suoi docenti, il FIM conduce **numerose iniziative di divulgazione scientifica e di orientamento per gli studenti delle scuole secondarie superiori**, importanti per instillare e far crescere nei giovani la passione per le discipline scientifiche.

Formare i professionisti dell'innovazione

Quanti sanno che il navigatore utilizza le equazioni della relatività di Einstein, o che le memorie dei cellulari sono costituite da nano-transistor basati sulle strane leggi della meccanica quantistica? Quanti si rendono conto dei sofisticati metodi matematici e algoritmi che permettono ai motori di ricerca di fornire milioni di risposte in una frazione di secondo, e ai computer di riconoscere un volto o interpretare la voce umana? Non esiste, oggi, separazione tra scienze di base e scienze applicate. La formazione nelle discipli-

L'immagine del fisico un po' fuori dal mondo è lontana. Oggi i laureati e le laureate in Fisica sono professionisti con una conoscenza profonda, sia dei meccanismi fondamentali della Natura, sia del loro ruolo nelle tecnologie attuali. Che lavorino in ambito industriale, come succede alla maggioranza di loro, o che svolgano ricerche di base in un moderno centro di ricerca, iniziando dal dottorato presso la Graduate School in Physics and Nanosciences del Dipartimento, i fisici lavorano in team su progetti complessi, acquisendo le tecnologie più avanzate o contribuendo a svilupparne di nuove. I nostri corsi di laurea forniscono piena padronanza degli strumenti di simulazione o della conduzione di apparati sperimentali avanzati, capacità di modellizzazione e problem solving, specialmente durante la tesi di laurea in uno dei settori di frontiera della ricerca scientifica del dipartimento, la fisica delle alte energie, la fisica computazionale della materia, la nano-fisica e le nano-tecnologie, la fisica dei sistemi biologici, o le tecnologie quantistiche. È davvero difficile elencare i settori di impiego dei fisici, dal settore ITC all'automotive, dalla editoria scientifica alla meteorologia, dal settore bancario e assicurativo al sistema europeo dei brevetti, alla Fisica medica e ambientale, all'insegnamento scolastico e universitario.

ne fondamentali che forniamo ai laureati in fisica, informatica e matematica, profonda ma inter-settoriale, ottenuta anche mettendo in comune insegnamenti delle tre discipline in percorsi di studio personalizzati, permette loro di lavorare con ingegneri, chimici, biologi, medici, economisti, e specialisti di altre discipline applicate. In ambito aziendale spesso il loro ruolo è trasversale rispetto alle specifiche competenze di altre professionalità, "specialisti della innovazione" che intervengono nella evoluzione tecnologica delle aziende.

Anche lo stereotipo del matematico che, solitario, traccia astratte formule su un foglio è datata. Oggi i laureati in Matematica trovano facilmente lavoro nelle aziende del territorio, dove si occupano dell'applicazione della Matematica in vari settori, tra cui quello bancario e assicurativo, la gestione dei processi industriali, il settore medico o dell'Intelligenza Artificiale e Data Science. Negli anni recenti molti laureati in Matematica hanno scelto di perfezionarsi nell'approfondimento degli aspetti teorici proseguendo il proprio percorso di studi con il Dottorato di Ricerca in Matematica, per inserirsi nei gruppi di ricerca di elevato prestigio internazionale, nell'ambito dei quali i docenti e i ricercatori del Dipartimento operano attivamente. Il corso di Laurea Magistrale in Matematica offre anche un curriculum didattico per la formazione degli insegnanti, in cui si inseriscono competenze in tecnologie didattiche e in discipline antropo-psico-pedagogiche, dedicate a chi desidera intraprendere la professione docente nella Scuola.



L'informatica sta conoscendo uno sviluppo esponenziale. Probabilmente molti ambiti lavorativi non esistono ancora quando uno studente si iscrive alla laurea in Informatica. Termini come data science, sistemi embedded, sicurezza, guida autonoma, computational intelligence, bioinformatica, smart cities, sistemi distribuiti, crittografia, block chain, controllo, sistemi di supporto alle decisioni definiscono solo alcuni degli ambiti attuali del settore. Alle competenze di base, algoritmiche e matematiche, necessarie alle capacità di codifica e di sviluppo software, gli studenti, affiancano percorsi su intelligenza artificiale, sistemi sicuri distribuiti, Smart Cities, informatica per la biologia e la medicina, sistemi embedded e real time, che consentono ai laureati in informatica di diventare project manager con un approccio multi-disciplinare. L'insegnamento è fortemente centrato su attività di sviluppo di progetti, anche legate a importanti laboratori del Dipartimento nel campo della guida autonoma e dei sistemi embedded. I tirocini sono effettuati in collaborazione con grandi gruppi e aziende innovative del territorio.

Il profilo internazionale dei nostri laureati è particolarmente apprezzato dalle aziende. Il Dipartimento offre una **laurea magistrale internazionale in Fisica** interamente in **lingua inglese** e un accordo di **doppia laurea magistrale** in fisica con una università olandese tra le più prestigiose. Diversi **insegnamenti in inglese**, programmi di scambio **Erasmus**, **tesi di ricerca** avanzata e un contatto quotidiano con scienziati di altri paesi, che vengono presso il Dipartimento per collaborare alle ricerche dei nostri docenti o appositamente per tenere corsi ai nostri studenti, accomunano le nostre lauree magistrali, formando professionisti abituati a lavorare in un contesto internazionale e multi-disciplinare.

Dalle Nano-Scienze alle Tecnologie Quantistiche

Alcune linee di ricerca del FIM sono impegnate nelle sfide più importanti della fisica della materia degli ultimi anni e seguono la loro evoluzione dalle **nano-scienze** alle **tecnologie quantistiche**. Questi filoni di ricerca trovano una solida base nella tradizione dello studio dei materiali e dispositivi per l'elettronica che ha caratterizzato il dipartimento di Fisica di Modena fin dalla sua fondazione negli anni '70 e anticipano temi e metodi che avranno impatto su molte altre scienze. A livello internazionale queste sfide si possono riassumere così.

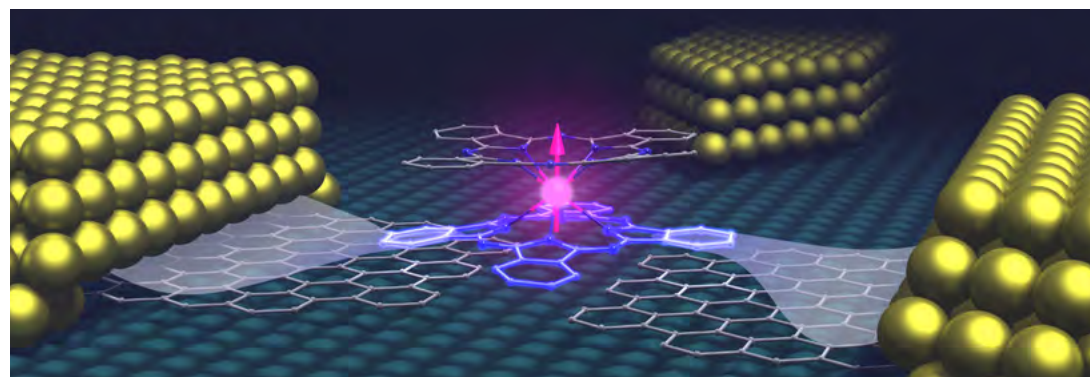
Nano-scienze e nano-tecnologie

Il processo di miniaturizzazione dei dispositivi e la messa a punto di microscopi a risoluzione ben più elevata di semplici strumenti ottici e di metodi per la fabbricazione di oggetti grandi come una singola molecola o di un singolo strato atomico hanno portato allo studio di oggetti sulla nano-scala (un nano-metro è un milionesimo di metro, più o meno lo stesso rapporto di scala che c'è tra una mela e la terra!). È un processo in continua evoluzione iniziato negli anni '80 che riguarda scoperte e progressi tecnologici molteplici, di cui solo alcuni riconducibili a una scoperta ben precisa e magari premiata da Nobel. Una vera rivoluzione del cui impatto nella società ci possiamo rendere conto pensando ai progressi ottenuti nella nanoelettronica (processori e memorie nei nostri pc o cellulari), nanomedicina (visualizzazione, isolamento e manipolazione di bio-molecole sempre più piccole e complesse) ma anche nella preparazione e studio di materiali nano-strutturati con funzionalità avanzate per il recupero o risparmio dell'energia.

Scienze e tecnologie Quantistiche

I nano-oggetti più piccoli, costituiti da poco più di cento/mille atomi, non seguono leggi classiche della fisica ma piuttosto quelle atomiche, ovvero

quelle dei "quanti". La formulazione delle leggi della meccanica quantistica è tra le più importanti rivoluzioni culturali del secolo scorso e ha portato alla messa a punto di dispositivi fondamentali nella tecnologia di tutti i giorni come transistor e laser. Il progredire delle strumentazione e la possibilità di manipolare singoli atomi o nano-oggetti ci offrono la possibilità di portare questa tecnologia al di fuori di laboratori altamente specializzati e pensare di sfruttare le enormi possibilità offerte dalle leggi dei "quanti" per applicazioni fino ad ora inimmaginabili come i computer quantistici ma anche sensori e sistemi di comunicazione quantistici.



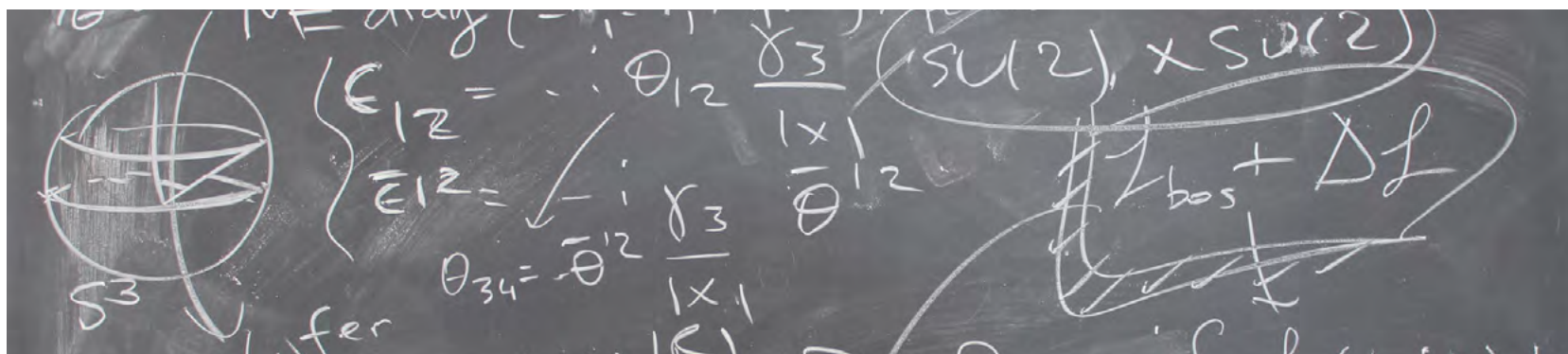
Come i nostri fisici affrontano queste sfide.

