

**1993-2018**  
**25 ANNI DI CULTURA**  
**E INNOVAZIONE SUI MATERIALI**

*Il presente volume contiene contributi a firma di:*

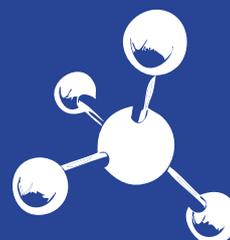
Edoardo Bemporad, Università di Roma TRE  
Federica Bondioli, Politecnico di Torino  
Gianluca Cicala, Università di Catania  
Luigi Coppola, Università di Bergamo  
Raffaele Cioffi, Università di Napoli Parthenope  
Roberto Chiesa, Politecnico di Milano  
Francesco Paolo La Mantia, Università di Palermo  
Tiziano Manfredini, Università di Modena e Reggio Emilia  
Giuseppe Mensitieri, Università di Napoli Federico II  
Laura Montanaro, Politecnico di Torino  
MariaPia Pedefferri, Politecnico di Milano  
Alessandro Sannino, Università del Salento  
Luigi Torre, Università di Perugia



# *Indice*

<b>5</b>	<i>Introduzione</i>
<b>7</b>	<i>La fotografia di una storia di successo</i>
<b>15</b>	<i>Sostenibilità ed economia circolare</i>
<b>21</b>	<i>Nuove frontiere dei materiali compositi</i>
<b>27</b>	<i>L'attualità dei materiali cementizi</i>
<b>33</b>	<i>Nuove frontiere dei biomateriali</i>
<b>39</b>	<i>Il ruolo delle grandi infrastrutture di ricerca</i>

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# Introduzione

Laura Montanaro  
Presidente AIMAT

*Sono trascorsi 25 anni dalla creazione di AIMAT, Associazione Italiana di Ingegneria dei Materiali, nata da precedenti esperienze aggregative, con l'obiettivo di accompagnare l'Ingegneria dei Materiali italiana verso le sfide del nuovo millennio.*

*AIMAT, fondata nel 1993, raccoglie innanzi tutto intorno a sé la comunità accademica che principalmente si riconosce nel settore concorsuale 09/D1, settore scientifico-disciplinare ING-IND/22, seppur non in modo esclusivo. La partecipazione all'Associazione, infatti, è aperta a tutti coloro che operano nell'ambito dei materiali, nelle loro variegata coniugazioni, con la forte spinta e attitudine a coniugare sinergicamente aspetti scientifici e tecnologico-applicativi.*

*Come chiaramente recita lo Statuto dell'Associazione, riconoscendo nella Scienza e nell'Ingegneria dei Materiali la sua area culturale primaria, AIMAT ha individuato le seguenti missioni:*

- la promozione e il coordinamento dell'insegnamento nelle Università Italiane delle discipline concernenti i materiali e degli aspetti interdisciplinari ad essi connessi, nonché la diffusione della cultura sui materiali a qualunque livello professionale;*
- l'individuazione delle priorità di ricerca nel settore, la promozione e il coordinamento delle più ampie collaborazioni tra mondo della ricerca scientifica, della libera professione, dell'industria, tra i vari attori operanti nel settore dei materiali, sia a livello nazionale che internazionale.*

*L'associazione AIMAT e i suoi membri si collocano, quindi, in quel segmento formativo volto a far crescere le nuove generazioni di ingegneri, architetti e professionisti, in senso lato, che si avvalgono del progresso scientifico-tecnologico nell'ambito dei materiali, trasferendone i benefici nel tessuto socio-economico del Paese, in primis. Si pone anche l'obiettivo di formare le nuove generazioni di ricercatori che perpetuino il percorso culturale e tecnologico che essa rappresenta, un tramite indispensabile tra la produzione e caratterizzazione di nuovi materiali, il loro efficace trasferimento nel mondo produttivo e l'effettiva valorizzazione nella società, generando l'auspicato impatto di innovazione e crescita.*

*In questo momento celebrativo, è gradito, oltre che più che doveroso, ricordare quanti hanno contribuito alla crescita della nostra comunità, a partire dai Past President, i professori Mario Colleparidi, Ranieri Cigna, Carmine Colella, Giorgio Pradelli, Teodoro Valente, Alberto Cigada, Francesco La Mantia, e dei Segretari Tesorieri, i professori Sergio Meriani, Massimo Guglielmi, Teodoro Valente, Tiziano Manfredini e Domenico Caputo, e piace anche sottolineare la distribuzione territoriale delle loro sedi di provenienza a testimonianza della forte capacità pervasiva dell'Associazione.*

*AIMAT ha affrontato, con i suoi membri, le difficoltà che tutto il sistema universitario nazionale ha sperimentato negli ultimi decenni: una dispersione di Sedi accompagnata ad una concentrazione di ricercatori in un più limitato numero delle stesse; il blocco o le limitazioni del turn-over, che hanno portato ad un progressivo depauperamento della popolazione di docenti e a uno spostamento verso l'alto della loro età media; una contrazione talora imbarazzante dei finanziamenti pubblici alla ricerca.*

*La comunità AIMAT ha retto bene a questi aspetti avversi, anche grazie alla grande capacità di dialogo e collaborazione dei propri associati con qualificate realtà di ricerca e produttive a livello nazionale, europeo e internazionale. AIMAT ha contribuito anche a limitare gli aspetti negativi di una valutazione sovente divisiva, stimolando tra i propri Soci l'incontro e la discussione, per promuovere aggregazione e collaborazione. Questo è avvenuto attraverso numerose attività di successo, sovente realizzate in collaborazione con il Consorzio INSTM, Consorzio Interuniversitario Nazionale sulla Scienza e Tecnologia dei Materiali, luogo di dialogo e di confronto anche con altre culture scientifiche che operano nella complessa filiera dei materiali.*

*A supporto di questa affermazione, è opportuno elencare i numerosi convegni nazionali, promossi e organizzati da AIMAT negli anni, che sono stati animati da una partecipazione sempre numerosa e attiva di Soci e non Soci: Roma 1992; Trento 1994, Napoli 1996; Chia Laguna 1998; Spoleto 2000; Modena 2002; Ancona 2004; Palermo 2006; Piano di Sorrento 2008; Capo Vaticano 2010; Gaeta 2012; Lecce 2014; Ischia Porto 2016 e 2017.*

*Un ruolo fondamentale hanno anche svolto e continuano a svolgere le Scuole AIMAT, rivolte in modo particolare ai nostri dottorandi e giovani ricercatori, luogo di trasmissione di un background culturale comune, ma anche di quel forte senso di appartenenza e coesione che caratterizza la nostra comunità scientifica. Ne sono state realizzate una ventina e hanno contribuito anche in modo rilevante a far crescere un network tra i giovani ricercatori, indispensabile per mitigare aspetti forzatamente competitivi grazie alla collaborazione e alla condivisione.*

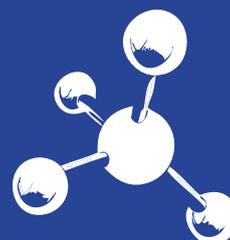
*Di recente è stato anche varato un nuovo format, attraverso il workshop sulle Starting technologies che si è tenuto a Ischia Porto nel luglio 2018. Il workshop è stato dedicato alla presentazione e promozione di ricerche inerenti ai diversi settori della Scienza e Tecnologia dei Materiali di potenziale interesse commerciale e alla illustrazione delle strategie che rendono possibile il trasferimento tecnologico e la creazione di startup. Ampio spazio è stato anche dedicato alle attività di networking, research to research e business to business, con una partecipazione animata da interventi significativi che hanno illustrato case studies di successo, ma anche le insidie di questo territorio di confine tra l'Accademia e la Società.*

*Consapevole della complessità del panorama attuale della ricerca e dell'innovazione, l'attuale Consiglio direttivo dell'AIMAT, costituito da Edoardo Bemporad, Federica Bondioli, Gianluca Cicala, Raffaele Cioffi, Laura Montanaro, Francesco Paolo La Mantia, Tiziano Manfredini, Michele Notarnicola e MariaPia Pedeferra, si è organizzato in tre gruppi di lavoro dedicati ai temi principali oggetto della missione dell'associazione e opererà in continuità con il percorso già tracciato, avvalendosi della dedizione volontaristica dei propri membri e dei Soci, soprattutto sperando di coinvolgere sempre di più i giovani ricercatori nella vita associativa.*

*Questa brochure, che raccoglie i contributi presentati in occasione di un Workshop, tenutosi a Roma nel settembre 2018, vuole essere un sintetico resoconto delle attività condotte e delle capacità sinora espresse, ma anche una finestra aperta verso il concretizzarsi di nuove, importanti opportunità, consapevoli della qualità e varietà delle conoscenze e competenze dei membri che animano la nostra Associazione.*

# LA FOTOGRAFIA DI UNA STORIA DI SUCCESSO

# AIMAT



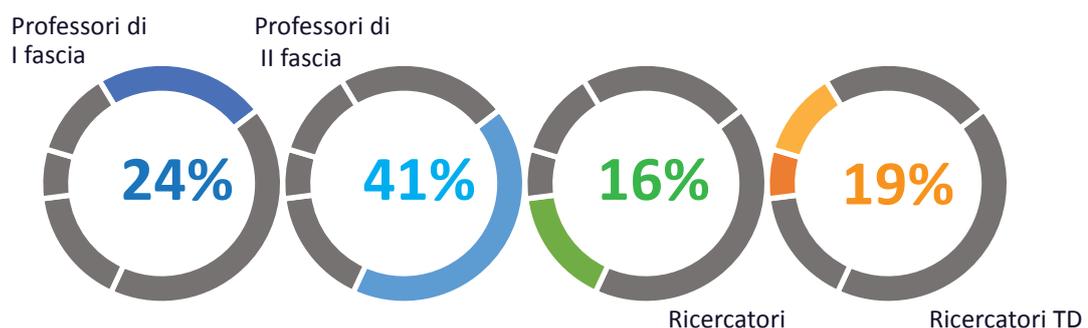
ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# La fotografia di una storia di successo

MariaPia Peddeferri  
Federica Bondioli

L'Associazione AIMAT, riconoscendo nella Scienza e nell'Ingegneria dei Materiali la sua area culturale primaria, ha come scopo la promozione e il coordinamento dell'insegnamento delle discipline concernenti i Materiali nelle Università Italiane, della ricerca nell'ambito della Scienza e Ingegneria dei Materiali, nonché la promozione delle più ampie collaborazioni tra mondo della ricerca scientifica, della libera professione, dell'industria nel settore sia a livello nazionale che internazionale.

Il principale Settore Scientifico Disciplinare (SSD) di riferimento della comunità accademica di AIMAT è quello di Scienza e Tecnologia dei materiali (ING-IND/22) che, con più di 250 docenti strutturati, è il SSD dell'Ingegneria Industriale numericamente più rilevante, e coincide con il Settore Concorsuale (SC) 09-D1. La consistenza numerica del Settore si è mantenuta costante negli anni, malgrado le consistenti riduzioni di turn-over, grazie ai risultati di ricerca e di produzione scientifica estremamente positivi dei propri membri, che sono sinteticamente rimarcati in questo intervento. Dei docenti afferenti al Settore ING-IND/22, presenti in 42 Atenei distribuiti sull'intero territorio nazionale, 59 sono Professori di I fascia, 103 di II fascia, 41 ricercatori universitari, 48 ricercatori a tempo determinato di cui 19 Senior (dati MIUR, gennaio 2019).





