

## *Ingegneria tra ricerca e innovazione*

Le nuove tecnologie e le correlate discipline scientifiche, in genere, sono caratterizzate da una crescita che inizialmente procede a velocità crescente, e poi rallenta e si appiana col sopraggiungere della maturazione della tecnologia del processo/prodotto o la saturazione del mercato. Le varie discipline di ingegneria, in quanto discipline scientifiche transazionali, sono contraddistinte da questa evoluzione. Per evitare che si appiattiscano perdendo vitalità e risonanza è necessario riconoscere il sopraggiungere della fase di appiattimento e promuovere qualcosa che riporti in vita la disciplina, con un cambiamento effettivo e sostanziale o un cambio di enfasi, direzione e approccio. In questo intervento si è scelto di descrivere l'ingegneria chimica, quale esempio emblematico di disciplina contraddistinta da questo tipo di evoluzione e da innovazioni che l'hanno vivacizzata.

L'ingegneria chimica accademica italiana, nata ed affermata largamente verso la metà del secolo scorso, attraverso oggi una fase di intensa analisi critica. In ambito universitario gli ingegneri chimici hanno indirizzato i loro sforzi alla ricerca scientifica di base, dedicandosi soprattutto a formulazioni di teorie non lineari ed equazioni costitutive della termodinamica e della meccanica, trascurando spesso la rilevanza di questi studi sul sistema produttivo.

Questo ha portato ad un allontanamento della ricerca accademica dalla realtà industriale. L'ingegnere chimico, grazie alla capacità speculativa nella ricerca di base e alla profonda comprensione fenomenologica delle fasi costitutive di un processo produttivo, ha di fatto un'elevata potenzialità di impatto sulla realtà industriale.

Lo sviluppo delle nuove tecnologie e delle correlate discipline scientifiche ha, in genere, un andamento sigmoideale: dopo una incubazione lenta, dovuta all'insorgere e concorrere di particolari eventi e spunti, procede, poi, ad una velocità crescente e, infine, rallenta e si appiana col sopraggiungere della maturazione della tecnologia del processo/prodotto o la saturazione del mercato. L'ingegneria chimica e biomedica, le biotecnologie e le nanotecnologie stanno dando un esempio di come la saturazione o esaurimento di una disciplina sia accaduta, accade o potrebbe accadere se non viene posta un'adeguata attenzione. L'ingegnere chimico dovrebbe, quindi, adeguarsi alla realtà evolutiva dell'innovazione tecnologica e da un lato contribuire alla risoluzione dei problemi complessi, soprattutto in quei settori in rapida evoluzione, estendendo le sue competenze ad altre discipline, come la biologia e la fisica, e collaborando con altri scienziati (biologi, medici, fisici, ingegneri meccanici ed

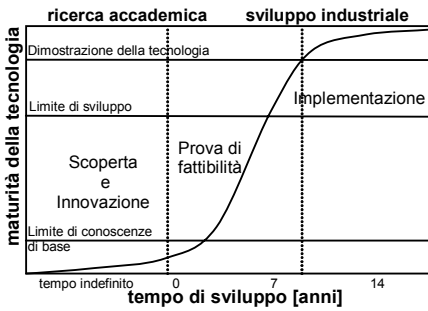


Fig. 1 – Evoluzione di una nuova tecnologia.

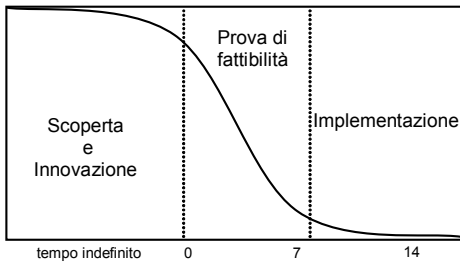


Fig. 2 – Andamento dell'incidenza della ricerca accademica alla nascita e allo sviluppo di una nuova tecnologia

elettrici), al fine di raggiungere e offrire una sempre nuova peculiare competenza tecnica pluridisciplinare, dall'altro individuare quali nuove tecnologie e progressi tecnologici possono scaturire dall'avanzamento della ricerca di base implementando in altre discipline il *know-how* raggiunto in tematiche classiche quali termodinamica, reologia e meccanica statistica e fenomeni di trasporto.