Queste sfide scientifiche e tecnologiche richiedono una specializzazione avanzata e multidisciplinare oltre a infrastrutture e strumentazione all'avanguardia. Sono sfide che i Paesi più industrializzati stanno affrontando con iniziative su grandi scala (vedi Flagship dei programmi europei), con la costituzione di centri di eccellenza ma anche progetti di collaborazione tra gruppi che consentono di costruire le filiere di competenze adeguate.

I fisici di Unimore hanno affrontato queste sfide costituendo nel 2002 un Centro di eccellenza

sulle Nanoscienze finanziato dall'Istituto di Fisica della Materia, poi assorbito nel CNR nel 2006. Grazie anche al finanziamento della Fondazione CRM è stato possibile realizzare un laboratorio per nano-fabbricazione e acquisire alcuni microscopi a scansione e, recentemente, il CIGS si è dotato di un microscopio elettronico a trasmissione, di cui il Prof. Stefano Frabboni è esperto riconosciuto a livello internazionale. La partecipazione a progetti europei ha consentito al Prof. Marco Affronte la realizzazione di un laboratorio di basse temperature dove oggi sono possibili misure sofisticate su sistemi e disposi-

tivi quantistici. Questi laboratori d'avanguardia costituiscono un riferimento per le nanoscienze e tecnologie quantistiche non solo all'interno del nostro Ateneo ma anche a livello nazionale. Le tecnologie nano- e quelle quantistiche sono considerate abilitanti ed essenziali per processi industriali avanzati e per la formazione dei giovani. La base di competenze e strumentazione presente al FIM è offerta agli studenti delle Corsi di laurea in fisica – ma non solo – e ai dottorandi del corso in Fisica e Nanoscienze e qualificano ai più alti livelli internazionali questi corsi di studio, come è testimoniato anche dal successo dei nostri studenti nel proseguimento delle loro carriere nella ricerca accademica o nelle professioni nelle aziende.



Fisica delle interazioni fondamentali

Alla ricerca delle leggi ultime della Natura

Sin dall'antichità l'umanità si è interrogata su quali siano i costituenti fondamentali dell'Universo che ci circonda e quali siano le leggi che ne governano le interazioni. A seguito di una lunga avventura fatta di scoperte sperimentali e formulazioni teoriche, sappiamo adesso che il linguaggio più adatto a descrivere la maggior parte dei fenomeni fisici è dato dalla cosiddetta teoria quantistica dei campi, o QFT nell'acronimo inglese.

Secondo la QFT lo spazio-tempo è permeato da campi di energia che, vibrando, danno origine alle varie particelle di materia e ai mediatori responsabili delle loro interazioni. Ciò permette di descrivere le interazioni fondamentali che compongono il Modello Standard delle particelle elementari, come l'elettromagnetismo e le forze che agiscono nei nuclei atomici, fino ai fenomeni incontrati nella fisica della materia condensata, come per esempio le transizioni tra fasi differenti della materia o sistemi come i superconduttori e il condensato di Bose-Einstein. Nonostante questo vasto regime di applicabilità, il linguaggio della QFT non è però adatto a descrivere effetti quantistici – ossia legati al mondo microscopico – in teorie che contengano la gravità, ma può essere allargato ad includere anche questo ambito, assumendo che i costituenti elementari della Natura siano stringhe

vibranti piuttosto che particelle puntiformi e che tali particelle emergano come modi di vibrazione delle stringhe. Questo è il postulato principale della teoria delle stringhe, un *framework* che include la QFT al suo interno ed è al momento il nostro candidato più promettente per una teoria unica di tutte le leggi fisiche che includa la gravità quantistica, necessaria per lo studio dell'Universo primordiale o di cosa si nasconde all'interno dei buchi neri.

Il gruppo di fisica teorica delle interazioni fondamentali di Unimore, composto dai Professori Olindo Corradini e Diego Trancanelli, si interessa da molti anni a vari aspetti della QFT e della teoria delle stringhe. Più specificamente, si occupa attivamente di una delle scoperte più rivoluzionarie della fisica teorica degli ultimi decenni: la realizzazione che QFT e gravità sono in realtà due facce complementari della stessa medaglia e che esiste una dualità, o corrispondenza, tra di loro. In alcuni casi specifici, si può infatti usare la teoria delle stringhe per verificare come una teoria di gravità definita in un certo spazio-tempo in D dimensioni possa essere completamente codificata in una QFT definita sul bordo $(D-1)$ -dimensionale di quello stesso spazio-tempo. A questo tipo di dualità è attribuito il nome di olografia, in analogia con

la tecnologia ottica in cui un'immagine tridimensionale viene codificata in termini di informazioni bidimensionali.

Queste dualità di tipo olografico sono estremamente utili perché permettono di stabilire una corrispondenza tra “problemi difficili” posti in un lato della dualità e “problemi trattabili” equivalenti nell'altro lato, e viceversa. Per esempio, l'olografia permette lo studio di sistemi fortemente interagenti in QFT, notoriamente complicati da risolvere, come il plasma di quarks e gluoni prodotto nell'esperimento LHC del CERN o i superconduttori ad alta temperatura, traducendoli in sistemi più abordabili in gravità, nella fattispecie certe classi di buchi neri. Andando nella direzione opposta, è possibile poi usare l'olografia per esplorare questioni fondamentali di gravità quantistica, come l'evaporazione dei buchi neri quantistici, traducendole in questioni equivalenti ma più semplici nella QFT duale. Nonostante i grandi passi avanti degli ultimi decenni, è ancora prematuro prevedere quando (o se) arriveremo ad una teoria ultima di tutta la fisica. Fedeli però all'imperativo del grande fisico matematico D. Hilbert “Noi dobbiamo conoscere, noi conosceremo”, non ci perdiamo d'animo e continuiamo la ricerca con entusiasmo!

Materiali funzionali micro e nanostrutturati

Affrontare le grandi sfide del futuro partendo dal piccolo

Nella tavola periodica di Mendeleev gli elementi atomici sono spesso colorati in modo diverso in base alle loro proprietà fisiche e chimiche. Si distinguono per esempio i metalli, come l'argento e il rame, dai non metalli, come l'azoto, l'ossigeno o il fluoro.

In realtà la situazione è molto più complessa e interessante di così: le proprietà dei materiali non dipendono solo dal tipo di atomi che li compongono (cioè dalla loro formula chimica), ma anche da come questi sono disposti nello spazio, cioè dalla loro struttura. Sia il diamante sia la grafite sono costituiti da atomi di carbonio, ma mentre la grafite è nera, facilmente sfaldabile e buona conduttrice di elettricità, il diamante è trasparente, durissimo, fragile ed isolante elettrico!

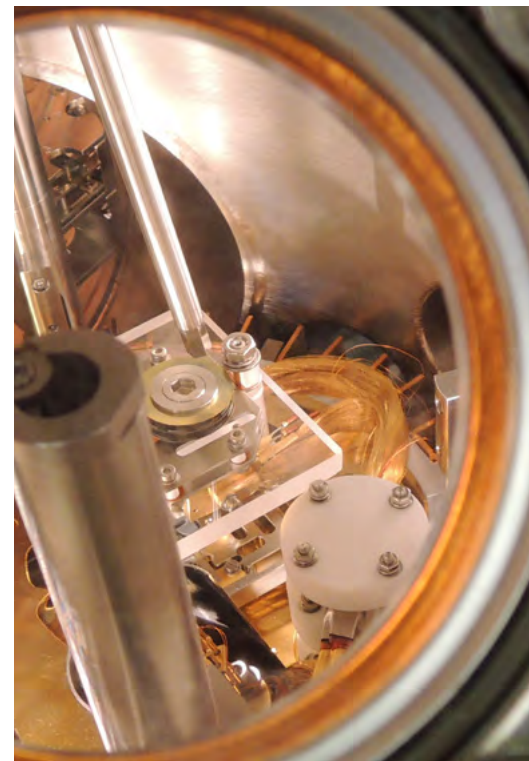
La questione non finisce qui: suddividendo i materiali in porzioni di dimensioni inferiori a qualche centinaio di nanometri, raggiungendo cioè la nanoscala, possiamo osservare proprietà completamente nuove. Pensiamo all'oro: fin dall'antichità è considerato prezioso perché non si ossida, è cioè sostanzialmente

inerte dal punto di vista chimico. Se però consideriamo una particella del diametro di pochi nanometri, essa acquista proprietà catalitiche, favorendo cioè certe reazioni chimiche (come la trasformazione di O_2 e CO in CO_2) in modo particolarmente efficiente.

La capacità di combinare materiali diversi giocando con la loro struttura e con le loro dimensioni apre la strada alla realizzazione di materiali avanzati con proprietà innovative, i cosiddetti **materiali funzionali**. La loro realizzazione – ovviamente non tutti i sistemi sono stabili in natura e non tutte le combinazioni sono possibili – rappresenta una delle sfide più interessanti e importanti della attuale ricerca scientifica, a cavallo fra fisica, chimica e ingegneria.

I laboratori SESAMO, coordinati da Roberto Biagi, Sergio D'Addato e Valentina De Renzi in stretta collaborazione con i ricercatori dell'Istituto Nanoscienze del CNR, si occupano di crescere, studiare e migliorare materiali nanostrutturati innovativi.

Il SESAMO ha una consolidata tradizione, che risale ai primi anni '80, nello sviluppo e uti-



lizzo delle spettroscopie, sia on campus, sia presso i laboratori internazionali di Luce di Sincrotrone e, più di recente, presso il Laser a elettroni liberi FERMI di Trieste. Le **spettroscopie** utilizzano fasci di luce o di elettroni per interrogare la materia: analizzarne la risposta, cioè il modo con cui la materia interagisce con questi fasci e li modifica, permette di spiegare i meccanismi alla base delle nuove funzionalità.

Qualche esempio delle ricerche più recenti:

Al SESAMO si crescono e caratterizzano i cosiddetti nanoribbon di grafene, ovvero nastri di carbonio della larghezza di pochi nanometri e lo spessore di un singolo strato atomico, che vengono utilizzati nell'ambito della nanoelettronica.