## ***I corsi di Laurea e Laurea Magistrale in Ingegneria dei Materiali***

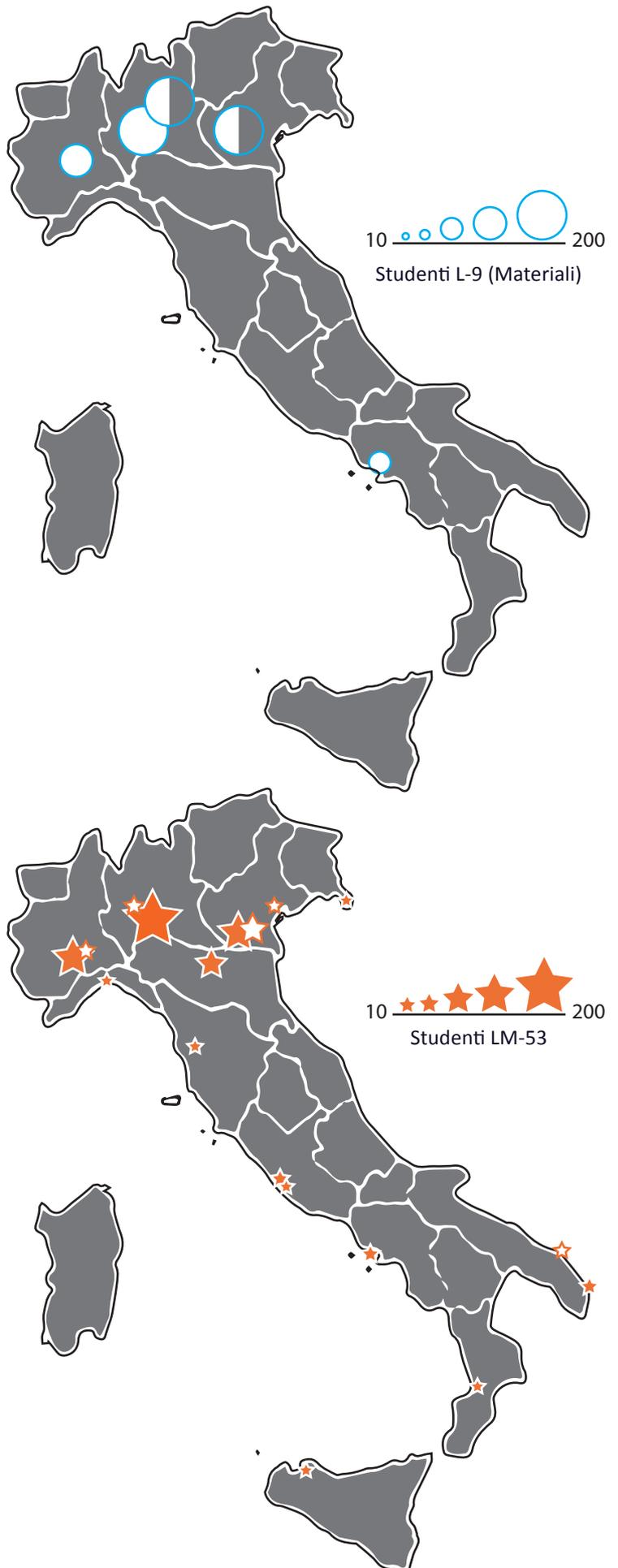
In Italia sono attivi, nell'anno accademico 2018/19, 5 corsi di Laurea in Ingegneria Industriale focalizzati sui materiali, classe di Laurea L-9, rappresentati dalle bolle in figura, e 18 corsi di Laurea Magistrale LM-53 (Scienza e ingegneria dei Materiali) nelle 16 Università indicate dalle stelle in figura. Le bolle colorate per metà indicano corsi di laurea L-9 parimenti focalizzati sui materiali e su un'altra declinazione dell'Ingegneria Industriale.

Il Decreto Ministeriale DM 270/2004 prevede, per le lauree magistrali in Scienza e Ingegneria dei materiali LM-53, come attività formative caratterizzanti, sia insegnamenti dell'ambito disciplinare dell'ingegneria che dell'ambito disciplinare della fisica e della chimica.

I corsi di LM-53 più focalizzati sulle discipline dell'ambito dell'ingegneria, maggiori per numero e per consistenza numerica, sono indicati con le stelle di colore arancione. In queste sedi il percorso proposto, partendo da una laurea in L-9, Ingegneria Industriale, (a volte ma non sempre connotata nel titolo dalla parola "materiali"), porta a una laurea magistrale LM-53 dove la componente ingegneristica è decisamente significativa.

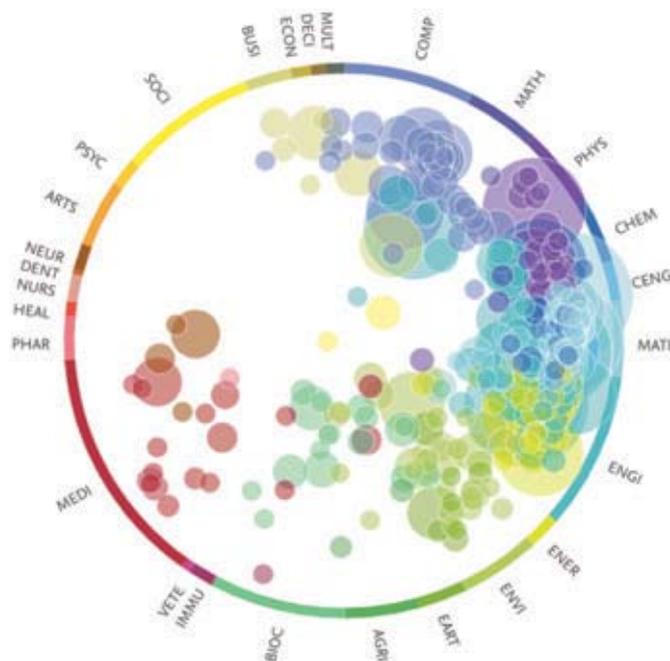
Nelle sedi indicate con stelle di colore bianco i corsi LM-53 hanno invece una connotazione più spinta verso la chimica e la fisica dei materiali e risultano in filiera a corsi di laurea dedicati ai materiali nelle classi L-27 (Scienze e Tecnologie Chimiche) o L-30 (Scienze e Tecnologie Fisiche).

Su sollecitazione di AIMAT sono state recentemente definite due distinte classi di Laurea Magistrale, la prima in Ingegneria dei Materiali, la seconda in Scienza dei Materiali che meglio rispecchiano le impostazioni dei corsi di Laurea Magistrale e le competenze dei futuri laureati.



### La produzione scientifica della comunità AIMAT

L'attività scientifica degli afferenti al settore ING-IND/22, per la natura multidisciplinare della ricerca sui materiali, si concentra in diversi ambiti che vanno dai materiali per l'ingegneria, sia strutturali che funzionali, ai beni artistici, archeologici e monumentali, dai materiali per l'energia e l'ambiente ai biomateriali, come evidenziato in figura (Pubblicazioni 2013-2018 dati SCIVAL).



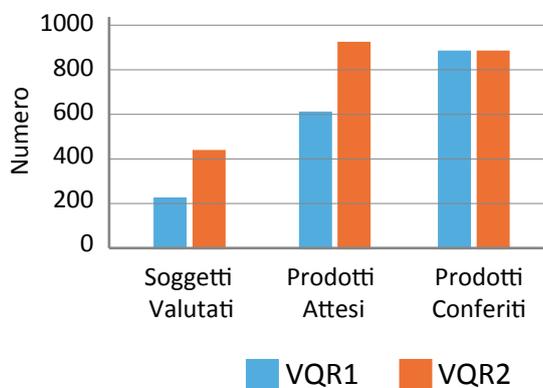
### Il contributo di AIMAT alla VQR

Un'analisi dello stato della ricerca del Settore non può prescindere da considerazioni che partano dai due esercizi valutativi effettuati da ANVUR con lo strumento VQR riferiti, rispettivamente, ai periodi 2004-2010 e 2011-2014. Tali considerazioni vedono, però, ogni esercizio comparativo limitato dal fatto che le due campagne di valutazione sono state basate su criteri che evidenziano diverse disomogeneità.

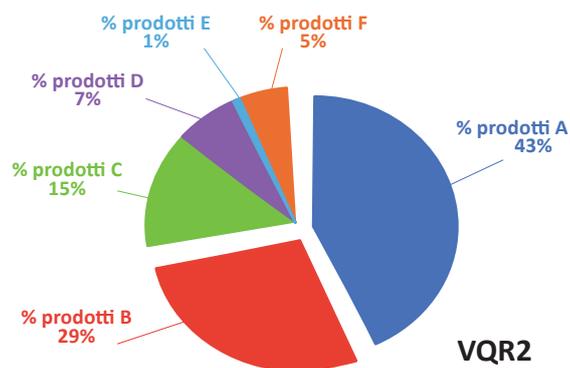
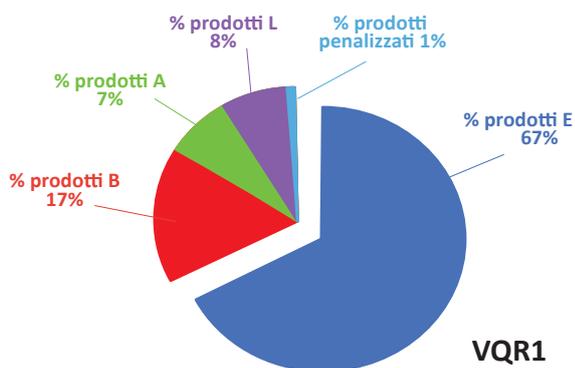
Nella VQR 2011-2014 gli addetti alla ricerca del CNR hanno dovuto indicare un settore scientifico disciplinare, andando così a popolare, fittiziamente, anche il nostro SSD. Questo si ripercuote sul numero di soggetti valutati che, tra il primo e il secondo esercizio valutativo, è quasi

raddoppiato a fronte di una generale stabilità del numero di docenti universitari incardinati nel Settore.

Tenuto conto del numero di prodotti attesi e del numero di prodotti conferiti, si può notare che il numero di inattivi risulta nella VQR1 molto basso mentre nella VQR2 sostanzialmente in linea con il dato medio nazionale e con il dato medio del settore CUN 09.



	INGIND-22 (%)	AREA 09 (%)
VQR1	99,05	96,97
VQR2	95,85	95,78



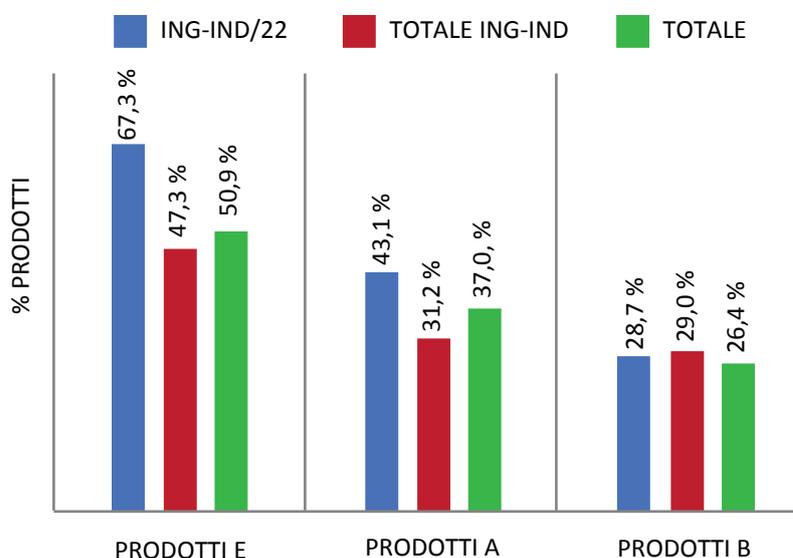
Una seconda importante discontinuità è nei criteri di valutazione dei prodotti che rende difficile un confronto diretto.