Se si osserva la crescita di una qualsiasi nuova tecnologia si delinea, quindi, una curva a S del tipo in Fig.1, rispetto alla quale il contributo della ri-

cerca accademica è caratterizzato da un andamento opposto del tipo in Fig.2.

Le tecnologie, affinché continuino ad avere nuovi spunti dalle correlate aree marginali e non si appiattiscano o addirittura scompaiano, hanno bisogno dell'introduzione di una nuova conoscenza da altre discipline; i nuovi campi, infatti, sono il risultato del formale concorrere di molte discipline nel focalizzarsi su un comune problema, traguardo od opportunità.

Questo fenomeno accade lentamente all'inizio, in quanto solo pochi si rendono conto dell'opportunità, poi sempre più velocemente quando sono in molti ad inserirsi, ma una volta che la disciplina è matura, confidando solo sulle competenze classiche della disciplina per sostenere la crescita, questa rallenta, eventualmente fino a scomparire.

Il contributo maggiore che la ricerca accademica, in particolare di ingegneria chimica, può dare è proprio quello di favorire e ravvisare la nascita di una nuova tecnologia o disciplina tecnologica, facendo perno sulle proprie peculiari competenze di base e il continuo approfondimento teorico che la caratterizza.

La preoccupazione odierna è che la vita di una tecnologia o disciplina tecnica sembra diventare sempre più breve con l'avanzare, sempre più veloce, della tecnologia; l'ingegneria chimica, le biotecnologie e ingegneria biomedica, e le nanotecnologie sono esempi eclatanti della questione e preoccupazione descritta.

### *La trasformazione dell'ingegneria chimica*

L'ingegneria chimica è divenuta una disciplina indipendente dalle altre all'inizio del secolo scorso, precisamente comparve nel periodo 1905-1910 ed emerse chiaramente soltanto negli anni '20, quando numerosi importanti problemi connessi con l'ingegneria dei processi chimici risultavano ancora quasi completamente irrisolti. La società di allora era in continuo sviluppo e diveniva sempre più esigente, occorreva pertanto mettere a punto numerosi processi tra cui quelli che avrebbero consentito la produzione industriale di bevande ed alimenti preconfezionati, di fertilizzanti ed altre sostanze chimiche per l'agricoltura, di carburanti per autoveicoli, treni ed aeroplani, di medicinali, di materiali sintetici e di molte altre tipologie di prodotti. Questi prodotti chimici richiedevano schemi di processo basati su reazioni chimiche, ma da effettuarsi su una scala completamente nuova e i chimici, pur conoscendo approfonditamente i vari aspetti relativi alle reazioni chimiche coinvolte, non avevano le competenze per la realizzazione di impianti capaci di condurre e controllare le reazioni *on large scale*. La necessità di realizzare questi impianti ha richiesto la collaborazione di diverse culture nell'ambito delle ingegnerie: ingegneri civili furono coinvolti nella progettazione di reattori e impianti chimici che fossero sicuri ed adeguati; agli ingegneri meccanici il compito di progettare pompe, valvole, tubi, scambiatori di calore, ecc.; gli ingegneri dei

materiali, che in verità a quel tempo si identificavano semplicemente con i metallurgisti, realizzarono, invece, speciali acciai e altri tipi di leghe metalliche che resistessero bene alla corrosione e alle sostanze aggressive; agli ingegneri elettronici fu affidato il compito di realizzare tutti i sistemi per il monitoraggio ed il controllo dei processi; infine, ai chimici venne richiesto di ottimizzare per la nuova scala ora coinvolta tutte le reazioni chimiche necessarie. Dopo pochi anni nacque un nuova figura professionale, l'ingegnere chimico, rappresentata da persone che avevano appreso come combinare insieme le conoscenze indispensabili per condurre su ampia scala i processi chimici, persone che avevano nozioni di chimica di base, di cinetica chimica, di trasporto di massa e di calore, di reattoristica e di sistemi per il controllo dei processi. In poco tempo, spronata dalle vicissitudini belliche del periodo e sostenuta dalla voglia di nuovi prodotti grazie alla prosperità del dopoguerra, questa disciplina andò notevolmente accrescendosi, durante gli anni '50, '60, '70, ed anche il primo periodo degli anni dell'80; poi, per le pressioni economiche che seguirono e l'assestamento che inevitabilmente si osserva per qualunque disciplina al sopraggiungere di quella fase detta di maturità, combinata pure ad una crescita molto più lenta dell'economia, l'ingegneria chimica andò gradualmente verso il declino. Neppure le nuove raffinerie di petrolio, le più severe regolamentazioni sui farmaci, e la necessità di maggiori controlli sui pro-