Applicazioni in ambito energetico riguardano invece lo sviluppo di materiali ottenuti combinando nanoparticelle metalliche con ossidi riducibili, con applicazioni ai processi fotocatalitici e nello sviluppo di celle a combustibile.

Il Laboratorio Sup&RMAN e il progetto RIMMEL

Il laboratorio Sup&RMAN – ci spiega Sergio Valeri – affronta il problema energetico da un altro punto di vista, quello dell'attrito e dell'usura nel settore della meccanica avanzata. Ricoprire le superfici di utensili e parti meccaniche con strati di materiali autolubrificanti e/o ultraduri, e modificarne opportunamente la morfologia superficiale permette di ridurre drasticamente attrito, usura e corrosione prolungando la vita media delle apparecchiature, contribuendo così al risparmio energetico. Come racconta Alberto Rota, un esempio molto

interessante è quello dell'Additive Manufacturing, meglio nota come stampa 3D. Negli ultimi anni questo settore di ricerca ha avuto uno sviluppo esponenziale, grazie alla capacità di realizzare geometrie complesse, alla velocità di produzione ed all'efficienza nell'uso dei materiali. In questo ambito, il progetto RIMMEL – di cui SUP&RMAN è uno degli attori principali all'interno di un consorzio guidato dal CNR Nano – mira a sviluppare nuove tecnologie di fabbricazione e metodologie di caratterizzazione di rivestimenti per componenti meccanici stampati mediante Additive Manufacturing, per migliorarne non solo le proprietà meccaniche, ma anche quelle di attrito, usura e tribocorrosione.

La fisica quantistica per inventare la materia del futuro

Con i supercalcolatori e i big data la ricerca nel mondo delle nanoscienze

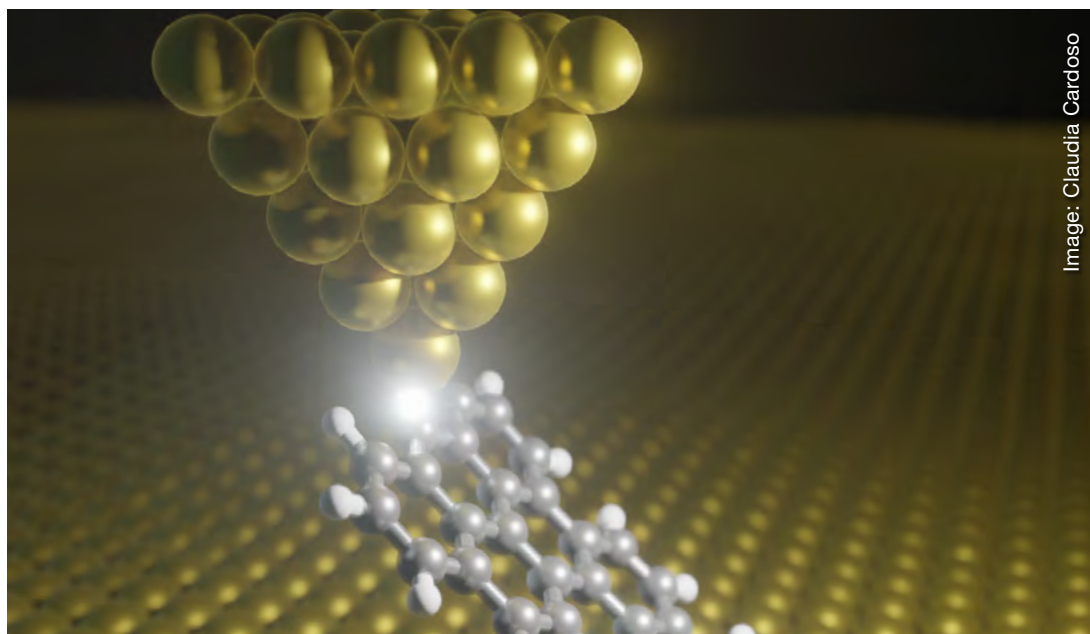


Image: Claudia Cardoso

Capire, prevedere, progettare le proprietà della materia a partire dalle leggi fondamentali della fisica quantistica, e disegnare come usarle per ottenere materiali del futuro dotati di funzioni nuove. È questo il punto di forza del laboratorio di fisica teorica computazionale di Modena. Il laboratorio raccoglie diversi fisici del Dipartimento FIM - Paolo Bordone, Rossella Brunetti, Mauro Ferrario, Anna Franchini, Marco Gibertini, Guido Goldoni, Rita Magri, Elisa Molinari, Alice Ruini - che condividono la loro esperienza nel combinare equazioni di base con algoritmi e supercalcolatori per affrontare problemi e tecnologie di frontiera. Un approccio che ci permette di studiare fenomeni radicalmente innovativi, perché non richiede dati empirici di partenza e ha capacità predittiva anche per materiali che non siano mai stati prodotti prima.

Con questo approccio guardiamo per esempio ai **materiali per l'energia**. Nel fotovoltaico, ci siamo ispirati ai meccanismi che governano i primissimi

stadi della fotosintesi per inventare strategie favorevoli ad avviare il trasferimento coerente di carica negli organici. E abbiamo studiato come adottare strategie nanotecnologiche innovative: dalle nanostrutture plasmoniche per raccogliere e concentrare la luce solare, alle interfacce o fili quantici a semiconduttore per convertirla efficacemente in corrente. Nel campo delle batterie, analizziamo per esempio approcci emergenti per il self-healing dei materiali alle interfacce, per prevenire le instabilità che oggi ne limitano il funzionamento.

Allo stesso modo studiamo gli **effetti della dimensionalità dei materiali**: progettiamo sistemi a due, una o zero dimensioni, dove gli elettroni interagiscono in maniera completamente inedita e danno luogo a proprietà elettroniche, ottiche o magnetiche nuove, o addirittura a nuovi stati della materia. Questi stessi sistemi diventano per noi un laboratorio per capire le correlazioni e le eccitazioni elettroniche, e gli effetti della topologia. Negli anni, la

loro realizzazione sperimentale ha poi confermato le previsioni e aperto la strada a nano-dispositivi emergenti: dai quantum dot come qbit per la computazione quantistica o come marcatori in biomedicina, ai nanoribbon basati sul grafene (v. figura) per la nano- e opto-elettronica, o agli strati monoatomici la cui composizione 'ottima' è ricavata analizzando in maniera automatica grandi moli di dati. Abbiamo imparato come partire dai comportamenti sulla scala dei nanometri –milionesimi di millimetro— per controllare proprietà macroscopiche importanti come l'attrito e l'adesione tra superfici, il colore e la lucentezza degli oggetti, o le loro proprietà di conduzione elettrica o termica.

Per ottenere questi risultati collaboriamo allo **sviluppo dei metodi e all'avanzamento di alcuni tra i principali codici di calcolo open source**, grazie a una stretta rete di interazioni scientifiche che comprende innanzitutto a Modena –nel nostro stesso edificio— l'Istituto Nanoscienze del CNR e lo European Centre of Excellence 'MaX - Materials Design at the Exascale', un centro finanziato dalla Unione Europea e coordinato dalla Prof.ssa Elisa Molinari, a cui partecipano alcuni tra i principali centri di ricerca accademici e industriali europei nel campo. Collaboriamo quotidianamente con gli esperti di supercalcolo e big data al Cineca e in EuroHPC. E da sempre lavoriamo a stretto contatto con gruppi teorici, sperimentali e tecnologici su scala globale: solo così procedono i progetti di ricerca, e possiamo offrire opportunità di visite e di crescita agli studenti della laurea in Fisica e della laurea magistrale in Physics, e a quelli della Scuola di Dottorato in 'Physics & Nanoscience': Le loro competenze e la loro capacità di risolvere i problemi di frontiera sono oggi contese nei principali centri di ricerca e industrie in Italia e nel mondo.

Biofisica: dalla biologia alla fisica e ritorno

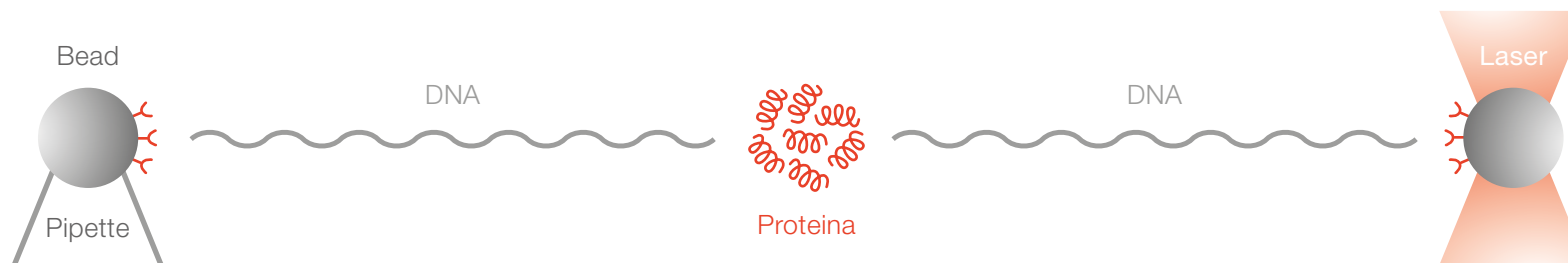
Tecniche e teorie della fisica per la biologia: dalle cellule alle singole molecole

La Biofisica utilizza tecniche fisiche e modelli teorici tipici della fisica per studiare sistemi di rilevanza biologica. Allo stesso tempo, i sistemi biologici costituiscono una fonte ineguagliabile per lo sviluppo di nuovi approcci teorici basati sulla matematica e la fisica. Ad esempio, la biologia, con il lungo lavoro dell'Evolutione, ha prodotto sistemi con proprietà meccaniche molto particolari e uniche. I metodi sviluppati dalla fisica per lo studio delle proprietà meccaniche dei materiali possono essere utilizzati per analizzare i sistemi biologici, ma questi hanno delle peculiarità, tra le quali una risposta attiva alle deformazioni, che richiedono lo sviluppo di nuove teorie fisiche. Inoltre, si è andata sempre più affermando negli ultimi anni, la convinzione che tali proprietà meccaniche siano fondamentali per la funzione svolta dalle strutture biologiche. La branca della biologia che si occupa di aspetti meccanici legati ai sistemi biologici è la meccanobiologia e rappresenta un settore d'indagine scientifica altamente interdisciplinare.