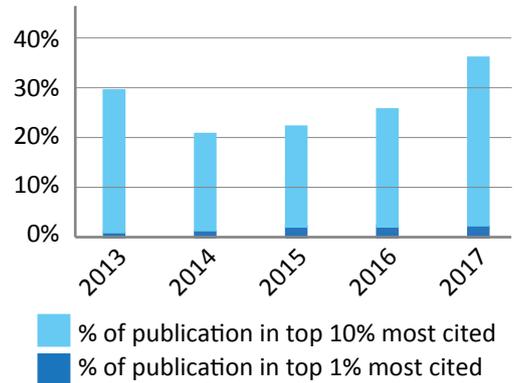
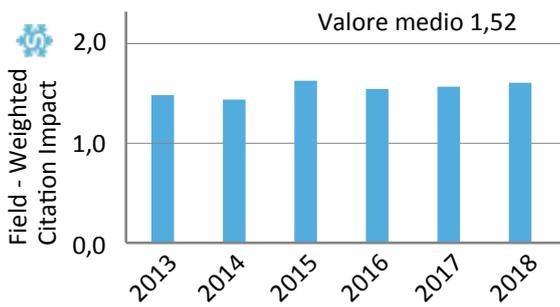
Nella VQR1 i prodotti eccellenti, E (punteggio 1), sono pari al 67% del totale dei prodotti sottomessi, i prodotti buoni, B (punteggio 0,8), sono il 17%, i prodotti accettabili, A (punteggio 0,5), sono il 7%, mentre i prodotti limitati, L (punteggio 0), sono l'8%. I prodotti mancanti, come detto pari al 1%, sono stati penalizzati con -0,5 punti.

Nella VQR2 i prodotti eccellenti, A (punteggio 1), sono pari al 43% del totale dei prodotti sottomessi, i prodotti buoni, B (punteggio 0,7), sono il 29%, i prodotti discreti, C (punteggio 0,4), sono il 15%, i prodotti accettabili, D (punteggio 0,1), sono il 7%, mentre i prodotti limitati, L (punteggio 0), sono l'1%. I prodotti mancanti, come detto pari al 5%, non sono stati penalizzati in questa tornata valutativa.

Valore medio

	VQR1	VQR2
INGIND-22	0,84	0,70
tot INGIND	0,68	0,72
TOTALE	0,70	0,64





La quota del totale delle pubblicazioni scientifiche censite nelle banche dati internazionali, che ricade nel 1% (TOP 1%) e nel 10% (TOP 10%) delle pubblicazioni più citate, è aumentata ulteriormente negli ultimi anni ed è nel 2017 pari rispettivamente a quasi 3% e 37%.

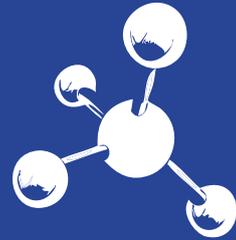
Per l'analisi dell'impatto citazionale ci si può inoltre basare sull'indicatore denominato Field Weighted Citation Impact (FWCI) che rappresenta il rapporto tra le citazioni medie ricevute dagli articoli pubblicati dagli

incardinati nel settore, per ogni tipologia di pubblicazione e per ogni anno, e le citazioni ricevute nello stesso settore scientifico, tipo di pubblicazione e anno a livello mondiale.

Il valore di questo indicatore è sempre maggiore di 1 negli ultimi cinque anni con un valore medio pari a 1,52 che sottolinea come l'impatto scientifico degli incardinati nel settore sia del 52% più alto rispetto a quello di ricercatori che pubblicano nello stesso ambito.

# SOSTENIBILITÀ ED ECONOMIA CIRCOLARE

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# Sostenibilità ed economia circolare

Francesco Paolo La Mantia  
Tiziano Manfredini

Il modello economico che ha dominato gli ultimi decenni del ventesimo secolo e la prima decade del ventunesimo secolo è stato sostanzialmente teso a realizzare prodotti sempre più numerosi, massificati e destinati a generare ricchezza per pochi a scapito dei più. Prodotti che nella maggior parte dei casi presentano vita breve e mai pensati per il loro destino a fine vita. Una crescita lineare che ha portato ad un impoverimento delle risorse naturali e ad un incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

È necessario ripensare criticamente questo modello della produzione che si riassume nell'espressione "usa e getta", superando gli evidenti limiti della dissipazione e dello scarto e valorizzando, invece, i materiali a fine vita, insieme al loro contenuto energetico. È anche necessario privilegiare sempre di più l'uso di fonti rinnovabili al posto di quelle fossili. Sintetizzando al massimo, è possibile dire che tutte queste azioni portano ad un minor consumo di materia ed energia e conseguentemente ad una minore emissione di CO<sub>2</sub>. Il modello di economia

circolare si basa su questi pilastri.

Anche la tecnologia ha rivestito un ruolo non trascurabile: in passato essa è stata ampiamente sfruttata all'interno del modello lineare, secondo la logica dell'"usa e getta", finendo per essere considerata responsabile dell'eccessivo consumo delle risorse naturali e del degrado ambientale. Un ruolo parimenti importante può ora svolgerlo per l'affermazione del nuovo modello produttivo.

Ad esempio, parlando del ruolo dei materiali nell'ambito dell'economia circolare, esistono, tra gli altri, due obiettivi fondamentali da perseguire: la riduzione a zero degli scarti e l'uso di biomasse rinnovabili.

Nel caso dei materiali polimerici ciò può essere ottenuto mediante il riciclo e lo sviluppo di polimeri biodegradabili e compostabili da fonti rinnovabili. Anche i materiali da costruzione (ceramici, leganti e vetro) rappresentano



potenzialmente delle ottime soluzioni per l'economia circolare. A ciò si aggiunge il fattore, non trascurabile, che il loro processo produttivo necessita di un trattamento termico che è spesso estremamente efficace ai fini della riduzione del rilascio in ambiente di un gran numero di ioni potenzialmente inquinanti.

### ***Sostenibilità e materiali polimerici***

Il riciclo rappresenta, da un punto di vista economico, il recupero di valore presente in un prodotto che è già stato utilizzato. A seconda della frazione e della modalità di recupero di questo valore, il riciclo può essere classificato in:

- a) Riciclo meccanico (che si avvale di materie seconde, di manufatti non usati - riciclo primario o di manufatti post consumo - riciclo secondario),
- b) Riciclo chimico o riciclo terziario (che si avvale del recupero delle materie prime),
- c) Recupero energetico o riciclo quaternario (che si avvale del recupero di energia per incenerimento dei rifiuti).

I principali problemi nel riciclo di materie plastiche sono legati alla degradazione dei materiali nelle diverse fasi del ciclo di vita e all'incompatibilità tra i diversi polimeri. La degradazione durante il periodo di vita è prevalentemente causata da processi fotoossidativi. I cambiamenti nella struttura dei polimeri sono del tutto simili a quelli provocati dalla degradazione termomeccanica.

La presenza di diversi materiali polimerici può aumentare notevolmente la difficoltà dell'operazione di riciclo. In particolare, diversi punti di fusione possono causare la degradazione di alcuni componenti della miscela, mentre l'incompatibilità tra le diverse fasi può dar luogo a materiali con scadenti caratteristiche finali. Naturalmente, mentre la degradazione è presente in tutte le operazioni di riciclo, l'incompatibilità rappresenta un problema solo nel caso di riciclo eterogeneo, cioè nel caso di riciclo di miscele di materie plastiche.

Proprio alla degradazione ed alla incompatibilità fra polimeri nel riciclo eterogeneo sono legate le sfide per il futuro della ricerca nel campo del riciclo meccanico che è certamente la scelta più sostenibile nella filiera delle materie plastiche.



## **Polimeri Biodegradabili**

I polimeri biodegradabili provenienti da fonti rinnovabili o da fonti fossili possono essere classificati in tre diverse categorie in dipendenza della fonte di provenienza e del loro destino post-consumo:

- polimeri provenienti da fonti rinnovabili, ma NON biodegradabili
- polimeri provenienti da fonti NON rinnovabili, ma biodegradabili
- polimeri provenienti da fonti rinnovabili e biodegradabili.

Una caratteristica peculiare dei polimeri biodegradabili è la compostabilità, cioè la possibilità di sottoporli a un processo biologico aerobico e controllato che porta alla produzione di una miscela di sostanze umificate che possono utilizzarsi come ammendante del terreno. Ciò significa che i polimeri biodegradabili e compostabili devono essere riciclati con la frazione organica.

In questo campo le sfide maggiori per la ricerca sono connesse con lo sfruttamento di fonti rinnovabili provenienti da rifiuti agricoli ed industriali e nell'utilizzo di specie vegetali non adatte all'alimentazione. Inoltre, la stabilizzazione alle radiazioni UV e il miglioramento della finestra di lavorabilità contribuiranno ad una maggiore diffusione di questi polimeri.

## **Economia circolare e materiali da costruzione (ceramici, leganti e vetro)**

Numerose sono le attività di ricerca finalizzate al reimpiego di sottoprodotti/scarti di lavorazione e al ripensamento dei processi industriali primari per la realizzazione di prodotti di economia circolare per l'ottenimento di ceramici e vetro e relativi prodotti accessori da impiegare, prevalentemente, nel settore delle costruzioni.

Il tema delle terre e rocce da scavo sta diventando sempre più attuale in quanto, quotidianamente, le ditte che svolgono attività di movimento terra, così come i professionisti e gli enti territoriali, si trovano a non sapere come gestire questi materiali, vista la confusione

normativa e le numerose variazioni che si sono succedute in un periodo relativamente breve.

L'attività estrattiva, da sempre fonte di materie prime, è anche all'origine di numerosi problemi ambientali, che solo l'attuale diffusa coscienza ambientalista sta cercando di affrontare in modo sistemico, considerando il nostro pianeta come un bene finito da tutelare e conservare, non come una riserva infinita da sfruttare. Gli enormi quantitativi di rifiuti da attività estrattiva prodotti in passato dalle attività produttive costituiscono oggi una diffusa fonte di inquinamento, ma sono anche associabili ad aree di instabilità geotecnica ed idrogeologica.

Tale realtà coinvolge tutto il territorio italiano, così come quello europeo e, chiaramente, è un problema globale che interessa tutti i paesi del mondo dove avviene lo sfruttamento di materie prime.

Per avere un'idea di quanti scarti si producono durante le attività estrattive si pensi che, in regime di cava, le rese (rapporto tra il volume del materiale commercialmente utile e il totale del materiale estratto) risultano mediamente pari al 28%; si può quindi calcolare che ogni anno in Europa vengano messi in discarica circa 12 milioni di tonnellate di rifiuti, costituiti per lo più da miscele di silicati e carbonati.



Si richiamano sinteticamente nel seguito alcune soluzioni efficaci in vista dell'affermarsi dei principi dell'economia circolare in questo ambito.

È possibile valorizzare i fanghi derivanti dal lavaggio degli inerti per calcestruzzo e trovare in seguito un giusto impiego in base alle caratteristiche chimiche e mineralogiche, con la doverosa attenzione alle norme vigenti.

I limi di lavaggio si sono mostrati adatti per differenti impieghi, tra i quali si ricordano quelli nel settore ceramico e per la produzione di laterizi, manifestando non solo piena compatibilità di processo, ma anche la possibilità di apportare miglioramenti del ciclo produttivo, in particolare nelle fasi di essiccamento e cottura. Sono inoltre adatti alla produzione di leganti, in particolare di calce aerea o debolmente idraulica, così come componente nella formulazione delle materie prime marnose per cemento. Sono altresì adatti per la realizzazione di arginature, riempimenti ed interventi di stabilizzazione di terreni od opere di ingegneria civile.

Un ulteriore esempio virtuoso è quello dell'utilizzo di coloranti ( $(\text{Fe,Cr})_2\text{O}_3$ ) per decorazione digitale da sottoprodotti metallurgici.

La tecnica digitale rappresenta la soluzione più recente ed innovativa per la decorazione ceramica e del vetro, in quanto consente infinite soluzioni ad elevatissima risoluzione grafica. Ciò è reso possibile anche dallo sviluppo di un gran numero di pigmenti inorganici caratterizzati da notevole stabilità termica e chimica, nonché variabilità di composizione, con conseguente possibilità di sviluppo di tonalità di colore nuove e ricercate.