dotti importati, pur favorendo ulteriori sviluppi del settore, in quanto comportavano nuovi stimoli ed argomenti di studio per gli ingeneri chimici, riuscirono ad arrestare questo graduale declino. L'incidenza della ricerca accademica nell'ottimizzazione di un processo produttivo è, difatti, sempre minore con il consolidarsi della metodologia applicata, per cui si riduce fino a scomparire il contributo che ad essa può fornire.

Oggi, l'ingegneria chimica è arrivata al punto di dover fare una scelta fondamentale: deve in pratica decidere se accettare il proprio status di disciplina ormai assestata, rassegnandosi per il futuro ad essere una scienza praticamente acquisita che non necessita che di pochi, limitati sviluppi ed approfondimenti, o deve modificarsi sostanzialmente, intraprendendo nuove strade tra cui ad esempio quella di fondersi con le biotecnologie in modo da trarre da questo connubio un profondo rinnovato vigore. La biochimica, la biocatalisi, le tecniche di bioseparazione, ecc. possono rappresentare la strada per il rinnovamento ed il risorgere dell'ingegneria chimica, ciò però non deve corrispondere alla semplice parziale infusione di alcuni temi delle biotecnologie nell'ingegneria chimica, ma deve consistere in un radicale cambiamento, basato sul continuo sostegno da parte di queste nuove tecnologie, appartenenti ad un settore disciplinare profondamente diverso. Questo radicale cambiamento ed arricchimento dell'ingegneria chimica e la continua individuazione delle discipline affini, nelle quali il contributo del-

l'ingegneria chimica ha un incidenza tale da portare alla nascita e lo sviluppo di una nuova tecnologia o disciplina, sono alla base di una efficace strategia per rilanciarne il suo ruolo; l'intima fusione con le biotecnologie potrà offrire a questo ormai assestato settore della ricerca quell'abbondante apporto di linfa vitale di cui ha bisogno.

#### *La tendenza dell'ingegneria biomedica*

I primi diplomi di laurea completamente dedicati all'ingegneria ed alle tecnologie biomediche sono comparsi negli Stati Uniti agli inizi degli anni '60, quando la corsa alla conquista dello spazio aveva risvegliato in America l'interesse per tutte le discipline scientifiche, le quali vivevano così un momento di profondo rinnovamento. In questo contesto una piccola comunità di scienziati si accorse della necessità di fondere insieme biologia, medicina ed ingegneria al fine di poter lavorare alla soluzione di complessi problemi riguardanti la diagnostica medica, gli impianti chirurgici, la medicina protesica ed anche taluni aspetti dell'ergometria. A quel tempo c'erano solo biologi e medici con vari problemi ed ingegneri con possibili soluzioni; ad esempio ingegneri elettrici, con *know-how* nel campo della sensoristica e dei metodi di analisi ed elaborazione dei segnali (es. immagini), ingegneri meccanici, che ben conoscevano molti dei segreti della meccanica e della robotica, ed ingegneri dei materiali, che sapevano esattamente da cosa dipendeva la biocompatibilità di un materiale. Per più di un ventennio que-

sti professionisti condivisero il nobile compito di risolvere problemi altamente multidisciplinari, utilizzando competenze ed attitudini sviluppate indipendentemente nei loro vari settori di ricerca ed, in verità, le cose vanno ancora oggi così, visto che tutt'ora pochissimi sono i dipartimenti universitari impegnati nell'ingegneria biomedica ad aver attivato lauree specifiche. La maggior parte degli scienziati che lavorano in campo biomedico continuano ad avere formazioni di base differenti, vale a dire di ingegneria elettronica, di ingegneria meccanica, di ingegneria dei materiali, di biologia, di medicina, ecc., ma riescono a fondere insieme in una perfetta simbiosi i loro interessi fino a concretizzarli col raggiungimento di obiettivi comuni.