In Unimore è presente un gruppo di ricerca, strettamente connesso con l'attività del Centro di ricerca S3 dell'Istituto Nanoscienze del CNR, che si occupa di **studiare sistemi di interesse biologico che vanno dalla singola cellula alla singola molecola**. “Insieme alla tradizionale attività del nostro laboratorio riguardante lo studio dei principi fisici che determinano l'organizzazione e la funzione di una membrana biologica – ci spiega il Prof. Andrea Alessandrini – abbiamo recentemente cominciato

ad occuparci della interazione dei peptidi antimicrobici con membrane biologiche utilizzando diverse tecniche biofisiche”. I peptidi antimicrobici sono piccole molecole proteiche del sistema immunitario di molte specie e considerati validi candidati a sostituire gli attuali antibiotici e soprattutto meno suscettibili a provocare fenomeni di resistenza. Comprendere il loro meccanismo d'azione come potenziali antibiotici potrebbe essere d'aiuto per lo sviluppo di nuove molecole derivate da quelle naturali con ancora maggiore azione antibiotica e capaci di evitare maggiormente il fenomeno di resistenza. Per quanto riguarda gli aspetti di meccanobiologia, al Dipartimento FIM di Unimore si studiano le proprietà meccaniche delle cellule e delle matrici sulle quali le cellule vengono fatte crescere. È esperienza comune che una alterazione dello stato meccanico di un tessuto corrisponda ad un suo stato patologico. Le cellule possono reagire alle diverse proprietà meccaniche del loro ambiente circostante e avviare processi che influiscono sul loro comportamento. Ciò ha rilevanza per le applicazioni di medicina rigenerativa, in cui si cerca di ottimizzare le condizioni di crescita delle cellule in-vitro prima che esse vengano utilizzate per un eventuale trapianto. Al tempo stesso, viene studiato come le cellule reagiscono a stimoli esterni sia di tipo elettromagnetico che di tipo meccanico. Per quest'ultima analisi ci si avvale di strumenti sviluppati direttamente in laboratorio e che consentono, facendo crescere le cellule su un substrato

costituito da un elastomero, di applicare segnali di deformazione periodici, riproducendo quanto succede in molti organi quali il cuore, i polmoni o i vasi sanguigni. I fenomeni alla base di tali comportamenti hanno a che fare con specifiche proteine all'interno della cellula che vengono sottoposte a forze. Al Dipartimento FIM si studia anche come si comportano singole molecole proteiche sottoposte a forze meccaniche che tendono a modificarne la struttura. Il professor **Ciro Cecconi** utilizza la tecnica delle “pinze ottiche” per manipolare singole proteine e caratterizzare il loro comportamento. La tecnica delle pinze ottiche permette di intrappolare con un fascio laser focalizzato oggetti molto piccoli e di spostarli con grande precisione. L'impatto di questa tecnica in biologia negli ultimi trent'anni è stato così importante che il suo inventore, il professor **Arthur Ashkin**, è stato insignito del premio Nobel per la fisica nel 2018. Attraverso esperimenti di manipolazione meccanica il professor **Ciro Cecconi** studia anche i meccanismi molecolari attraverso i quali singole molecole proteiche si ripiegano a volte in strutture tridimensionali corrette e funzionali e a volte in strutture aberranti, che oltre ad essere biologicamente inattive sono spesso tossiche per le cellule che le ospitano. Questi studi hanno una rilevanza biomedica elevata perché un gran numero di malattie neurodegenerative, quali il morbo di Parkinson e la malattia di Alzheimer, sono causate proprio da un ripiegamento non corretto di certe proteine presenti nei nostri neuroni.



Schema di un setup “pinze ottiche”. Una singola proteina è connessa a due palline di plastica micrometriche per mezzo di due molecole di DNA. Una pallina è trattenuta all'estremità di una pipetta; l'altra invece è intrappolata otticamente con un fascio laser focalizzato. Durante l'esperimento la pipetta di vetro viene allontanata oppure avvicinata alla trappola ottica per aumentare oppure diminuire la forza meccanica esercitata sulla proteina.

High-Performance Real-Time Systems

Piattaforme computazionali di prossima generazione per guida autonoma e robotica industriale

Il Laboratorio HiPeRT (High-Performance Real-Time) coinvolge più di 70 persone che sviluppano soluzioni algoritmiche e software per sistemi in tempo reale ad alte prestazioni. L'obiettivo di HiPeRT Lab è sfruttare in modo prevedibile le straordinarie prestazioni offerte dalle piattaforme computazionali di nuova generazione in domini applicativi in cui i requisiti di tempistica e sicurezza sono cruciali. A tal fine, il gruppo ha acquisito una forte esperienza attraverso tutto lo stack tecnologico, dalla profilazione e caratterizzazione dei meccanismi interni delle moder-

ne piattaforme hardware, ai sistemi operativi e hypervisor in tempo reale, ai compilatori e ai modelli di programmazione parallela, allo sviluppo di soluzioni applicative innovative che uniscano performance e predicibilità. Tra i domini applicativi di maggiore interesse per il laboratorio figurano i **veicoli autonomi** (automobili, droni, robot, LGV, etc.) ed i **sistemi di automazione industriale**, con particolare riferimento alle applicazioni che prevedono un utilizzo in tempo reale della vasta capacità di calcolo offerta dalle piattaforme computazionali di nuova generazione. Il laboratorio ospi-

ta diversi prototipi funzionanti, che offre agli studenti affinché prendano confidenza con le principali sfide informatiche e ingegneristiche legate allo sviluppo di tali applicazioni.

HiPeRT Lab è coinvolto in diversi progetti finanziati dalla Comunità Europea ed ha all'attivo numerose collaborazioni industriali nei settori automobilistico, avionico e dell'automazione industriale. Crede fortemente nel trasferimento di tecnologia tra il mondo accademico e l'industria, promuovendo nuove collaborazioni per migliorare e ideare i sistemi in tempo reale del futuro.





Alcuni componenti del laboratorio HiPeRT diretto da Marko Bertogna

Sistemi *Embedded* ad Alte Prestazioni

È da oltre 10 anni che l'incremento (esponenziale, secondo la Legge di Moore) di prestazioni delle piattaforme computazionali di nuova generazione viene fornito non più attraverso l'aumento della frequenza del processore, ma attraverso lo sfruttamento di un sempre maggiore numero di core paralleli. Questa rivoluzione tecnologica ha prodotto un rinnovato interesse verso sistemi multi-/many-core e verso l'utilizzo di acceleratori paralleli, quali GPU (Graphic Processing Unit), FPGA (Field Programmable Gate Array), NPU (Neural Processing Unit), DSP (Digital Signal Processor), etc. La configurazione di tali System-on-Chip (SoC) è particolarmente complessa, in quanto legata allo sviluppo di algoritmi e librerie che sappiano utilizzare al meglio le risorse computazionali parallele eterogenee messe a disposizione da tali architetture. Al fine di configurare al meglio tali sistemi per fornire le prestazioni adeguate ad applicazioni safety-critical quali la guida autonoma o la robotica collaborativa, **HiPeRT Lab** ha instaurato collaborazioni molto strette con i principali produttori di tali SoC, tra cui NVIDIA, Xilinx, ARM e Huawei. Tali collaborazioni hanno consentito al laboratorio di avere accesso ai dettagli architetturali di basso livello al fine di configurare al meglio le prestazioni delle applicazioni di interesse. In particolare, gran parte delle richieste di prestazioni vengono da applicazioni di

Intelligenza Artificiale, quali reti neurali convoluzionali (CNN) per il rilevamento e la segmentazione di oggetti, che rappresentano il primo stage di ogni sistema autonomo moderno. Per ottimizzare le prestazioni di tali reti neurali, HiPeRT ha elaborato tecniche di quantizzazione dei parametri, di meta-apprendimento per l'ottimizzazione automatica degli iperparametri, e di ottimizzazione matematica per rafforzare la robustezza dei metodi.

Veicoli a Guida Autonoma

L'era dell'oro dei supercomputer *embedded* è entrata in una fase in cui le piattaforme hardware sono sufficientemente mature per alimentare

i sistemi di produzione reali. In particolare, il sogno di avere **veicoli autonomi a guida autonoma** sta rapidamente prendendo forma, con un ingente investimento di risorse da parte di industrie automobilistiche e non. HiPeRT si è unito a tale sfida sviluppando un framework di tecnologie e componenti software funzionali alla predisposizione di veicoli autonomi. Questi sforzi sono supportati sia da progetti industriali che pubblici e coprono molteplici domini applicativi: dalle auto "standard" alle auto da corsa, dai robot per le consegne dell'ultimo miglio, ai veicoli a guida laser per la gestione del magazzino, agli sciami autonomi di droni aerei e marini. HiPeRT Lab è inoltre il referente tecnico per il team Unimore di Formula SAE Driverless (www.moremodenaracing.it); fa parte del team organizzativo della competizione internazionale di macchine RC autonome F1/10 (www.f1tenth.org); e parteciperà nel 2021 alla prima competizione al mondo di bolidi a guida autonoma presso lo storico circuito di Indianapolis (www.indyautonomouschallenge.com). HiPeRT Lab è inoltre il referente tecnico della Modena Automotive Smart Area (MASA), l'area urbana di oltre un chilometro quadrato finalizzata allo sviluppo di applicazioni innovative in ambito *smart city* e *smart mobility*, con una copertura pervasiva di sensori intelligenti, infrastrutture di rete e dispositivi informatici per l'analisi dei dati di traffico in tempo reale.



Sistemi distribuiti e intelligenti

Come (piccoli) componenti software insieme possono supportare le nostre attività

Spesso non ce ne rendiamo conto, ma ad ogni scala il mondo è dominato da grandi sistemi composti da molte o moltissime parti interagenti fra di loro in modo non lineare (cioè in modo non sempre proporzionato agli stimoli ricevuti), in cui sono presenti comportamenti emergenti. L'essere più pericoloso della giungla è il formicaio, collezioni di reazioni chimiche in grado di auto-mantenersi e riprodursi danno luogo alla



Marco Villani



Giacomo Gabri

vita, la nostra società è permeata da sistemi multi-agente, composti da essere umani ed oggetti artificiali. La stessa Internet, da noi disegnata, ha comportamenti da noi non progettati: ha tipiche modalità di crescita, resiste a certi tipi di attacchi, ed ha inattesi talloni di Achille.