Fra i pigmenti inorganici ottenibili e disponibili l'interesse maggiore è rivolto a spinelli e soluzioni solide. Fra queste la "soluzione solida nera"  $(\text{Fe,Cr})_2\text{O}_3$ , per la cui produzione si impiega ossido di ferro ottenuto



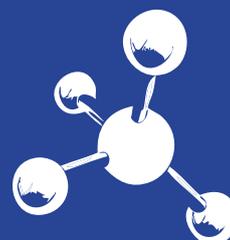
quale sotto prodotto delle fasi di decapaggio dei manufatti ferrosi.

Infine, si può ricordare l'uso di materiali da disassemblaggio di elettrodomestici per la produzione di ceramica sanitaria. Gli oboli ottenuti dalle lavatrici dismesse possono infatti trovare nuova vita nella formulazione di fritte e smalti per sanitari di pregio.

Quanto precede sottolinea come la conoscenza e le competenze nell'ambito della Scienza e tecnologia dei materiali rappresentino un "atout" irrinunciabile, per ideare soluzioni innovative atte a ridurre l'impatto ambientale globale, nonché a trasformare degli "scarti" in prodotti anche di elevata qualificazione e utilità.

# NUOVE FRONTIERE DEI MATERIALI COMPOSITI

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# Nuove Frontiere dei Materiali Compositi

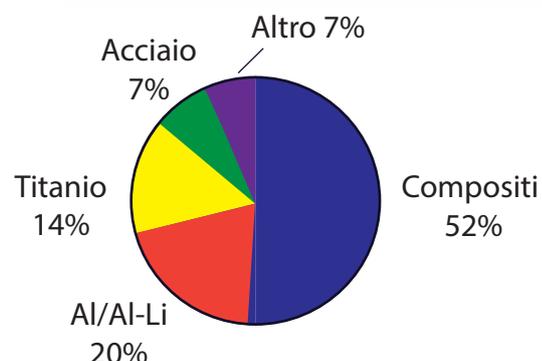
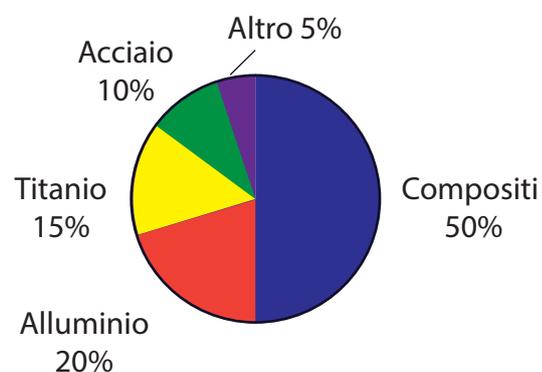
Giuseppe Mensitieri  
Luigi Torre

Sono passati più di 50 anni da quando si affacciarono sul mercato le prime applicazioni non militari a base di materiali compositi ad alte prestazioni in fibra di carbonio. In quell'epoca e negli anni che sono seguiti in tutto il secolo scorso, i Compositi Rinforzati con Fibra di Carbonio (CFRP) sono sempre stati considerati un prodotto di nicchia, eccezionali per le proprietà meccaniche, la leggerezza e la durabilità, ma troppo costosi per applicazioni in grande scala, pertanto ideali per il campo aerospaziale e quello degli sport professionali dove il rapporto costi/benefici pende marcatamente verso quest'ultimi.

Nel terzo millennio, invece, una piccola rivoluzione ha avuto inizio. La messa in commercio del Boeing 787 prima e dell'Airbus A350 poi, aerei che hanno capovolto il rapporto compositi/metalli nella composizione dei materiali con i quali sono costruiti, è stato l'emblematico inizio verso l'espansione. Inoltre, lo sviluppo e il miglioramento delle tecniche di lavorazione cosiddette "out of Autoclave", che ha permesso di abbassare di molto i costi di investimento per la produzione di parti in CRFP senza rinunciare alle prestazioni, ha fatto da catalizzatore per lo sviluppo e la diffusione di questi materiali per applicazioni prima impensabili.

Parlando del futuro dei compositi, i dati indicano un mercato in crescita, sebbene naturalmente inferiore nei volumi rispetto ai materiali tradizionali. Alla luce delle nuove tecnologie si prevedono (e auspicano) nuovi utilizzi dei materiali compositi. In questa breve relazione se ne mettono in evidenza alcuni e si indicano nuove frontiere e limiti che dovranno essere superati nel futuro.

Nel campo aeronautico, secondo i principali produttori di aeromobili, la curva di riduzione del peso di un aereo-



Settore	Aeronautico	Automobilistico
Unità prodotte per anno	Poche migliaia	90 milioni
Tempo per ciclo	Ore	Secondi
Processo	Automazione bassa (manuale)	Automazione elevata
Compositi	Principalmente autoclave	No autoclave

plano negli ultimi 70 anni ha quasi raggiunto, con il 787 e A350, un asintoto orizzontale, ciò significa che ulteriori sviluppi e applicazioni dei compositi in aeronautica saranno non più dovuti solamente all'eccezionale rapporto prestazioni/peso, ma all'introduzione di nuove funzionalità integrate (morphing, self sensing, conducibilità elettrica ecc.).

Volendo analizzare i campi più promettenti per l'applicazione dei compositi avanzati non si può non considerare il campo automobilistico. Un materiale per uso automobilistico deve anzitutto essere economico e deve avere cicli di produzione molto rapidi, considerato il numero enorme di autoveicoli che vengono prodotti ogni anno; entrambe queste caratteristiche sembrano proibire l'utilizzo dei materiali compositi.

I compositi in campo automobilistico sono attualmente presenti, ed anche in larga scala, nella produzione di parti della carrozzeria quali portelloni, spoiler e paraurti. Tali applicazioni sono però basate sui processi di stampaggio (SMC) simile a quello delle lamiere, che utilizza materiali a basse prestazioni quali le fibre di vetro corte in bassa percentuale.

Il vero "breakthrough" si dovrebbe avere con l'utilizzo delle fibre lunghe di carbonio in applicazioni strutturali quali il telaio. I vantaggi che ne verrebbero sono dovuti alla leggerezza, alla ridotta corrosione e alla vita a fatica. La BMW, ad esempio, produce attualmente due autoveicoli, l'I3 e l'I8, con telaio in composito a base di fibre di carbonio; pur trattandosi di veicoli elettrici, non sono

stati concepiti per avere i numeri bassi delle "supercar" (che utilizzano CRFP in grande quantità) ma per essere prodotti in serie; in questo caso la BMW, oltre ad aver sviluppato una tecnica di lavorazione senza autoclave, ha dovuto progettare il telaio in modo completamente nuovo, riducendo al minimo l'assemblaggio di parti. Inoltre, per assicurarsi una fornitura stabile e costante di fibre, la BMW ha addirittura impiantato una fabbrica di fibre di carbonio. Ciò è emblematico della situazione attuale dei compositi avanzati per elevati volumi di produzione: i CFRP possono avere sbocco solo se aumenta la produzione delle fibre di carbonio e si sviluppano processi di produzioni rapidi ed efficienti.

Vale la pena, inoltre, di menzionare altre due applicazioni che non possono fare a meno dei compositi avanzati: la produzione di pale eoliche di grandi dimensioni e le applicazioni in aerospazio.

Nel primo caso, i compositi a fibre di carbonio sono necessari per alleggerire le pale in maniera che l'energia del vento venga utilizzata per produrre elettricità e non per muovere le pale. Inoltre, le strutture composite garantiscono una elevata rigidità, che è fondamentale per la produzione di energia eolica. Il campo delle pale eoliche è dominato dall'utilizzo delle fibre di vetro ma quando le dimensioni delle pale supera una certa lunghezza il carbonio diventa necessario. La tendenza ad aumentare la dimensione delle pale stesse, determina che lo sviluppo dell'energia eolica rappresenta a pieno titolo uno di quei campi che avranno bisogno di un numero sempre crescente di CRFP. Si prevede che il



campo dell'eolico farà da volano alla ricerca su nuove tecnologie di lavorazione e per il miglioramento delle caratteristiche delle matrici, in particolare riguardo la durabilità e la resistenza ad impatto e il monitoraggio strutturale.

Nel secondo caso, lo spazio è un settore che sta attraversando una grande crescita, dovuta sia alle esigenze sempre più numerose di satelliti per le comunicazioni ed altre applicazioni non militari, sia perché sono apparsi sul mercato dei lanci nuovi attori (quali Space X, Blue Origin e Virgin Galactic). Questi hanno in programma di lanciare in orbita a costi molto inferiori rispetto agli attuali (dai 10mila ai 40mila dollari per chilo). Un tale prezzo fa sì che in questo caso il materiale più adatto alla costruzione di quasi tutti i nuovi vettori non può che essere a base di CFRP. Inoltre, in questo campo, i materiali compositi sono utilizzati anche all'interno dei motori a combustibile solido, sotto forma di compositi carbon-phenolic o carbon-carbon, materiali che garantiscono eccezionali caratteristiche di isolamento termico e di resistenza ad elevata temperatura. Sotto tali spinte la ricerca sta di nuovo mettendosi in moto come non accadeva dagli anni dell'Apollo.

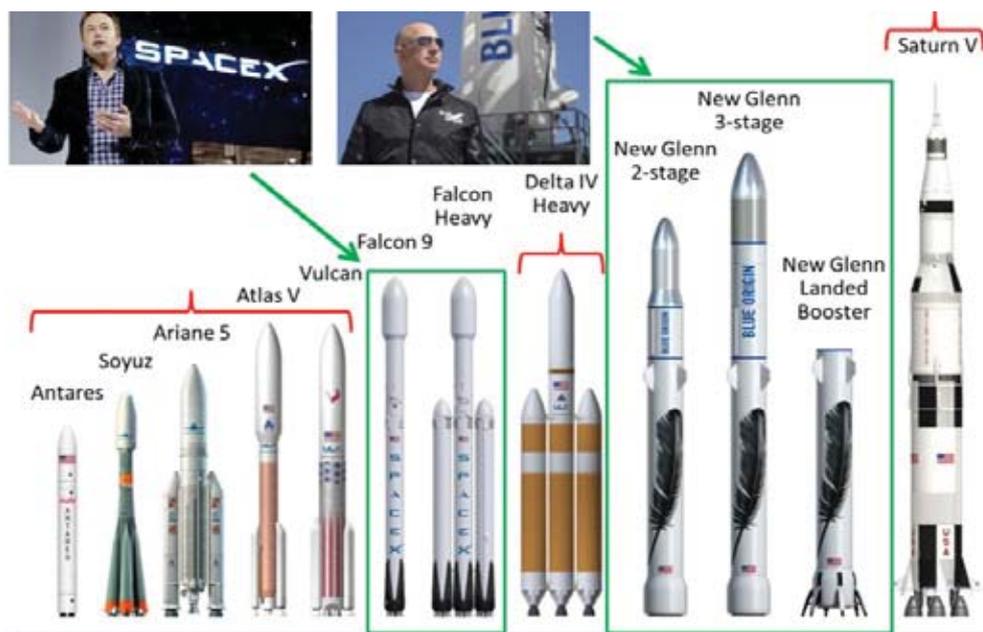
Oltre ai settori su esposti, che sicuramente saranno protagonisti del prossimo futuro dei compositi avanzati,

altre applicazioni, quali per esempio la nautica non da diporto, le attrezzature sportive e le infrastrutture, potranno crescere e si gioveranno di nuove evoluzioni e ricerche che attualmente sono allo stato embrionale ma che rappresenteranno le nuove frontiere per questi materiali.

Guardando a sviluppi ed innovazioni più radicali che saranno introdotti nei prossimi anni nel settore dei compositi in generale, gli sforzi maggiori si vanno concentrando nello sviluppo di nuovi materiali, nell'individuazione di nuove applicazioni, nell'incremento delle prestazioni, nel miglioramento delle caratteristiche di sostenibilità e riciclo e della tolleranza al danno, nello sviluppo ulteriore della capacità di individuare difetti - e di riparare efficacemente gli stessi - ripristinando le proprietà, non solo strutturali, dei compositi e nell'utilizzo di metodi computazionali avanzati nella progettazione e nella simulazione e controllo dei processi produttivi.