Impressionanti sono i progressi che ci sono stati nell'ingegneria e nella tecnologia biomedica negli anni '90 e potrebbero risultare ancor più strabilianti quelli che ci riserva il prossimo futuro. Questo però è stato possibile ed è ancora molto promettente perché la ricerca accademica si è rivolta a sempre nuove problematiche, abbandonando via via quelle ormai sature; è, infatti, oramai conclusa l'era dei *pacemaker*, mentre la ricostruzione *in vitro* o *ex vivo* di un tessuto è ancora lontana dall'essere frutto di un processo industriale. Quindi per osservare l'atteso sviluppo dell'ingegneria tessutale e dell'ingegneria genetica, oltre ovviamente agli ulteriori significativi progressi nei settori della diagnostica clinica non invasiva e della medicina protesica, l'ingegneria e la tec-

nologia biomedica dovranno riuscire a drenare al loro interno idee, scoperte e nuovi sviluppi compiuti da discipline limitrofe, attualmente ancora esterne a questo settore, ma palesemente affini. In altre parole, tutto dipenderà da come si riuscirà a vincere l'arroganza di chi crede di poter affrontare le difficoltà della ricerca in questo importante settore esclusivamente sulla base delle professionalità sviluppate nei propri dipartimenti e nelle proprie industrie. Se non si riuscirà in questo, l'arresto della crescita del settore biomedico, alla stregua di quanto già accaduto per l'ingegneria chimica, sarà inevitabile e l'unica differenza consisterà nell'aver impiegato solo 50 anni, contro i 100 dell'ingegneria chimica, per il raggiungimento di un tale risultato.

#### *Un ulteriore importante esempio: le nanotecnologie*

Le nanotecnologie, vale a dire lo studio e l'applicazione della scienza dei materiali su scala prossima a quella atomica/molecolare, hanno affascinato e conquistato non poche classi professionali, dai rettori delle università agli imprenditori, dagli azionisti, a finanche gli scrittori di romanzi, ma, benché l'interesse per il controllo della struttura submicroscopica dei materiali tradizionali (principalmente metalli e ceramici) abbia per molto tempo attratto l'attenzione e gli sforzi degli ingegneri dei materiali (si pensi ad esempio agli studi piuttosto datati compiuti sui policristalli ceramici con grani di dimensione ultrafine per ottenere caratteristiche di super-

plasticità o di elevato incrudimento del materiale), questi argomenti iniziano ad attrarre l'attenzione di una nuova generazione di scienziati soltanto agli inizi degli anni '90. Questa nuova disciplina, oltre a destare l'ovvia attenzione degli ingegneri dei materiali, ha anche attirato a se l'interesse, l'ingegno ed il coinvolgimento di studiosi di molte altre discipline, tra cui chimici, fisici teorici e sperimentali, ingegneri elettrici ed elettronici, ingegneri meccanici, ecc., tuttavia, si è da subito verificato in questo settore della ricerca, che gli studiosi di nanotecnologie hanno considerato la loro formazione e i loro interessi completamente estranei a quelli degli altri scienziati ed ingegneri dei materiali, e, di conseguenza, questa comunità scientifica si è subito separata da quella dedicata allo studio dei materiali tradizionali (Conferenze, Workshop e tavole rotonde sono state organizzate fin dall'inizio su temi molto specifici e specifiche sono pure le riviste scientifiche preferite). In un solo decennio di attività, tali studiosi si sono convinti di poter fare tutto da soli e subito, prescindendo completamente dai risultati e le conoscenze che giornalmente vengono raggiunti in importanti settori affini ed è facilmente prevedibile che continuando così anche le nanotecnologie siano destinate ad una rapida saturazione ed al conseguente fallimento. Questa scienza, infatti, si è accresciuta molto velocemente ed è quindi priva di quelle solide basi teoriche che ne permettono l'indipendenza, inoltre il suo rapido sviluppo è stato principalmente dovuto al-