Una visione unificata dei fenomeni del mondo vivente ed artificiale, dalle molecole alle cellule, dagli organismi ai gruppi di organismi, alle società di agenti autonomi, è resa possibile dal fatto di usare metodi e modelli applicabili a molti livelli di descrizione. Al mondo della natura guardano gli algoritmi e gli stili di progettazione bio-ispirati, grazie a cui è possibile fare evolvere sistemi artificiali, identificare fenomeni inattesi, o realizzare sistemi software più flessibili e robusti. La nostra stessa società può essere descritta come un sistema multi-agente, da tempo in interazione sempre più intensa con i sistemi multi-agente da noi progettati: la conoscenza

e la progettazione esplicita di tali fenomeni è quindi uno dei pilastri della prossima (ed in realtà già presente) informatica.

La diffusione dei componenti software che si comportano come agenti richiede il loro coordinamento. In diversi sistemi come quelli citati precedentemente non sarebbe possibile basarsi su un "coordinatore centralizzato", anche se forse sarebbe la soluzione più intuitiva.



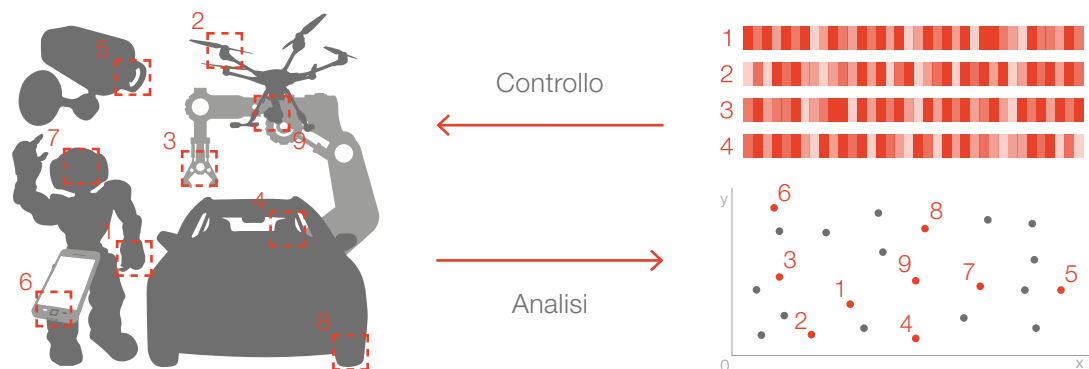
Luca Bedogni

La nostra ricerca quindi studia **approcci e tecnologie distribuiti per permettere ai componenti software di coordinarsi e di raggiungere i loro obiettivi**. Oltre ai già citati approcci bio-ispirati, altri meccanismi possono essere

applicati, come ad esempio le aste, che per noi umani possono risultare noiose ma che componenti software possono gestire anche in pochi millisecondi. Si pensi ad esempio a dei veicoli autonomi che devono contendersi una risorsa come il passaggio a un incrocio o un parcheggio: attraverso un efficiente coordinamento si può soddisfare l'esigenza del singolo e al tempo stesso applicare delle politiche a beneficio di tutta la società. Ed ecco allora che l'intelligenza

di questi sistemi non è (solo) l'intelligenza del singolo componente, ma una intelligenza esibita a livello collettivo.

Inoltre i sensori e gli algoritmi stanno entrando sempre più negli ambienti fisici che ci circondano, dagli smartphone alle automobili, dalla medicina alle aziende produttive. Proprio qui sta avvenendo la quarta rivoluzione industriale, fatta di macchine equipaggiate con dispositivi che monitorano lo stato della produzione, algoritmi che prevedono quando sarà necessario fare manutenzione e come occorrerà organizzare il magazzino, e sistemi per mettere in comunicazione le varie macchine di modo che possano beneficiare dei dati raccolti da tutti. Qui i sistemi intelligenti e multi-agente la fanno da padroni, comunicando tra di loro e rendendo le macchine più sicure ed efficienti, auto-organizzandosi tra di loro al fine di poter prendere le scelte più adatte alle varie situazioni. Ciò che rende questi sistemi innovativi è la possibilità di apprendere dal mondo circostante e dai propri errori, esattamente come succede per gli esseri umani. Grazie infatti all'unione tra sensori, software e mezzi di comunicazione, questi dispositivi sono in grado di osservare l'ambiente circostante, di prendere decisioni e di valutarne l'efficacia, potendo quindi apprendere quale possa essere il loro comportamento più adatto a seconda delle situazioni.





Data Management and Analytics

Al giorno d'oggi, la disponibilità sempre crescente e diffusa di dati provenienti da molteplici fonti di informazione, come social media, dispositivi mobili e indossabili, World Wide Web (Semantico), reti *peer-to-peer*, biblioteche digitali, apre enormi possibilità nel campo della gestione e dell'analisi dei dati di prossima generazione. La gestione e l'analisi efficiente ed efficace di una tale ricchezza di informazioni pone costantemente eccezionali sfide in ambito della ricerca e delle sue applicazioni.

Il focus della linea di ricerca "Data management and analytics", portata avanti dall'Information Systems Group (ISGroup) del Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche, Università di Modena e Reggio Emilia (Prof. Federica Mandreoli, Dott. Riccardo Martoglia), è principalmente legato alle seguenti macro-aree: (i) gestione e accesso a grandi quantità di dati non convenzionali (stream, testuali, XML e grafici semistrutturati), anche in modo approssimato e/o personalizzato; (ii) condivisione delle informazioni, interoperabilità e Web Semantico in grandi sorgenti di dati eterogenee e distribuite; (iii) scalable data science, data analytics e machine learning. Vediamo alcune delle attività di punta svolte in queste aree.

Per quanto riguarda la gestione e l'accesso a grandi quantità di dati non convenzionali, la ricerca approssimata è da sempre una delle princi-

pali attività. Ci si concentra su modelli, algoritmi e strutture di dati per ricerche approssimative in dati non convenzionali come grafi, dati semi-strutturati e testo semplice, nonché in contesti non convenzionali come scenari eterogenei. La principale preoccupazione è adattare le esigenze degli utenti alle informazioni di interesse quando queste ultime non corrispondono esattamente e come classificare i risultati. Approcci di ricerca approssimati e/o personalizzati sono stati studiati, ad esempio, nel contesto di digital library distribuite, P2P, rilevamento del plagio, traduzione automatica, sviluppo di software assistito, semantic web, applicazioni dipendenti dal contesto. In ambito di data management per big data, si studiano anche soluzioni per una gestione efficiente di stream di dati, inclusi i dati dei sensori, i dati RFID, i dati provenienti dalle automobili in scenari di smart city.

La sempre crescente e diffusa disponibilità di dati provenienti da fonti di informazione su Internet suscita anche grande interesse sul potenziale della condivisione e dell'interoperabilità delle informazioni. In questo campo la ricerca riguarda la condivisione e l'interoperabilità di fonti di dati eterogenee e distribuite e si concentra principalmente sul paradigma peer-to-peer (P2P) e sulle sue evoluzioni verso i dataspace, i data lake e i polystore. Vari sono i contesti applicativi considerati, dalle biblioteche digitali

alla business intelligence, dalle knowledge-base di dati biologici all'industria 4.0 e alle digital factory, per le quali un aspetto centrale è di consentire agli stakeholder del ciclo di vita del prodotto di collaborare con soluzioni software e di interoperabilità innovative.

Uno degli aspetti su cui la linea di ricerca è particolarmente attiva in diversi scenari applicativi è quello legato all'analisi dei dati, anche attraverso tecniche di apprendimento automatico (machine learning). Con il termine Big data analytics si intende proprio il processo di raccolta e analisi di grandi volumi di dati per estrarre informazioni nascoste. Tra i contesti applicativi considerati, ricordiamo ad esempio i notevoli risultati conseguiti nell'ambito medico, genomico, delle risorse umane, di cultural heritage (CH). Ad esempio, in ambito medico sono in corso ricerche in ambito di medicina preventiva, predittiva, personalizzata e partecipativa (P4), con l'obiettivo di migliorare notevolmente la qualità della vita delle persone, ma anche di ridurre significativamente i costi sanitari e migliorarne l'efficienza. La ricerca si concentra: (a) sulle malattie legate all'età ed esplora le opportunità offerte da un approccio basato sui dati per prevedere gli stati di salute delle persone anziane; (b) sulla predizione di stati clinici dei pazienti Sars-CoV-2 e sull'introduzione di approcci data-driven per trattamenti personalizzati.

Equazioni Differenziali e Calcolo delle Variazioni: un ponte tra modelli e applicazioni

È con la nascita del calcolo infinitesimale di Newton e di Leibniz, nel XVII secolo, che troviamo i primi studi sulle Equazioni Differenziali e sul Calcolo delle Variazioni.

Le equazioni differenziali sono “equazioni”, quindi uguaglianze tra oggetti matematici incogniti, che contengono le “derivate” delle incognite, che in questo caso sono funzioni e non semplici numeri. Pertanto, con “equazione differenziale” ci si riferisce al problema di determinare una funzione a partire da relazioni tra le sue derivate. Il primo semplice esempio nasce con l'intento di prevedere il moto di un punto materiale soggetto ad una forza, che ne stabilisce l'accelerazione, quindi la derivata seconda, della funzione che ne descrive la posizione. Se le funzioni dipendono non solo dal tempo, ma

anche dallo spazio, o in generale da più variabili, si parla di equazioni alle derivate parziali. Lo studio di tali equazioni ha avuto inizio nel XVIII secolo ad opera di Euler, d'Alembert, Lagrange e Laplace e successivamente da Fourier, come strumento per la descrizione della meccanica dei continui, della propagazione delle onde, della propagazione del calore e del potenziale gravitazionale.

Il calcolo delle variazioni interviene invece in problemi di ottimizzazione. È tra la seconda metà del '600 e la prima metà del '700 che vengono proposti la maggioranza dei “classici” problemi variazionali. L'esempio forse più famoso è quello della brachistocrona (Galileo), che si prefigge di individuare la traiettoria che permette ad un punto materiale, soggetto alla sola forza

di gravità, di spostarsi tra due punti fissati nel minor tempo possibile. Un analogo problema è quello di determinare la forma di una corda sospesa agli estremi, ed ha come soluzione la funzione *coseno iperbolico*, che dal problema stesso prende il nome di *catenaria*. Ricordiamo infine due problemi di ottimizzazione di forma ancora attuali: il problema di determinare la superficie di area minima che si appoggia ad un fissato sostegno, come la forma della lamina che si ottiene immergendo il sostegno in acqua saponata, e il problema di Newton per determinare il profilo aerodinamico ottimale che risulta tuttora un problema aperto anche nella sua versione più semplice di corpo a sezione circolare.