Tra i nuovi materiali compositi, si segnala lo sviluppo di materiali a gradiente di proprietà, che presentano una graduale variazione nello spazio della propria struttura allo scopo di ridurre la concentrazione di sforzi termici e meccanici, che possono trovare applicazione nel miglioramento delle proprietà meccaniche delle zone di interfaccia. L'attività di ricerca è anche focalizzata sulla realizzazione di compositi flessibili e tenaci con proprietà piezoelettriche grazie all'inserimento di fibre ceramiche in matrici polimeriche. Lo sviluppo di altre tipologie di materiali compositi innovativi trova ispirazione dai materiali naturali, caratterizzati dall'organizzazione appropriata di fasi rigide e deformabili, implementando meccanismi di tenacizzazione caratteristici della parte corticale delle ossa. Altri esempi rilevanti riguardano compositi a matrici metalliche e ceramiche, l'utilizzo sempre maggiore di nanostrutture a base di carbonio e di nuove tipologie di fibre.

Un altro campo di sviluppo è quello dell'individuazione di nuove applicazioni e del conseguente sviluppo di compositi ad esse adeguati. Esempi rilevanti di tali nuove



applicazioni sono quelli di compositi in grado di raccogliere energia da vibrazioni e deformazioni, per poi utilizzarla per alimentare sistemi di autoregolazione delle vibrazioni stesse, di compositi con capacità di ripristino di proprietà che dovessero essere compromesse in seguito a danneggiamenti, di materiali compositi multi-funzionali (MCMF), cioè in grado di svolgere sia le funzioni primarie strutturali (grazie alle loro caratteristiche di resistenza, rigidità e stabilità) che quelle non strutturali (quali capacità di energy harvesting, accumulazione di energia, self-healing, possibilità di agire come sensore chimico, di deformazione e di danneggiamento, come attuatore e proprietà di morphing).

Di notevole interesse è anche l'ulteriore incremento delle prestazioni dei compositi attualmente utilizzati, quali l'incremento della conducibilità elettrica e termica, e della sostenibilità e riciclabilità dei materiali compositi. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, di notevole importanza è il sempre maggiore utilizzo di fibre e resine da fonti rinnovabili. Meritano di essere citati le fibre naturali di origine vegetale ed animale (quali canapa, juta, canna da zucchero, lino, palma, sisal), i nanofiller (nanocellulosa), le matrici termoindurenti da fonti rinnovabili (come olii vegetali dai quali si ottengono molecole reticolabili quali epossidi, aldeidi, isocianati) e i compositi a basso impatto a 3 componenti (ad esempio

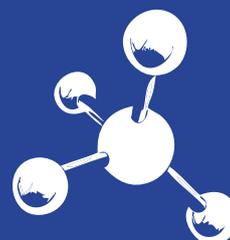
fibre di juta ricoperte di nano-cellulosa e matrice epossidica da fonti naturali). I settori di sviluppo per tali materiali sono quello automobilistico e quello delle costruzioni ma ulteriori sviluppi possibili vi sono in campo ferroviario, aeronautico e sportivo laddove, in molti casi, vi è la possibilità sempre maggiore di sostituire polimeri rinforzati da fibre di vetro (GFRP), benché, attualmente, le proprietà meccaniche, la resistenza chimica, al fuoco e alle alte temperature, l'assorbimento di umidità e la degradabilità rendono le fibre naturali ancora inadatte a numerose applicazioni strutturali.

La ricerca ingegneristica si concentra anche sul monitoraggio dell'integrità strutturale, facendo sempre maggiore ricorso a sistemi robotizzati per analisi non distruttive coadiuvate dal contemporaneo utilizzo di metodi computazionali. Questi approcci sono in corso di implementazione sia nel monitoraggio di parti in composito messe in opera, sia nel controllo di qualità dei processi produttivi.

Infine, nell'ambito della progettazione di parti in composito, un ruolo importante, allo scopo di ridurre i pesi e migliorare le prestazioni, lo giocheranno sempre di più gli algoritmi di ottimizzazione topologica, finalizzata a determinare la distribuzione ottimale del materiale in un prescritto dominio.

# RICERCA NEL SETTORE DEI MATERIALI CEMENTIZI

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# L'attualità dei materiali cementizi

Raffaele Cioffi  
Luigi Coppola

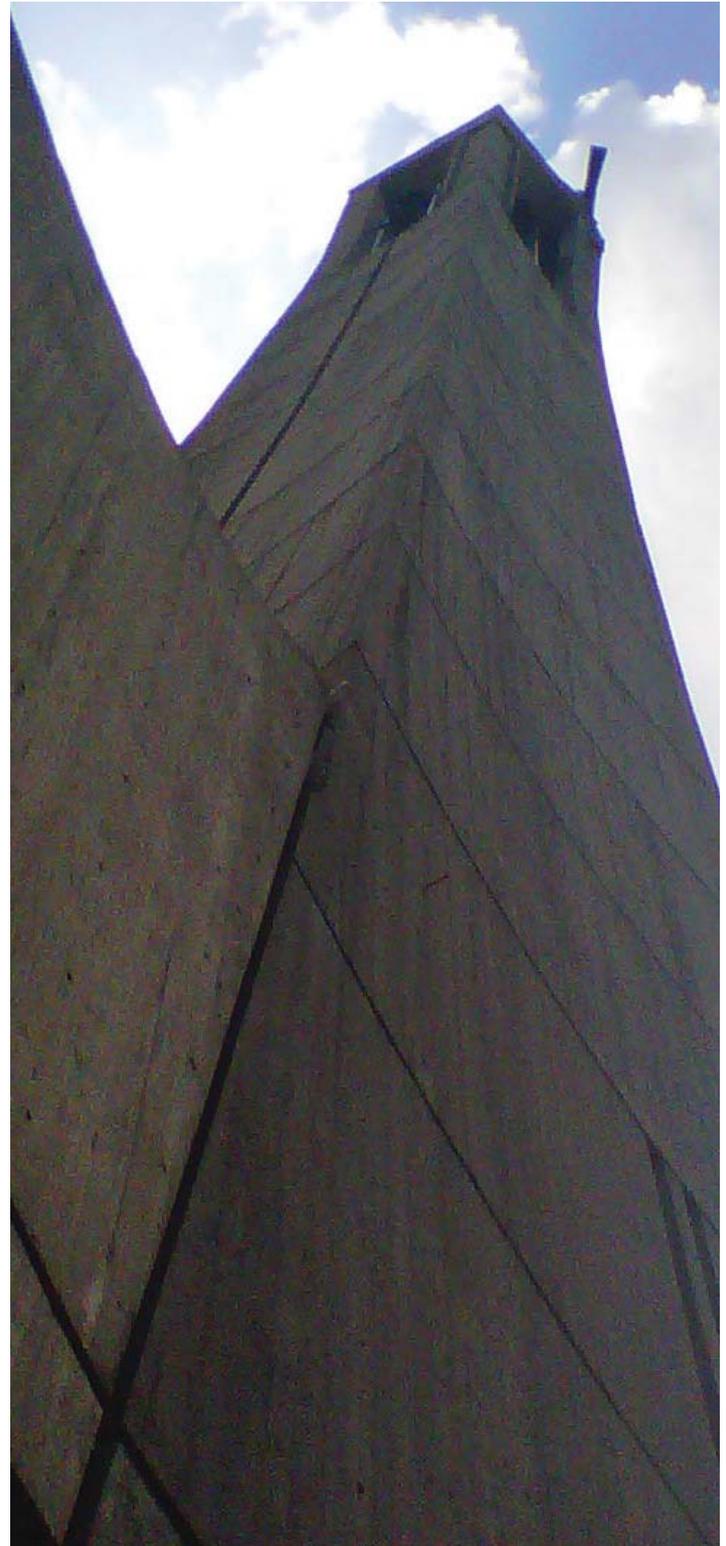
La ricerca nel settore dei materiali cementizi è attualmente focalizzata su due macro-tematiche:

a) la riduzione dell'impatto ambientale dei conglomerati cementizi attraverso l'impiego di leganti alternativi al cemento Portland e il recupero di materiali di scarto provenienti da diversi settori;

b) lo sviluppo di materiali multifunzionali o nano-leganti caratterizzati da proprietà innovative sia per il settore dei materiali da costruzione che per quello del restauro e della stampa 3D.

Il forte impatto ambientale del settore del calcestruzzo e del cemento è tristemente noto dal momento in cui, attraverso il protocollo di Kyoto, si è iniziato a discutere sul tema della sostenibilità ambientale. Per ridurre l'impatto ambientale dei conglomerati cementizi è necessario ridurre sia l'energia di produzione e le emissioni di gas serra, che gli enormi quantitativi di materie prime naturali impiegate tradizionalmente durante la produzione dei leganti e degli aggregati.

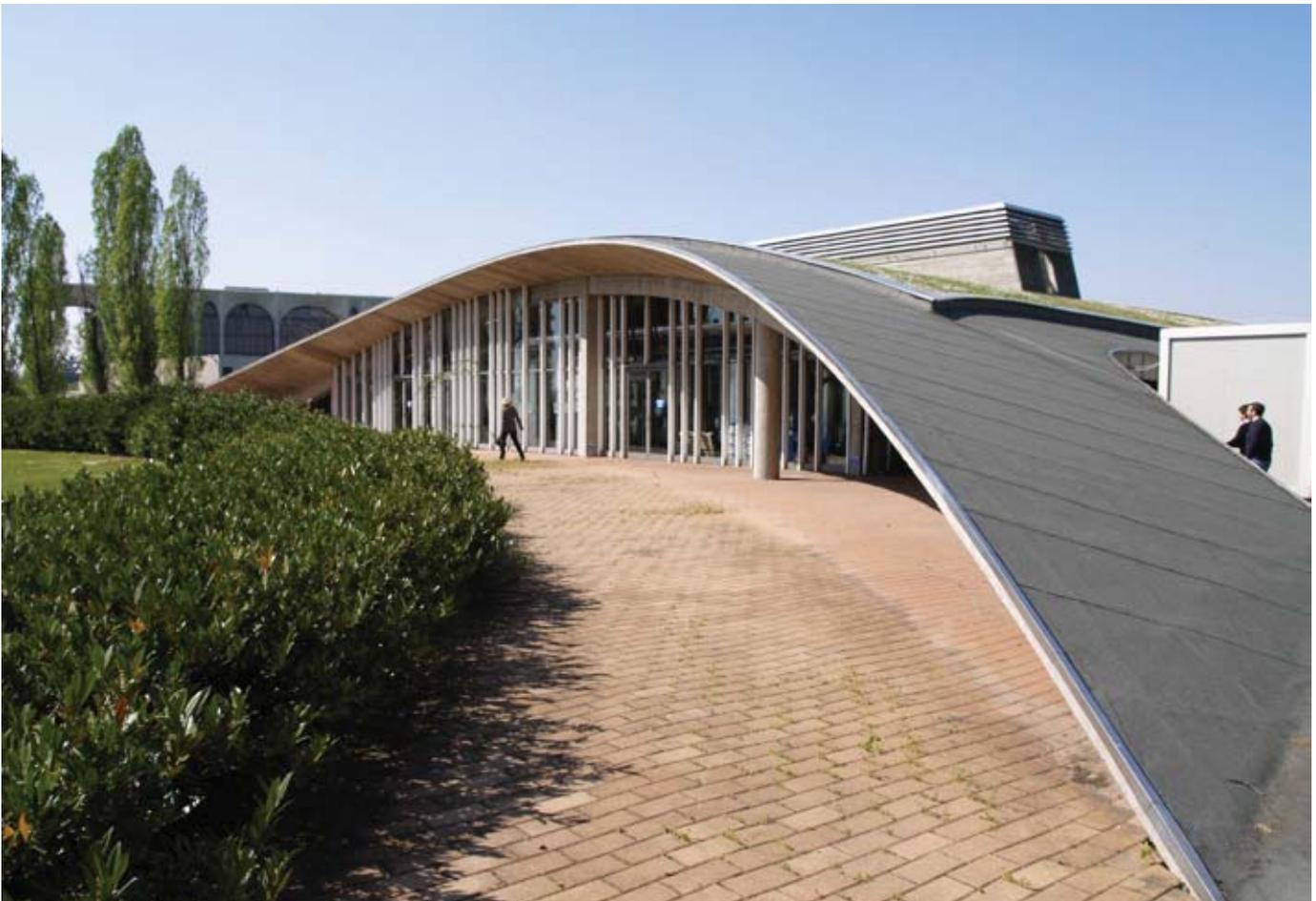
I cementi solfoalluminosi sembrano essere una alternativa environmentally friendly al cemento Portland grazie alle basse temperature di cottura (circa 200°C al di sotto di quelle del clinker di cemento Portland), alle contenute emissioni di anidride carbonica e alla possibilità di impiegare come materie prime numerosi prodotti di scarto in luogo dei materiali naturali tradizionali. Da un punto di vista ingegneristico, questi cementi sono caratterizzati da una rapida presa, da uno sviluppo repentino delle prestazioni elasto-meccaniche e da un modestissimo ritiro che li rende particolarmente attraenti soprattutto per il settore delle malte da ripristino e per quello delle pavimentazioni in calcestruzzo armato senza giunti.