l'opportunità che ha avuto un parte della comunità scientifica di sottrarre buona parte dei finanziamenti governativi e privati messi a disposizione per studi in questo nuovo campo. Pertanto, benché non ci sia ancora alcun sentore, una tale posizione rischia di portare in breve tempo (anche meno di un ventennio) questa disciplina alla sua completa saturazione e per evitare un triste epilogo, gli studiosi delle nanotecnologie dovrebbero riconoscere i propri limiti ed evitare di chiudere fuori dal proprio mondo tutte le nuove prospettive, intuizioni, energie e idee provenienti da altre discipline, compiendo il grosso sforzo di integrarsi con tutti gli altri settori affini della ricerca.

Va infine evidenziato come in questo campo ci sono buone probabilità che ci si scopra presto incapaci di portare realmente a compimento le tante aspettative tecnologiche che troppo prematuramente e forse anche sconsideratamente sono state sbandierate senza riserve da molti rappresentanti del settore, in quanto è possibile che molte delle potenzialità preannunciate in questo campo siano solo sogni ad occhi aperti delle tante persone che oggi parlano di nanotecnologia senza tuttavia conoscerla a sufficienza.

### *Conclusioni*

L'ingegneria chimica è stata considerata per quasi un centennio come una delle discipline emergenti di maggiore rilievo, tuttavia col passare del tempo il suo andamento di crescita si è rivelato di tipo sigmoidale, ed oggi questa di-

sciplina per ritornare ad essere vitale come in passato, specialmente in ambito accademico, deve potersi rinvigorire seguendo quegli stessi criteri che un tempo l'avevano condotta al successo, vale a dire incorporare sviluppi provenienti da discipline differenti, ma affini, ed individuare e fornire a discipline attinenti i contributi essenziali alla nascita e allo sviluppo di nuove tecnologie e discipline.

Per quanto riguarda l'ingegneria biomedica, il suo sviluppo potrebbe conservare un buon andamento per i prossimi 40-50 anni, ma poi, anche in questo caso, si osserverà una saturazione della crescita. Questa disciplina è al momento ancora lontana dalla saturazione, ma già sta pervenendo ad una soglia critica e creare la figura dell'ingegnere biomedico potrebbe significare svigorire l'importante potenziale innovativo fin'ora ricevuto dalla sua natura multidisciplinare. In altre parole, per poter continuare a crescere l'ingegneria biomedica deve aumentare e non diminuire la capacità di trarre vantaggio dalle innovazioni che continuamente si verificano nelle singole discipline che le appartengono e soltanto questo riflesso del loro continuo sviluppo potrà mantenere vivo il settore biomedico.

Le nanotecnologie hanno soltanto dieci anni di vita, ma già soffrono un vizio di fondo, la tendenza all'isolamen-

to; di conseguenza sono già a rischio di raggiungere la saturazione in accordo con la ben nota curva di crescita sigmoideale, stabilizzandosi ben al disotto delle loro reali potenzialità, spesso anche sopravvalutate. Anche in questo caso, per potersi opportunamente sviluppare in futuro, le nanotecnologie devono prendere atto dei loro limiti e opportunamente valorizzare tutti i possibili contributi provenienti da discipline affini.

In conclusione, la spiegazione di un andamento sigmoideale osservato per la curva di crescita di ciascun settore disciplinare nel corso della sua evoluzione, sviluppo e maturazione è semplicemente legato alla limitazione delle risorse, vale a dire *al divenire troppo disciplinare (settorializzarsi) della disciplina*. Lo sviluppo di una tecnologia o di una disciplina tecnica può compiersi soltanto come è avvenuta la sua nascita, vale a dire attraverso il confluire di nuove idee, conoscenze e sviluppi provenienti da altre tecnologie e discipline affini, e l'immissione dei propri approcci e competenze in altri ambiti differenti ma attinenti. In altre parole, per il progredire dello sviluppo occorre non porre mai limiti nell'accogliere come nel fornire contributi specifici di discipline diverse, valorizzando le potenzialità che sinergie tra ricercatori di diversa estrazione possono generare.