Le equazioni differenziali e il calcolo delle





Image: Thomas Steiner

Modelli matematici dei mercati finanziari

I modelli matematici che incorporano fattori casuali, tra cui ad esempio i processi di diffusione, la teoria cinetica dei gas e l'andamento dei mercati finanziari, si basano solitamente sul moto Browniano o su processi aleatori più complessi. In questo contesto l'equazione differenziale ordinaria viene sostituita da un'equazione stocastica, o dall'equazione alle derivate parziali ad essa associata, detta di Kolmogorov. Il gruppo di ricerca ha prodotto risultati teorici che trovano applicazione nell'ambito della teoria di Black & Scholes, che affronta, tra altre tematiche, il problema della determinazione del prezzo equo di titoli derivati dei mercati finanziari. In questo contesto si svolge da alcuni anni una collaborazione con un gruppo di ricerca del Dipartimento di Economia "Marco Biagi", che ha lo scopo di descrivere e comprendere la presenza di "asimmetria" nei mercati finanziari, non ancora descritta adeguatamente dai modelli classici.

variazioni si sono imposti per descrivere matematicamente sistemi in vari ambiti applicativi: Fisica, Scienze dei Materiali, Biologia, Chimica, Finanza, ecc. Questi due settori di ricerca sono strettamente connessi: in opportune ipotesi i minimi dei funzionali del calcolo delle variazioni sono soluzioni di equazioni differenziali, mentre le soluzioni di alcune equazioni differenziali sono minimi di funzionali integrali. Entrambi i settori costituiscono un fertile terreno di studio, in cui i docenti e

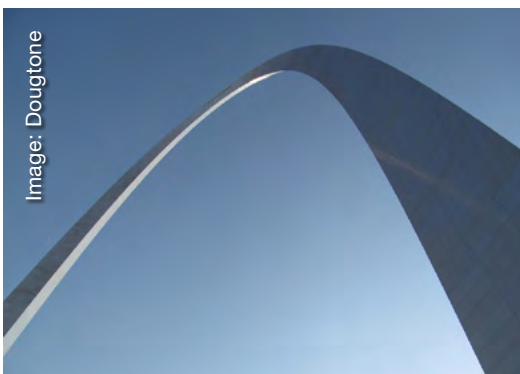


Image: Doughtone

Materiali speciali e modelli variazionali

Problemi rilevanti nell'ambito del calcolo delle variazioni nascono nella teoria dell'elasticità e nella modellizzazione di materiali caratterizzati da forti anisotropie, che comprendono alcune classi di smart materials, materiali compositi le cui proprietà meccaniche cambiano drasticamente in presenza di un campo elettromagnetico esterno. Questi problemi, che trovano svariate applicazioni, tra cui dispositivi tattili, elettronica flessibile, automotive, elaborazione digitale delle immagini, consistono nel minimizzare funzionali dell'energia con condizioni di crescita più generali di quelle note classicamente in letteratura. Per questo tipo di funzionali sono molte le questioni aperte sia per quanto riguarda l'esistenza di minimi, la loro molteplicità, la loro regolarità e in generale le loro proprietà qualitative, tutti nodi cruciali per garantire l'affidabilità del modello.

i ricercatori del Dipartimento FIM sono impegnati con diversi progetti. Il denominatore comune è la formazione di giovani ricercatori e la partecipazione a gruppi di ricerca di riconosciuto prestigio internazionale.

Teoria della regolarità per equazioni alle derivate parziali

Originariamente, la teoria della regolarità nasce con lo scopo di dimostrare che le soluzio-

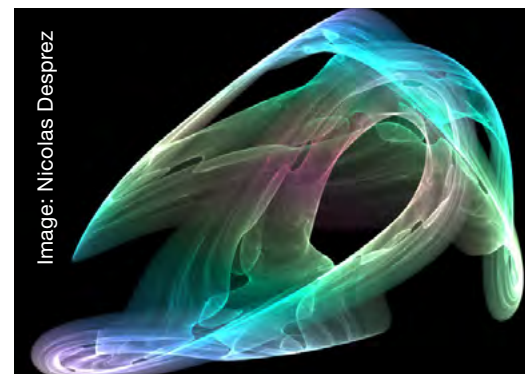


Image: Nicolas Desprez

Equazioni di evoluzione nonlineari e applicazioni

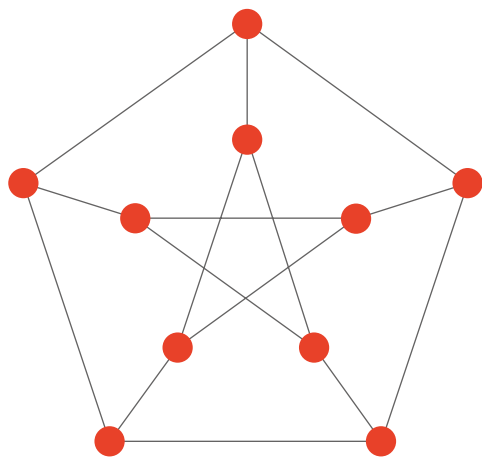
Modelli evolutivi nonlineari emergono in diverse aree come la Fisica Quantistica e fenomeni di transizioni di fase. La nonlinearietà delle equazioni, talvolta molto forte, è dovuta all'impossibilità di applicare processi di linearizzazione, che renderebbero da un lato i problemi più facili da studiare, ma dall'altra eccessivamente semplificati e quindi poco realistici. Recentemente l'attività di ricerca del gruppo si è concentrata su modelli biologici e biomedicali, per la crescita di tumori e per il metabolismo del cervello. Le questioni relative all'esistenza, unicità e regolarità delle soluzioni sono essenziali per la validazione dei modelli. Lo studio relativo all'esistenza di stati stazionari, di fenomeni di biforcazione e di attrattori viene sviluppato per rappresentare la dinamica per tempi lunghi al fine di fornire indicazioni per la diagnosi non invasiva e la prognosi.

ni deboli, trovate con metodi astratti, hanno le proprietà di regolarità richieste dalle applicazioni. Grazie al suo notevole sviluppo, ora essa costituisce un tema di imprescindibile interesse teorico per il calcolo delle variazioni e per le equazioni alle derivate parziali. In questo contesto vengono studiati in particolare il problema dell'ostacolo, e un'ampia famiglia di questioni astratte, tra cui i teoremi di Poincaré, di Sobolev, di Adams e di Morrey, le stime di Schauder, la teoria di De Giorgi, Nash e Moser.

Matematica Discreta: conteggi ad ampio spettro

Generalmente parlando, la Matematica Discreta si occupa della trattazione sistematica di strutture che provengono da universi finiti, cioè costituiti da un numero finito di oggetti, o con una infinità numerabile di elementi. La peculiarità principale che si può dunque ascrivere a qualunque situazione di Matematica Discreta è quella di poter "contare", almeno in linea di principio, gli oggetti coinvolti: il termine inglese "Combinatorics" racchiude in sé questa idea del conteggio, che se da un lato è una attività del tutto naturale nei processi di apprendimento della Matematica, d'altro canto comprende una vastissima selezione di problemi che risultano spesso semplici nella formulazione e contestualmente difficili nella risoluzione. In effetti molte congetture aperte in Matematica sono riconducibili a questo ambito: si pensi alla famosa congettura di Goldbach formulata nel 1742 e irrisolta a tutt'oggi (*ogni numero pari maggiore di 2 si può esprimere come somma di due numeri primi*).

Un gruppo di ricercatori di Unimore-FIM vanta una consolidata tradizione nello studio di strutture algebriche e geometriche discrete, o che sono opportunamente trattabili tramite tecniche di discretizzazione. Gli strutturati presso il FIM sono Arri-



Il famoso grafo di Petersen (dal matematico danese Julius Petersen che lo descrisse nel 1898)

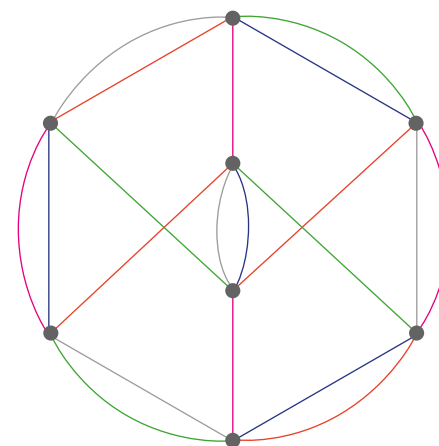
go Bonisoli, Simona Bonvicini, Maria Rita Casali, Alberto Cavicchioli, Paola Cristofori, Carla Fiori, Carlo Gagliardi, Fulvia Spaggiari, ai quali fanno capo cinque dottorandi dei cicli dal 33° al 35°. Le principali collaborazioni coinvolgono matematici del Dipartimento DISMI, insieme a studiosi di altre università italiane ed estere. L'interesse spazia dalla topologia algebrica e geometrica delle varietà alla teoria combinatoria dei gruppi, dalla teoria dei grafi in quanto tale (colorazioni, "matching", decomposizioni) alla rappresentazione di varietà tramite grafi colorati sugli spigoli, dalla teoria dei nodi alla geometria combinatoria.

Gli studi in questi settori trovano applicazione nei campi più svariati. Alcune applicazioni, come ad esempio quelle della topologia alla teoria delle stringhe in Fisica o quelle dei grafi alla teoria della complessità computazionale degli algoritmi in Informatica, sono consolidate nel tempo. Altre applicazioni sono recentissime e qualche volta inattese.

Prof.ssa Cristofori, quali sono le connessioni della topologia geometrica delle varietà con la teoria dei tensori random in gravità quantistica?

I *colored tensor models* sono una classe di teorie quantistiche dei campi introdotta da fisici dell'Università Paris-Sud interessati al problema della quantizzazione della gravità. I grafi di Feynman di questi modelli sono grafi colorati sugli spigoli, che hanno anche un significato geometrico in quanto rappresentano triangolazioni di varietà, su cui è possibile calcolare una discretizzazione dell'azione di Einstein-Hilbert. Lo studio delle loro proprietà combinatorie, che riflettono proprietà geometriche e topologiche delle varietà rappresentate, è quindi di grande interesse dal punto di vista fisico.

Questo tema di ricerca, che si colloca all'intersezione di differenti discipline, vede attualmente la collaborazione del nostro gruppo di ricerca in topologia geometrica non solo con fisici teorici



Un grafo colorato rappresentante la varietà 4-dimensionale CP^2 (piano proiettivo complesso)

ma anche con studiosi di combinatoria e probabilità, ed ha già portato ad interessanti risultati, testimoniati da numerose pubblicazioni e dalla realizzazione di convegni congiunti.

Dott.ssa Bonvicini, è vero che la teoria dei grafi viene utilizzata come strumento per la descrizione di strutture coinvolte in problemi di sequenziamento del DNA?