I leganti ad attivazione alcalina e i geopolimeri sono costituiti da polveri ricche di allumina e silice (ad esempio la loppa granulata d’altoforno, le ceneri volanti, il metacaolino, sedimenti, rifiuti dell’industria agroalimentare, etc) e da attivatori alcalini in grado di innalzare il pH della miscela e favorire il fenomeno della presa e dell’indurimento in analogia con i prodotti a base Portland. I risultati sperimentali mostrano la grande versatilità di questi sistemi in termini di proprietà allo stato fresco e prestazioni elasto-meccaniche, ottenute variando sia le materie prime che gli additivi. Tuttavia, molte questioni rimangono ancora aperte, soprattutto riguardo la durabilità in particolari ambienti, la protezione dalla corrosione verso le armature metalliche o l’eccessivo ritiro che li contraddistingue. Alcune miscele a base di materiali alcali-attivati sono state recentemente sottoposte a brevetto per un impiego nel settore dei materiali alleggeriti, degli intonaci e dei materiali refrattari.

Inoltre, di grande interesse sono gli aggregati artificiali impiegati in parziale o totale sostituzione degli aggregati naturali come quelli derivanti dalle opere di demolizione degli edifici esistenti, dal settore siderurgico, dal settore dei manti bituminosi nonché dal complesso dei rifiuti di varia natura (bottiglie di plastica, gomma da pneumatici, carcasse di automobili, etc.). In questo caso, la maggiore difficoltà riguarda la forte variabilità delle caratteristiche fisico-chimiche, ma anche elasto-meccaniche dei prodotti di scarto da reimpiegare nei materiali cementizi. Tuttavia, l’impiego di questi prodotti di scarto sembra essere estremamente promettente sia per la produzione di aggregati pesanti che nel settore degli aggregati alleggeriti a seguito di trattamenti termici.

La “suggerzione ingegneristica” di dotare le strutture in calcestruzzo di una intrinseca capacità di autovalutazione (“self-sensing”) del livello di sforzo cui sono assoggettate, ma anche una intima capacità di



autoriparazione (“self-healing”) di cavillature, fessure e difetti generati durante l’esercizio è stata fin dall’inizio dell’utilizzo del conglomerato cementizio un’idea costante e allo stesso tempo accattivante. In aggiunta, la possibilità di alterare il comportamento idrofilo dei conglomerati cementizi mediante l’impiego di aggiunte, additivi o trattamenti superficiali, è di grande interesse in quanto consente di accrescere notevolmente la durabilità delle opere in calcestruzzo armato così come lo studio di nano-leganti da impiegare per il restauro di beni architettonici e culturali di pregio.

Il fenomeno dell’auto-riparazione “self-healing”, venne evidenziato per la prima volta già agli albori dell’utilizzo del calcestruzzo nelle strutture idrauliche fessurate che, grazie alla precipitazione di sali poco solubili nelle soluzioni di continuità, presentavano una parziale cicatrizzazione dei difetti formati durante l’esercizio delle strutture. Sulla base degli studi sperimentali

condotti e dei relativi risultati disponibili in letteratura, si può affermare come il fenomeno di auto-riparazione possa essere di tipo naturale oppure possa far ricorso a meccanismi di tipo artificiale. Negli ultimi anni, in particolare, sono state studiate alcune possibili misure che possano favorire i meccanismi di cicatrizzazione delle fessure nelle strutture in calcestruzzo facendo ricorso all’utilizzo di aggiunte minerali o polimeri da aggiungere ai tradizionali ingredienti, all’impiego di batteri o ricorrendo a capsule o fibre contenenti un materiale compatibile con la matrice di cemento, ma in grado di sigillare le fessure formatesi durante la fase di maturazione o durante l’esercizio per effetto dei carichi applicati e/o delle tensioni indotte dal ritiro idraulico impedito del calcestruzzo. Tutte queste tecnologie, sono ancora in fase sperimentale e non sono disponibili (eccezion fatta per le aggiunte minerali e gli additivi chimici) sul mercato a causa principalmente del gran numero di variabili che governano il processo di



auto-sigillatura delle lesioni, ai numerosi problemi di ingegnerizzazione dei prodotti e all'alto costo.

Lo sviluppo di materiali cementizi "self-sensing" è piuttosto recente e prevede l'impiego di nano e micro rinforzi quali nano-tubi, fibre corte in acciaio o carbonio, micro e nano inerti carboniosi, grafene, scarti pirolizzati di materie prime vegetali come aggiunte conduttive all'interno di matrici di cemento. I risultati sperimentali mostrano la possibilità di valutare lo stato di deformazione di un conglomerato (e rendere quindi possibile la stima dello stato di sollecitazione) mediante misure elettriche attraverso elettrodi superficiali o direttamente annegati nel materiale. Inoltre, è stato possibile osservare anche un miglioramento delle prestazioni elasto-meccaniche delle malte contenenti nano e micro rinforzi di fronte a carichi impulsivi quali urti, esplosioni o terremoti nonché l'incremento della resistenza al fuoco e alle alte temperature. Tuttavia, numerose questioni rimangono aperte visto il gran numero di variabili (sia composizionali che di set up di prova) che debbono essere prese in considerazione per una stima realistica degli stati di sollecitazione all'interno dei conglomerati cementizi. Al contrario, sembra essere più agevole lo sviluppo di sensori basati su nanotubi in carbonio da applicare sulle strutture esistenti in calcestruzzo armato.

In un'ottica legata al miglioramento della durabilità delle opere in conglomerato cementizio, lo studio del trasporto dei liquidi all'interno della matrice è di primaria importanza. Per questo motivo, la messa a punto di sistemi in grado di rendere idrofobica la superficie del calcestruzzo è stata investigata da numerosi ricercatori. Attraverso l'impiego di nanocompositi, è possibile idrofobizzare le superfici dei manufatti in calcestruzzo, garantendo allo stesso momento il rilascio di agenti biocidi che limita fortemente l'attacco biologico sul materiale. Inoltre, è stato mostrato come l'impiego di gomma da pneumatici esausti all'interno di malte cementizie riesca a rendere idrofobo l'intero volume del materiale, ostacolando l'ingresso di acqua per effetto di una variazione di energia superficiale e migliorandone

fortemente la durabilità.

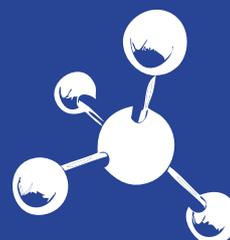
Recentemente è stata messa a punto una sintesi innovativa e sostenibile per la produzione di nanocalce per applicazioni estensive nel settore del restauro e conservazione dei beni architettonici e culturali. Infatti, la nanocalce sembra essere un ottimo candidato, in termini di compatibilità, per la protezione e il consolidamento superficiale di tutte le opere a matrice carbonatica, che costituiscono la gran parte del patrimonio artistico, storico e architettonico italiano.

Infine, lo sviluppo di materiali cementizi idonei per tecnologie innovative come l'additive manufacturing e la stampa 3D sta attraendo sempre più l'interesse della comunità scientifica.



# NUOVE FRONTIERE DEI BIOMATERIALI

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# Nuove frontiere dei biomateriali

Roberto Chiesa  
Alessandro Sannino

## *Il passato e il presente dei Biomateriali*

Lo studio dei Biomateriali è sicuramente multisetoriale. Storicamente la ricerca nel campo dei materiali per applicazioni biomediche è nata come costola di altre discipline già affermate, operanti esclusivamente in ambito medico. Le risposte alle esigenze e alle problematiche chirurgiche e mediche, sicuramente definite dai medici, spesso venivano ricercate sul campo dagli stessi chirurghi e medici: lo sviluppo dei biomateriali è legato alla storia dello sviluppo di nuove tecniche curative. Durante e nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale, l'ideazione e lo sviluppo di nuovi materiali, dispositivi e soluzioni realizzative erano appannaggio dei medici e comunque sotto la loro esclusiva guida. Successivamente, allo sviluppo dei biomateriali (e dispositivi) hanno concorso ingegneri, chimici, esperti di materiali, biologi, biochimici e altre figure, tipicamente provenienti da discipline fortemente caratterizzate da una formazione di base connotata su tematiche monodisciplinari.

Lo studio dei biomateriali è stato quindi declinato privilegiando gli aspetti legati al proprio settore di origine: biologi e medici hanno approcciato i biomateriali privilegiando lo studio della biocompatibilità e delle interazioni con i tessuti e l'ambiente biologico; gli ingegneri hanno storicamente privilegiato aspetti strutturali e meccanici; chimici e ingegneri polimeristi i biomateriali polimerici, i metallurgisti e i corrosionisti i materiali metallici. Questo approccio, che in Italia ha dominato fino agli anni '90, ha altresì permesso la nascita e lo sviluppo di scuole, di ottimo livello, ma fondate sulla cultura del proprio settore di origine.

Dall'inizio del 2000, anche in ragione dello sviluppo di tematiche di ricerca legata alla medicina rigenerativa, che fanno propria l'esigenza di connettere lo studio dei

materiali con l'ambito biologico, si è reso sempre più manifesto il bisogno di approcciare lo studio dei materiali connettendo diverse discipline. In questo contesto sono state senz'altro motore le iniziative e scuole offerte a dottorandi e a giovani ricercatori di diversa estrazione e provenienza, finalizzate ad aumentare il grado di conoscenza e di interazione tra diverse discipline. Un primo e importante risultato è stato quello di porre un comune linguaggio, per nulla scontato tra figure formate in settori tradizionalmente distanti: aspetto fondamentale per la ricerca in questo campo.

Oggi un moderno gruppo di ricerca che lavora e produce ricerca nel campo dei biomateriali deve avere competenze varie e differenziate. È necessario coagulare molteplici competenze: relative alla sintesi e alla caratterizzazione dei materiali su 10 ordini di grandezza; riguardanti la comprensione degli aspetti legati all'ambito biologico, quali biologia cellulare, microbiologia, istologia; attinenti alla biochimica e alle



interazioni chimico-biologiche tra materiali e ambiente. Oltre a ciò, per considerare la finalizzazione dei risultati della ricerca all'applicazione, oggi è necessario avere conoscenza e competenze, fin dalle fasi iniziali, degli aspetti relativi alle questioni regolamentari con cui le aziende dovranno obbligatoriamente confrontarsi.

Una specifica difficoltà relativa alla moderna ricerca sui biomateriali, al fine di poter ambire a risultati di grande impatto, è quella di coniugare una elevata specializzazione, necessaria allo studio di temi a complessità crescente, con il coordinamento delle differenti specializzazioni. Il coordinamento delle competenze specialistiche precedentemente citate offre una opportunità e possibilità di svolgere un ruolo importante per il nostro settore.