Confermo. In uno studio di quest'anno con una ricercatrice del Biomathematics Research Group della University of South Florida a Tampa (Margherita Maria FERRARI, la quale incidentalmente è laureata magistrale Unimore in Matematica) abbiamo descritto alcuni processi di auto-assemblaggio di strutture di DNA. A tale scopo abbiamo utilizzato tecniche di colorazioni sugli spigoli e di decomposizione che sono tipiche della teoria dei grafi. L'approccio sembra molto promettente. La Matematica Discreta è diventata senz'altro uno strumento imprescindibile nello studio di sistemi biologici complessi.

Per approfondimenti:

<https://www.fim.unimore.it/site/home/ricerca/discrete-methods-in-combinatorial-geometry-and-geometric-topology.html>

Sistemi di particelle, stormi, social networks: cosa hanno in comune?

L'approccio probabilistico della Meccanica Statistica per prevedere comportamenti collettivi

Una delle costanti più famose in Fisica è il numero di Avogadro. Esso rappresenta il numero di particelle contenute in una mole di materia e vale circa 10^{23} , quantità che, all'incirca, corrisponde all'ordine di grandezza della massa (in Kg) dell'intero nostro pianeta. La disciplina matematica che studia il comportamento dei sistemi con un numero così elevato di particelle è la Meccanica Statistica. Il nome deriva dal fatto che per studiare sistemi tanto grandi, non è possibile utilizzare i metodi standard della Meccanica, cioè risolvere le equazioni del moto delle particelle microscopiche in maniera esatta, o anche solo approssimata, e quindi si utilizzano metodi probabilistici. Ciò è possibile grazie ad una proprietà che si ha in presenza dei "grandi numeri": anche se i comportamenti microscopici sono caotici e dunque incontrollabili nei dettagli, le grandezze che derivano come medie calcolate sulla moltitudine dei componenti microscopici hanno un comportamento ben definito. Si pensi ad esempio ai lanci ripetuti di una moneta: anche se non è possibile produrre il risultato di un singolo lancio, si sa (con un'incertezza quantificabile precisamente grazie al teorema del "limite centrale") che circa la metà dei

lanci avrà testa come risultato. Le monete, in realtà, sono equiparabili a "particelle indipendenti" e dunque è molto facile predire il loro comportamento medio quando sono in gran numero. La Meccanica Statistica permette di descrivere i comportamenti medi di sistemi complessi formati da una moltitudine di elementi in interazione. Le particelle di un vero sistema fisico (atomi di un gas, molecole di un liquido, dipoli magnetici della memoria del computer) interagiscono tra loro con leggi locali e tuttavia danno luogo a fenomeni globali complessi, come per esempio le transizioni fase. Negli ultimi anni, la Meccanica Statistica si è dimostrata efficace nello studio di una grande varietà di applicazioni che vanno dalle reti neurali in biologia, alle reti sociali (formazioni di preferenze in un gruppo di individui), all'ambito sanitario (ottimizzare l'adesione a campagne di screening per la salute), fino all'etologia (studi degli stormi di storni), e molti altri esempi si potrebbero fare.

Una delle applicazioni d'interesse del nostro gruppo di ricerca riguarda l'utilizzo di modelli di Meccanica Statistica in ambito sanitario, in particolare nell'analisi di come un gruppo di individui risponde ad un invito a partecipare ad

una campagna di screening per la salute. Il modo più generale con cui la Meccanica Statistica si applica a modelli derivanti dal mondo reale è di riconoscere all'interno del sistema le variabili da analizzare come fossero grandezze termodinamiche: studiando il loro comportamento nel tempo, si può prevedere qualitativamente l'evoluzione dell'intero sistema. Si applica questo approccio ad un sistema di individui che devono aderire o meno alla campagna di screening, considerandoli equivalenti alle particelle chiuse all'interno di una scatola, il cui stato termodinamico è misurato dall'adesione all'invito dell'azienda sanitaria, come fosse un termometro. Misurare questa "temperatura" sanitaria significa analizzare la differenza di un dato sottosistema da una situazione di equilibrio, ossia quantificare il guadagno o la perdita in adesione in una data quantità di tempo.

***La cosa più pratica
è una teoria che funzioni***

L. Boltzmann

***La vera logica di questo mondo
è il calcolo delle probabilità***

J.C. Maxwell



Cecilia Vernia



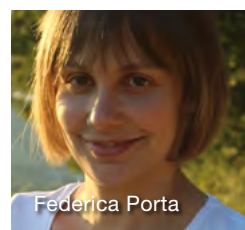
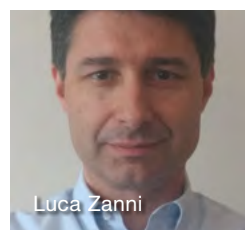
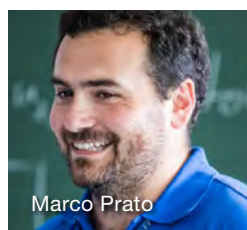
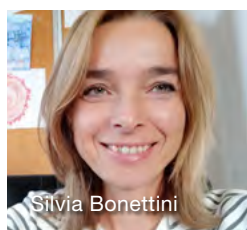
Cristian Giardino



Gioia Carinci

L'ottimizzazione numerica, cuore pulsante della data science

Problemi inversi, immagini, apprendimento automatico: il denominatore comune



Le persone ottimizzano. Gli investitori cercano di creare portafogli che evitino un rischio eccessivo pur ottenendo un alto tasso di rendimento. I produttori puntano alla massima efficienza nella progettazione e nel funzionamento dei loro processi di produzione. Gli ingegneri regolano i parametri per ottimizzare le prestazioni dei loro progetti.

La natura ottimizza. I sistemi fisici tendono a uno stato di energia minima. Le molecole in un sistema chimico isolato reagiscono tra loro fino a ridurre al minimo l'energia potenziale totale dei loro elettroni. I raggi di luce seguono percorsi che riducono al minimo il tempo di percorrenza. L'ottimizzazione è uno strumento importante nella scienza delle decisioni e nell'analisi dei sistemi fisici. Per utilizzare questo strumento, dobbiamo prima identificare alcuni obiettivi, una misura quantitativa delle prestazioni del sistema in studio. Questo obiettivo potrebbe

essere il profitto, il tempo, l'energia potenziale o qualsiasi quantità o combinazione di quantità che possono essere rappresentate da un singolo numero. L'obiettivo dipende da alcune caratteristiche del sistema, chiamate variabili o incognite. Il nostro obiettivo è trovare valori delle variabili che ottimizzano l'obiettivo. Spesso le variabili sono in qualche modo limitate o vincolate. Ad esempio, quantità come la densità di elettroni in una molecola e il tasso di interesse su un prestito non possono essere negativi.

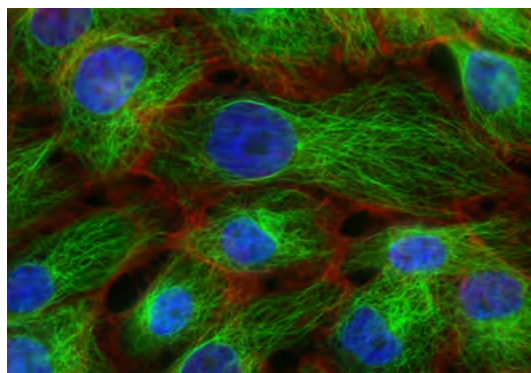
Il processo di identificazione di obiettivi, variabili e vincoli per un determinato problema è noto come modellizzazione. La costruzione di un modello appropriato è il primo passo – a volte il passo più importante – nel processo di ottimizzazione. Se il modello è troppo semplicistico, non fornirà informazioni utili sul problema pratico. Se è troppo complesso, potrebbe essere troppo difficile da risolvere.

Questa è la principale attività di ricerca del gruppo di ricercatori di Analisi Numerica del FIM, di cui fanno parte Silvia Bonettini, Federica Porta, Marco Prato e Luca Zanni, in qualità di unità modenese del gruppo di ricerca Optimization Algorithms and Software for Inverse Problems (OASIS) in collaborazione con ricercatori delle Università di Genova, Bologna, Ferrara e Firenze. Le competenze sviluppate negli anni comprendono sia aspetti puramente teorici, quali la progettazione e lo studio di algoritmi di ottimizzazione innovativi, in grado di essere applicabili ed efficienti in problemi con caratteristiche sempre più generali e complesse, che molteplici applicazioni concrete a problemi reali.

A titolo di esempio, sono stati sviluppati software per la risoluzione di problemi di apprendimento automatico su architetture parallele, l'analisi di segnali misurati con sonde spaziali o risonanze magnetiche, la ricostruzione di immagini acquisite da telescopi, microscopi o scanner medicali, e le attività del gruppo sono costantemente aperte alla collaborazione con aziende e colleghi di ogni settore.

Per maggiori informazioni

www.oasis.unimore.it



“Il tema dell'ottimizzazione è un'affascinante miscela di euristica e rigore, di teoria ed esperimento. Può essere studiato come un ramo della matematica pura, ma ha applicazioni in quasi tutti i rami della scienza e della tecnologia.”

R. Fletcher, *Practical Methods of Optimization*, 2° edizione. Wiley, 2000



Image: Claudia Cardoso

Il FIM per la scuola e la società

Fin dalla sua nascita, il FIM ha dedicato molte risorse ed energie alla divulgazione scientifica, all'orientamento e ai rapporti con le scuole del territorio, riconoscendo che queste attività sono essenziali per poter mantenere un'alta qualità della ricerca. Avere degli studenti che hanno scelto consapevolmente il proprio percorso, permette di avere degli ottimi laureati e, in futuro, dei ricercatori capaci, competenti e pieni di entusiasmo. Le discipline di base, come la Fisica, l'Informatica e la Matematica, hanno un forte impatto sulla vita quotidiana di tutti, anche se le applicazioni della fisica e della matematica spesso non sono del tutto evidenti per chi le utilizza, così come non sono molto conosciute le basi teoriche e scientifiche su cui si fonda l'informatica. Per questo motivo il FIM ha lavorato a lungo per rendere sempre più efficace la comunicazione dei risultati ottenuti dalla propria comunità scientifica, come quelli che il lettore ha avuto modo di apprezzare nelle pagine precedenti, con la consapevolezza che qualunque importante risultato scientifico, per poter essere opportunamente conosciuto e apprezzato, debba essere comunicato al grande pubblico in maniera rigorosa ma accessibile. Negli ultimi anni il FIM si è impegnato in molte ini-

ziative di divulgazione, alcune autonome (come i cicli di conferenze per gli insegnanti e la cittadinanza), e altre inserite in contesti più generali, come la Notte dei Ricercatori, il TEDxModena o Play, il festival del gioco.

Per quanto riguarda l'orientamento, oltre a tanti interventi negli istituti scolastici del territorio, il FIM propone delle "scuole" scientifiche che prevedono attività sperimentali, lezioni, seminari e incontri con professionisti, permettendo ai ragazzi di vivere una o più settimane a stretto contatto con gli scienziati del Dipartimento, per conoscere e toccare con mano il loro lavoro. Una delle iniziative di maggior successo del FIM per i ragazzi delle superiori è la scuola "Una settimana da scienziato", che dal 2019 è stata raddoppiata per far fronte alle tante richieste di partecipazione. Durante la scuola è tradizione avere un momento di confronto tra i ragazzi e professionisti, laureati in fisica, informatica e matematica, che illustrino loro la propria esperienza lavorativa. Un'altra iniziativa è MoReBOTS, un laboratorio di Coding e STEM (Science Technology Engineering Maths) basato su tecnologie ed ambienti innovativi per l'apprendimento (come Lego Mindstorm education e Sphero) che non richiedono conoscen-

ze informatiche pregresse: gli studenti, divisi in piccoli gruppi, sono guidati dai docenti attraverso un apprendimento "challenge-based" che insegna a lavorare in gruppo e a sviluppare un pensiero computazionale, cioè a trovare e sviluppare una soluzione a problemi reali anche complicati.

Per gli insegnanti, che hanno l'importante compito di supportare gli studenti nel loro percorso di approfondimento delle scienze di base, da anni il FIM mette a disposizione iniziative di crescita professionale e aggiornamento in cui gli argomenti sono spesso interdisciplinari e vengono affrontati con particolare attenzione all'applicazione di metodi didattici innovativi.

Un altro aspetto su cui il FIM si è impegnato molto negli ultimi anni è la promozione delle competizioni scientifiche per gli studenti delle scuole medie e superiori. Il FIM collabora con associazioni quali l'Unione Matematica Italiana, la Società Italiana di Fisica e Kangourou Italia nell'organizzazione locale di eventi di livello nazionale, come le Olimpiadi della Fisica, della Matematica e la coppa Kangourou, ma organizza anche competizioni in modo autonomo. A queste iniziative partecipano, ogni anno, migliaia di ragazzi del nostro territorio.

I corsi di aggiornamento per insegnanti

Il FIM organizza annualmente diversi corsi di formazione e aggiornamento per docenti di scuola secondaria superiore, svolti all'interno del progetto Piano Lauree Scientifiche promosso dal MIUR. Una di queste si intitola: **“La Matematica che non ti aspetti”**. Si tratta di conferenze di matematica che trattano in modo innovativo sia argomenti curricolari che extracurricolari, con particolare attenzione all'interazione tra la matematica e le altre discipline. Tra i conferenzieri, oltre a molti dei più abili ed esperti divulgatori a livello nazionale, ci sono anche insegnanti delle scuole del nostro territorio, perché a Modena e a Reggio Emilia vi sono molte scuole eccellenti, nelle quali operano insegnanti di grande cultura e capacità comunicativa. Le conferenze prevedono una partecipazione attiva del pubblico e mostrano che la matematica è davvero pervasiva e la si trova...dove non ci si aspetta!

Un'altra iniziativa di rilievo si intitola **“A scuola di Laboratorio”**. Questo ciclo di incontri, organizzato in collaborazione con i docenti dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), promuove le attività di laboratorio, come cardine dell'insegnamento della Fisica, proponendo ai partecipanti una serie di esperimenti ben collaudati. Gli **incontri di Fisica contemporanea 2020** rivisitano in chiave moderna i concetti cardine della fisica teorica e propongono alcuni argomenti dell'attuale ricerca fra i più affascinanti: teoria delle stringhe, entanglement quantistico, nuovi stati della materia e altri ancora.



Le gare a squadre di Matematica

Le squadre, composte da sette ragazzi, si cimentano nella soluzione di alcuni problemi, tipicamente una ventina. La soluzione dei quesiti fa guadagnare alle squadre dei punti e la classifica viene aggiornata durante la gara, così essa può essere seguita dal pubblico e vissuta dai partecipanti come una vera e propria manifestazione sportiva. Il regolamento è pensato in modo che per le squadre, oltre a riuscire a risolvere i problemi, sia importante anche saper lavorare in gruppo ed adottare una buona strategia di gara. Il fatto di valorizzare molte altre abilità, oltre a quelle squisitamente matematiche, fa sì che queste competizioni siano tra le più amate dagli studenti, tanto che, ad esempio, oltre cento scuole medie di Modena, Reggio Emilia e Mantova partecipano ogni anno alle gare organizzate dal FIM.

Le gare danno un grande contributo non tanto a far nascere, ma certamente a far germogliare e crescere nei ragazzi la passione per le discipline scientifiche, in un modo che Paul Zeitz, uno degli organizzatori di una recente competizione internazionale di matematica, ha tratteggiato in modo magistrale: “Lo scopo di queste gare non è vincere, ma avere matematica interessante a cui pensare. Perché la matematica è proprio questo: passiamo la maggior parte del tempo perplessi, sentendoci stupidi, per poi avere rari momenti, quando pensiamo veramente intensamente, in cui scopriamo cose meravigliose e ci troviamo davanti idee bellissime”.

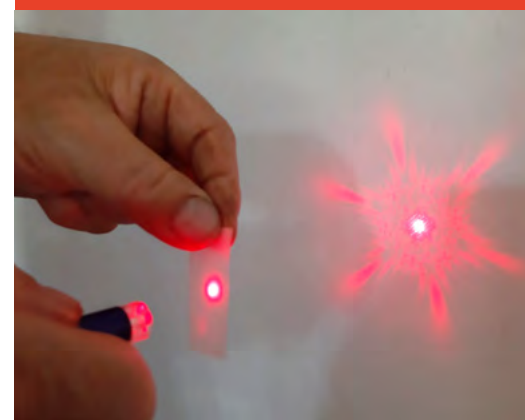


Il progetto NANOLAB

NANOLAB è un progetto di innovazione didattica, dedicato agli insegnanti che intendono integrare le nanoscienze nel curriculum scolastico. Le nanoscienze rappresentano infatti un terreno ideale per introdurre temi di fisica moderna, come la fisica quantistica e la struttura della materia, già dei primi anni delle scuole superiori e sono un'ottima occasione per mostrare il carattere interdisciplinare dell'attuale ricerca scientifica, favorendo anche a scuola un approccio integrato alle discipline STEM. I percorsi didattici proposti da NANOLAB, pur basandosi su semplici misure elettriche, meccaniche o ottiche alla portata di un laboratorio scolastico, permettono di indagare in modo quantitativo le proprietà peculiari di alcuni materiali funzionali, scelti per la loro facile reperibilità, per il loro comportamento inusuale e per le loro applicazioni attuali o future. Sul sito del progetto si possono trovare diversi strumenti di auto-formazione per insegnanti: video-guide per le attività sperimentali, materiali didattici, videoconferenze, tutorial. È inoltre in fase di allestimento presso il FIM il Laboratorio di progettazione didattica NANOLAB, pensato in particolare come luogo di incontro con insegnanti del territorio e aperto a studenti in stage.

Per maggiori informazioni:

www.nanolab.unimore.it



2	Mappa del numero
5	Chimica e Geologia: una sinergia vincente per un futuro sostenibile
6	Il passato come chiave del presente
8	Georisch: questi (s)conosciuti
9	Quale futuro per le scogliere coralline? La risposta dai fossili
10	Oceani, ultima frontiera
12	I beni culturali
14	Materiali nanoporosi per la tecnologia e l'ambiente
15	Rilevanza chimica di innovazioni in ambito ceramico
16	“Chimica Domani”: Verde, Sostenibile, Circolare
18	Big Data in Chimica sfide e opportunità
20	Chimica e Salute: un ossimoro apparente
22	Chimica, sicurezza, qualità, identità
25	Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche
26	Formare i professionisti dell'innovazione
27	Dalle Nano-Scienze alle Tecnologie Quantistiche
28	Fisica delle interazioni fondamentali
29	Materiali funzionali micro e nanostrutturati
30	La fisica quantistica per inventare la materia del futuro
31	Biofisica: dalla biologia alla fisica e ritorno
32	High-Performance Real-Time Systems
34	Sistemi distribuiti e intelligenti
35	<i>Data Management and Analytics</i>
36	Equazioni Differenziali e Calcolo delle Variazioni: un ponte tra modelli e applicazioni
38	Matematica Discreta: conteggi ad ampio spettro
39	Sistemi di particelle, storni, social networks: cosa hanno in comune?
40	L'ottimizzazione numerica, cuore pulsante della data science
41	Il FIM per la scuola e la società

**Ricerca e futuro dell'Università
degli Studi di Modena e Reggio Emilia**

Maggio - Giugno 2020
Pubblicazione periodica di Unimore
(Università di Modena e Reggio Emilia)

Editore delegato:
Edizioni Della Casa srl

Direttore Responsabile:
Stefano Della Casa

Comitato di redazione:

Thomas Casadei, Serena Benedetti, Alberto Greco, Dino Della Casa, Stefano Della Casa e Maurizio Malavolta

Coordinamento grafico:

Claudio Piccinini

Stampa:

Grafiche TEM (MO)

Foto:

Unimore, Alessio Ferrera, Claudia Cardoso, Thomas Steiner, Nicolas Desprez, Dougtone.

*Si ringraziano per aver collaborato a questo numero
i prof. Luca Zanni e Alessandro Gualtieri*

L'editore è pronto a riconoscere eventuali diritti sul materiale fotografico di cui non è stato possibile risalire all'autore e di essere in possesso di tutte le relative liberatorie

Symbols è una pubblicazione stampata in esclusiva per Unimore a cura di Edizioni Della Casa S.r.l. Viale Alfeo Corassori, 72 - Modena Aut. Trib. Forlì n. 12 del 2001
info@studiodellacasa.it

In copertina:

In alto la sede del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche. In basso la sede del Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche.

Il tuo 5 x 1000 è importante.

CF Unimore: 00427620364



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Università degli studi di Modena e Reggio Emilia

e-mail: urp@unimore.it - PEC: urp@pec.unimore.it

Sede di Modena: Via Università 4, 41121 Modena, Tel. 059 2056511 - Fax 059 245156

Sede di Reggio Emilia: Viale A. Allegri 9, 42121 Reggio Emilia, Tel. 0522 523041 - Fax 0522 523045.