### ***Il nostro ruolo***

Fatto salvo l'elevato grado di specializzazione che ciascuno di noi possiede, o che può potenzialmente sviluppare, e che può orientare e configurare nello studio dei materiali per applicazioni biomediche, l'anima tecnologica e applicativa che caratterizza il nostro settore può senz'altro essere di vantaggio rispetto alle altre figure operanti o interessate al settore. L'affermarsi dell'approccio traslazionale della ricerca, finalizzata a trasformare risultati della ricerca di base in applicazioni cliniche e in prodotti, per la cura, prevenzione e diagnosi delle patologie, rende ancora più necessario strutturare un'organizzazione in grado di gestire la complessità del sistema. Un grosso vantaggio che il nostro specifico settore ha rispetto ad altri è quello di meglio comprendere, e, in taluni casi, di sapere gestire i processi industriali per indirizzare i risultati della ricerca all'applicazione clinica. Questo è senz'altro un fattore strategico su cui puntare e lavorare.

Un ulteriore fattore riguarda la didattica erogata nelle diverse Università Italiane nell'ambito dei Biomateriali. Insegnamenti di Biomateriali sono tipicamente offerti nei corsi di studi in Ingegneria Biomedica, nella laurea triennale e in alcuni indirizzi della laurea magistrale. I due settori maggiormente coinvolti nell'erogazione degli insegnamenti sono il nostro e quello della "Bioingegneria Industriale", mentre settori quali "Fondamenti Chimici delle Tecnologie" e "Chimica Generale e Inorganica" hanno ruoli marginali.

In considerazione di tutto ciò il nostro settore e la nostra comunità possono senza dubbio alcuno consolidare un ruolo centrale nel panorama della ricerca nazionale e internazionale riguardante i Biomateriali.

### ***Il futuro dei biomateriali: gli investimenti e i possibili modelli alternativi***

Il consolidamento della disciplina nel campo dei materiali per uso biomedico e la dichiarata vocazione di sviluppo futuro, non possono prescindere dal forte

approccio traslazionale della ricerca in questo settore. La necessità di consolidare le competenze maturate in un percorso che le traduca in prodotti, a valle di una validazione pre-clinica e clinica, è cruciale sia per la finalizzazione degli sforzi fino ad ora espressi sia per i risvolti etici connessi al miglioramento della qualità della vita.

Il concetto di prodotto, soprattutto in campo biomedicale, è molto diverso da quello di innovazione tecnologica. Quest'ultima può esser vista infatti come la soluzione di un problema specifico, mentre il prodotto è ciò che la comunità può utilizzare, e per il quale è disposta a pagare. Nel campo dei biomateriali questo passaggio concettuale implica il confronto con una serie di processi, e competenze, multidisciplinari e gestiti da interlocutori molto diversi, tra i quali l'ingegnere che opera nel settore dei biomateriali esprime un doppio ruolo, di player centrale e di coordinamento dei processi. Sono infatti fondamentali le competenze specifiche in merito alla comprensione della complessa interazione materiale-tessuto, e tutto ciò che ne deriva, ma anche gli aspetti tecnologico applicativi che caratterizzano il nostro settore. Vanno infatti coordinati gli sforzi dei biologi, chimici, fisici, matematici, impegnati sulla parte di design e validazione preclinica, dei clinici e degli informatici, che hanno un ruolo centrale sulla fase di validazione in vivo, ma è anche necessario il coinvolgimento di operatori esterni all'Accademia. In particolare, è necessario il coinvolgimento di Fondi di investimento, anche privati (Seed investors, VCs, Family offices, Angels, ecc.), specializzati nel settore, data la mancanza di finanziamenti pubblici a sostegno di questa fase traslazionale.

I Fondi, soprattutto privati, hanno attuato un profondo processo di cambiamento nell'ultimo decennio anche nel nostro Paese, passando da un approccio generalista iniziale ad uno molto più specializzato negli ultimi anni, iniziando a guardare ai biomateriali come il core dell'investimento e non più una declinazione di un settore più ampio. Tale specializzazione è fondamentale, sul lato finanza, per poter affrontare tale percorso traslazionale ad alto profilo di rischio senza perdere il

commitment alla prima failure, peraltro piuttosto probabile soprattutto nelle fasi iniziali. D'altra parte, la comunità scientifica di riferimento dovrà rivedere, e in parte lo sta già facendo, i modelli di sviluppo della tecnologia per arrivare al prodotto in compliance con le esigenze dei partner finanziari.

Questo significa gestire:

- a) il complesso binomio pubblicazioni/brevetti (grazie ad alcuni strumenti molto flessibili adattabili a questi ultimi);
- b) la discrasia generata dalla disponibilità di soluzioni sempre più complesse in termini di materiali e processi e l'esigenza di soluzioni a basso impatto su tempi (processi autorizzativi e normativi) e conseguenti costi di sviluppo/prodotto;
- c) l'innata pulsione del ricercatore ad approfondire il potenziale della applicazione di partenza della propria piattaforma tecnologica e l'esigenza di trasformarla in un prodotto che può essere anche radicalmente diverso;
- d) la necessità di segregare risultati e processi in entità a spiccata propensione imprenditoriale e il rapporto di queste ultime con le esigenze della strutturale pluralità dell'Ente Pubblico e dello sviluppo scientifico in generale.

Abituarsi a gestire le apparenti dicotomie sopra proposte non significa scegliere tra fare scienza e fare impresa. Assecondare la pubblicazione ai tempi di un brevetto può garantire le fondamenta necessarie a pubblicare lavori più strutturati; semplificare un trovato può consentirne una più rapida traslazione in vivo, dove ulteriori complessità possono essere affrontate e gestite con una levatura scientifica altrettanto elevata; individuare la cosiddetta "killer application" di una tecnologia, ovvero quella per la quale il mercato è recettivo, implica approfondimenti scientifici rilevanti e apre spesso a nuovi ambiti di investigazione che prescindono da aspetti finanziari o di marketing; operare a supporto di una

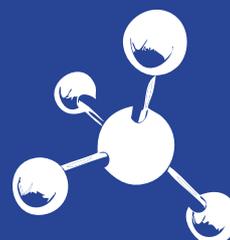
iniziativa imprenditoriale ad alto contenuto scientifico non richiede necessariamente una scelta tra ricerca ed impresa, e il passaggio dall'Accademia all'impresa non può, e non deve più esser visto, soprattutto in questo settore, come unilaterale.

Va infine osservato come le recenti scelte delle principali multinazionali farmaceutiche di non investire più in farmaci prima del completamento degli studi di fase II, le opportunità offerte ad esempio dalle recenti scoperte

sulla rimodellazione del microbiota intestinale (guidato da cibi e materiali specifici) come strumento per la gestione di diverse patologie invalidanti, le opportunità proposte dai sistemi organ on chip per ridurre costi e tempi della validazione preclinica, lo sviluppo dei moderni approcci di ingegneria tissutale per la rigenerazione di tessuti ed organi, siano solo alcuni esempi di un ampio panorama di processi in cui il biomateriale gioca un ruolo centrale e i processi traslazionali sopra descritti rivestono un ruolo cruciale e imprescindibile.

# IL RUOLO DELLE GRANDI INFRASTRUTTURE DI RICERCA

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

# Il ruolo delle grandi infrastrutture di ricerca

Edoardo Bemporad  
Gianluca Cicala

La attività di ricerca cosiddette “Capital Intensive” hanno la necessità di poter accedere a strumentazione scientifica molto sofisticata, che quasi sempre ha un TCO (Total Cost of Ownership) molto alto. Nel campo della Scienza e Tecnologia dei Materiali di interesse per l'ingegneria, sono anche molteplici le tecniche di investigazione, le attrezzature, gli impianti e le tipologie di banchi di prova comunque necessari per una ricerca efficace i cui costi, non solo come investimento ma anche come personale e funzionamento, sono sempre molto elevati.

Tali attività di ricerca trovano nelle grandi infrastrutture di ricerca il luogo ideale, sia per dimensione e tipologia di strumentazione sia in ottica di ottimizzazione dei costi gestionali della ricerca, per la loro realizzazione.

Infatti, seppur risulta possibile investire (sporadicamente) in attrezzature rilevanti da parte di singoli gruppi di ricerca, eventualmente sfruttando qualche occasionale incentivo pubblico, è solo all'interno di grandi infrastrutture di ricerca che i costi di funzionamento e la continuità di servizio e competenze può essere garantita, rendendo così quegli investimenti sostenibili. Inoltre, in

larga misura, la specializzazione richiesta per l'utilizzo di grandi attrezzature richiede la formazione di personale dedicato che dovrebbe essere incardinato presso le grandi infrastrutture, a servizio di tutti gli utenti.

La disponibilità di queste infrastrutture di ricerca, nonché della capacità di utilizzarle allo stato dell'arte, è una condizione necessaria per realizzare progetti di ricerca competitivi e di qualità. Ma è anche indispensabile concepire queste infrastrutture in modo sostenibile, seguendo una politica che garantisca il ritorno degli investimenti e la loro funzionalità nel tempo, sfruttando appieno l'opportunità di essere anche luoghi nei quali si possa depositare la conoscenza e la capacità di fare scienza e tecnologia, anche a beneficio dell'indispensabile e inevitabile ricambio generazionale.

La capacità di acquisire conoscenza e competenza tramite ricerca di qualità ha numerosi benefici come l'attrattività in termini di studenti, di ricercatori e di partner privati, anche grazie al ritorno di immagine e ai riconoscimenti da parte della comunità scientifica (a livello globale) e della società (a livello locale).



Inutile ricordare inoltre come oramai non solo il reclutamento ma anche la ripartizione delle (poche) risorse si basa sempre più pesantemente sulla valutazione dei cosiddetti indicatori bibliometrici (VQR, ASN, H index, citation index, ...). In tale ottica, la presenza di infrastrutture trasversali con competenze complementari è una sicura potenzialità volta a creare reti di conoscenza che possono costituire un catalizzatore ad un innalzamento quantitativo e qualitativo delle medie pubblicistiche dei singoli gruppi di ricerca. In tal senso l'associazione AIMAT è già una realtà consolidata attraverso le attività istituzionali di convegni e scuole che, negli anni, hanno consentito di potenziare gli scambi e le sinergie tra gruppi di ricerca attivi nel settore della Scienza e Tecnologia dei Materiali con specializzazioni diverse.

Che sia ricerca di base o applicata, con partner accademici o industriali, proposta in ambito nazionale o internazionale, il livello di competizione è oramai tale da non poter prescindere dall'aver l'accesso a tali risorse da parte soprattutto di comunità di ricerca accademiche che tipicamente possono contare su risorse economiche limitate e discontinue.

Può essere utile analizzare ad esempio come le attività di ricerca, le strategie e gli investimenti sono cambiati negli Atenei italiani. L'evoluzione del ruolo della ricerca all'interno degli Atenei è evidente: un tempo essa poteva essere svolta in modalità quasi completamente curiosity driven anche sulla base di risorse reperite esclusivamente all'interno degli Atenei e le attività in

collaborazione con il tessuto produttivo rappresentavano una parte residuale e solitamente non considerata come ricerca (lo spesso mal digerito conto terzi). Adesso tale strada è semplicemente non percorribile: per qualunque tema di ricerca che preveda una seria indagine scientifica di frontiera, i costi sono talmente elevati e i fondi degli Atenei talmente ridotti che ricorrere a finanziamenti esterni (siano essi di origine UE, MIUR, Enti di ricerca o altro) e collegarsi a reti di ricerca per fare massa critica è imprescindibile. Non solo: anche le branche della conoscenza più vicine alle discipline umanistiche hanno sempre più necessità di infrastrutture tipicamente scientifico-tecnologiche (basti pensare come esempi allo studio di materiali nell'architettura, allo studio del loro degrado nelle scienze della conservazione e del restauro o alla ICT per il patrimonio culturale e la fusione tra l'informatica e le conoscenze sul comportamento dei materiali).

Specialmente nel caso della Scienza e Tecnologia dei Materiali, gli oneri di acquisizione degli strumenti (spesso dell'ordine dei M€ per strumento) e di manutenzione e funzionamento (anche dell'ordine delle decine/centinaia di k€/anno per strumento), non sono sostenibili da parte di singoli dipartimenti o addirittura singoli gruppi di ricerca; senza contare che spesso i loro utilizzi esclusivi ne mortificano le potenzialità di ricerca che queste potrebbero esibire con un impiego full-time e ad ampio spettro. È quindi prassi comune in Europa e nel mondo che facilities per la ricerca sui materiali di significativo impegno economico siano presenti in un Ateneo





all'interno di laboratori strutturati per essere condivisi, messi a disposizione anche al di fuori dell'utenza locale, con modalità opportune, prevedendo una quota parte del tempo e delle risorse da destinare ad attività economiche (si veda ad esempio <http://www.nffa.eu> oppure <http://www.kit.edu/knmf>).

Una soluzione fattibile per gruppi di dimensioni medio piccole che intendano entrare nella logica delle infrastrutture di ricerca, ma non sono in grado di sostenere l'onere economico di tutte le risorse necessarie a coprire l'ampio spettro di tecniche oramai necessarie, è quella di focalizzarsi su competenze e tecniche verticali da mettere a disposizione in una rete, così da poter accedere in modo paritetico a strumenti e conoscenze possedute da altre realtà equivalenti o complementari, in condizioni di sinergia, secondo le logiche delle Research Infrastructures indicate nelle guide ESFRI, <https://ec.europa.eu/research/infrastructures>.

Tali infrastrutture sono quasi ovunque articolate quindi in nodi, a causa della vasta conoscenza necessaria o della numerosità dell'utenza.

Contrariamente alle aggregazioni spontanee o alle collaborazioni destrutturate con le quali si conducono i progetti di ricerca, la partecipazione alle infrastrutture di ricerca si basa però su logiche più rigorose e su una serie di regole, metodi e prassi che devono essere accettate e scalate ai singoli potenziali nodi di tali reti. Quando queste vengono gestite in armonia con le oramai consolidate regole comunitarie e supportate da personale di

livello adeguato con un orizzonte temporale di impegno sufficientemente ampio (cioè RTD-A o tecnici laureati a TI), tali infrastrutture riescono a mantenersi ai necessari livelli di eccellenza in modo autonomo e possono avere ritorni economici e bilanci positivi.

In queste condizioni questi laboratori trovano la stabilità necessaria per uno sviluppo armonico su un arco temporale ampio e consentono di sedimentare quella conoscenza intersettoriale che è un aspetto imprescindibile per il loro utilizzo efficace.

In ambito nazionale, a livello di misure PON e POR relative alla programmazione 2007-2014, sono stati attivati diversi bandi specifici volti al potenziamento strutturale (PON02; PON03, etc). Questi canali di finanziamento sono stati rivolti sia alle Università che agli Enti di Ricerca secondo la logica dell'aggregazione autonoma dal basso. I fondi investiti sulle misure PON03, specifiche sul rafforzamento strutturale, sono stati ingenti con un costo complessivo dei 50 progetti finanziati pari a 715.855.709,10 € e progetti di taglia media tra i 10-20 M€. I progetti hanno riguardato sia il rafforzamento infrastrutturale che di strutture di ricerca in senso proprio (cioè attrezzature e formazione avanzata). I gruppi di ricerca dell'AIMAT attivi nelle singole sedi hanno avuto spesso ruoli rilevanti nella stesura di tali progetti e nella strutturazione delle infrastrutture stesse. L'analisi delle strutture attivate nell'ambito di tali progetti ha evidenziato potenzialità e criticità riassunti nell'analisi SWOT riportata nella pagina successiva.

### Punti di forza

- Finanziamenti ingenti concentrati e focalizzati in determinate iniziative utili per la fase di primo avvio.
- Finanziate anche tematiche trasversali a diversi ambiti scientifici con aggregazioni settoriali utili per la ricerca.

### Punti di debolezza

- Finanziamento limitato nel tempo e non mirato a supportare una fase estesa (es. 5 anni) di funzionamento operativo della struttura.
- In taluni casi si è operata la costruzione dell'infrastruttura con la logica di contenitore di esigenze scientifiche diverse non articolando la proposta su reali sinergie interdisciplinari.
- Strategie di Marketing non sempre efficaci e destrutturate.

### Opportunità

- Strutture con alcune caratteristiche delle IR avviate e non ancora censite e/o riconosciute.
- Possibilità di sfruttare nell'ambito di finanziamenti futuri strutture già avviate con la possibilità di beneficiare dell'investimento iniziale per uno sviluppo avanzato e armonico.

### Criticità

- Strutture di governance e gestionali variegate e non sempre conformi agli standard europei delle IR.
- Carezza di personale tecnico dedicato sul medio-lungo termine essendo stato questo per lo più da inquadrato nelle programmazioni di personale delle Università o degli Enti.
- Politiche per l'accesso alle strutture non chiare o, per lo meno, non open access.

A valle di questa analisi sulla gestione di finanziamenti recenti in ambito nazionale, c'è anche da notare come il finanziamento comunitario relativamente alle infrastrutture di ricerca sia oramai completamente rivolto a realtà riconosciute e in qualche modo elette a ricevere sostegno dalla Commissione stessa. E tale politica non può poi non riflettersi in cascata su quelle dei paesi membri; a titolo di esempio si può infatti citare una iniziativa promossa dal MIUR nell'ambito della programmazione PON 14-20 con l'Avviso per la concessione di finanziamenti finalizzati al potenziamento di infrastrutture di ricerca, pubblicato dal MIUR con il Decreto Direttoriale n. 424 del 28 febbraio 2018 <http://www.miur.gov.it/-/pon-ricerca-e-innovazione-2014-2020-avviso-per-la-concessione-di-finanziamenti-finalizzati-al-potenziamento-di-infrastrutture-di-ricerca>. In particolare, l'Avviso prevede il finanziamento di progetti finalizzati al potenziamento delle infrastrutture di ricerca già individuate dal MIUR come prioritarie nel PNIR<sup>1</sup> 2014-2020 (<http://www.ponrec.it/media/388972/pnir.pdf>) e ammissibili per l'accesso ai fondi del PON 2014-2020<sup>2</sup>.

Si tratta delle infrastrutture di ricerca funzionali all'implementazione di progetti che risultino rispondenti

ad uno o più ambiti ESFRI<sup>3</sup> e che risultino, altresì, di notevole impatto sulle traiettorie della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente, con la capacità di garantire l'autosostentamento nel medio e lungo termine ed attivare interventi nelle regioni meno sviluppate o in transizione. È interessante rilevare come delle strutture censite nel PNIR solo alcune di quelle finanziate sui PON siano state considerate come IR in accordo alla normativa europea. Su 200 IR mappate nel PNIR2017 solo 97 sono state ritenute coerenti con i criteri UE e, successivamente, solo 56 prioritarie e quindi destinatarie di bandi di finanziamento riservati. Questa osservazione evidenzia l'opportunità di essere attivi in IR costituite ma, d'altro canto, la non ottimale strutturazione di alcune IR pur finanziate in avvio sulle misure PON e POR. A tal proposito, è utile rilevare che il



documento PNIR ha individuato IR segnalate dalle Regioni per le quali nel documento si “auspica” una concentrazione dei fondi regionali con la prospettiva di inserimento futuro di queste IR tra quelle ritenute prioritarie.

Da una indagine effettuata dalla CRUI<sup>4</sup> e pubblicata nel novembre del 2017, risulta che diversi atenei nazionali sono coinvolti a vario titolo in queste infrastrutture (<https://www.cru.it/archivio-notizie/la-partecipazione-degli-atenei-alle-infrastrutture-di-ricerca-2017.html>) ma la sensazione è che tali collaborazioni partano da spunti locali o personali, senza una reale messa a sistema delle opportunità di collaborazione possibili a livello delle comunità scientifiche nazionali (sia per l'accesso che per la condivisione di competenze).

Gli Atenei (o Enti di ricerca) che ospitano un nodo di queste infrastrutture sono infatti in grado di proporre tali strutture in ogni call di progetti che sia pertinente aumentando le possibilità di partecipazione e la probabilità di successo, mentre i singoli ricercatori possono ambire a progetti di ricerca di ampio respiro potendosi allo stesso tempo inserire nei circuiti internazionali dell'eccellenza della ricerca. Le aziende ad alto contenuto tecnologico possono contare su servizi altamente qualificati forniti all'interno di un circuito protetto (la rete che costituisce l'insieme delle infrastrutture locali) in grado di offrire soluzioni integrate.

Tali configurazioni permettono inoltre ai singoli nodi di fare una pianificazione delle risorse più strategica e meno contingente, così da supportare maggiormente quelle attività di ricerca di base o esplorative che, pur risultando assolutamente fondamentali per il progresso della conoscenza, per loro natura trovano più difficilmente un supporto economico diretto dal mercato esterno ovvero possono godere di fonti di finanziamento molto discontinue.

Il ruolo di AIMAT rispetto alla realtà delle infrastrutture di ricerca in Italia può essere fondamentale in quanto in AIMAT sono presenti:

- Un ampio spettro di competenze su materiali e tecnologie diverse;
- Una comprovata attitudine al trasferimento tecnologico dalla ricerca alle applicazioni;
- Un costante abbinamento della ricerca con la didattica e il training;
- Rapporti consolidati con infrastrutture di ricerca a livello Nazionale ed Europeo;
- Un approccio nativo ai materiali multiscala e multi-messenger;
- Rapporti consolidati e strutturati sia con le PMI sia con le grandi aziende sul territorio nazionale;
- Un ampio patrimonio di risorse strumentali di livello elevato ed alta specializzazione.

Il contributo di AIMAT può esplicitarsi su tre linee:

1. Armonizzazione: favorendo la diffusione di un linguaggio comune, di metodi, procedure e pratiche oramai consolidate a livello comunitario per incentivare lo scambio di risorse e conoscenze rispetto alla scienza e tecnologia dei materiali.
2. Integrazione: della infrastruttura diffusa di AIMAT, che è già realtà, con le IR nazionali ed europee riconosciute, veicolando da e per le attuali IR specifiche esigenze dei ricercatori della sua comunità e le competenze di punta esistenti che possono essere proposte a platee più ampie.
3. Sostenibilità: agendo da catalizzatore di iniziative volte ad individuare coperture finanziarie, attivando sinergie tra il personale e garantendo il flusso di interessi scientifici e industriali per rendere le IR sostenibili.

AIMAT, in conclusione, può avere un ruolo strategico di indirizzo e veicolo per potenziare ed integrare la didattica, la ricerca e il trasferimento tecnologico nell'ambito della Scienza e Tecnologia dei Materiali.

1\_Programma Nazionale per le Infrastrutture di Ricerca

2\_Programma Operativo Nazionale RICERCA E INNOVAZIONE 2014-2020

3\_European Strategy Forum on Research Infrastructures

4\_Conferenza dei Rettori delle Università italiane





**PRESIDENTE Prof.ssa Laura Montanaro**

**SEGRETARIO/TESORIERE Prof.ssa MariaPia Pedferri**

**[www.aimat.net](http://www.aimat.net)**

**CONSIGLIO DIRETTIVO**

**Prof. Edoardo Bemporad**

**Prof.ssa Federica Bondioli**

**Prof. Gianluca Cicala**

**Prof. Raffaele Cioffi**

**Prof. Francesco Paolo La Mantia**

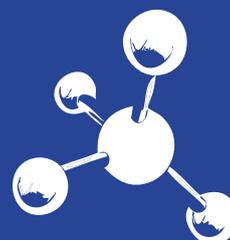
**Prof. Tiziano Manfredini**

**Prof.ssa Laura Montanaro**

**Prof. Michele Notarnicola**

**Prof.ssa MariaPia Pedferri**

# AIMAT



ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI