

I MATERIALI IN UN EPOCA DI TRANSIZIONE TECNOLOGICA

1) La transizione tecnologica

Stiamo vivendo un momento di particolare turbolenza nel settore dei materiali, messo in evidenza dal linguaggio stesso che spesso viene utilizzato per caratterizzare la situazione tecnico-economica del settore. E' un linguaggio di tipo guerresco: vi sono materiali "nuovi" che partono all'offensiva contro i materiali "vecchi"; questi ultimi resistono o addirittura contrattaccano.

E' tuttavia opportuno inquadrare la turbolenza specifica del settore dei materiali con una più ampia turbolenza che caratterizza l'intero *Sistema Tecnico*.

Sono qui costretto a fare una iniziale digressione perché sia chiaro a tutti di cosa parliamo.

Per *Sistema Tecnico* intendiamo la totalità delle tecniche singole, degli "insiemi" di tecniche singole aggregate per sviluppare processi produttivi particolari; delle "filieri" di tecniche utilizzate per produrre certe classi di prodotto; ed infine i prodotti stessi ed il loro uso.

La storia del Sistema Tecnico mostra che il suo sviluppo - quello che potremmo definire il *progresso tecnico* - ha un comportamento dinamico caratteristico che si riproduce periodicamente :

- vi sono periodi della storia caratterizzati da un *Sistema Tecnico ben definito*;
- intercalati da periodi di transizione;
- verso un nuovo Sistema Tecnico.

Forse si possono distinguere nella storia dell'umanità una decina di *sistemi Tecnici* differenti. E' interessante notare che la metà di essi si sono sviluppati negli ultimi 200 anni, a partire dalla rivoluzione Industriale.

Va detto per inciso che quando si parla di un Sistema Tecnico *ben definito* non si deve intendere un sistema statico in cui non vi è cambiamento tecnologico. L'innovazione è un fatto continuo nella attività dell'uomo. Tuttavia i cambiamenti innovativi debbono essere compatibili con quella che potremmo definire la *struttura del Sistema Tecnico*: l'insieme dei rapporti tra tecniche diverse, insiemi e filiere di tecniche, strumenti principali e materiali utilizzati, vettori energetici, mezzi di trasporto e comunicazione.

Innovazioni radicali possono anche essere concepite in detti periodi: ma il *sistema tecnico* non le accetta ed esse debbono pertanto venire accantonate in attesa di tempi migliori.

La domanda fondamentale che ci dobbiamo ora porre è se il *sistema tecnico* attuale sia caratterizzato da una fase di stabilità o di transizione. Se l'elevata frequenza con cui si usa una parola è indice che essa riflette la realtà, non vi è dubbio che stiamo attraversando un *periodo di transizione*. In ogni caso, detta frequenza riflette uno stato d'animo. C'è da chiedersi, tuttavia, se non vi siano segni più specifici che emergono dall'osservazione del sistema stesso.

In generale, un sistema è in fase di transizione

- se mostra una accresciuta difficoltà a far fronte ai cambiamenti ambientali;
- se le potenzialità di sviluppo sono in saturazione ed il sistema mostra una riduzione di efficienza ed una *complessità* crescente;
- se le fluttuazioni del sistema producono degli effetti di ritorno positivi che amplificano le fluttuazioni stesse portando il sistema a cambiamenti irreversibili.

Esaminando il Sistema Tecnico, in effetti si notano in questi ultimi tempi molteplici segni del tipo sopra indicato

- da una parte le crescenti difficoltà legate ai problemi della salvaguardia ambientale - messa in crisi dallo sviluppo stesso delle attività umane - hanno già portato in alcuni casi ad un vero e proprio blocco dello sviluppo di opzioni tecnologiche (come nel caso nucleare) e richiedono comunque interventi sempre più complessi ed inefficienti;
- d'altra parte è sempre più evidente l'apparire di *fluttuazioni tecnologiche* che tendono a cambiare radicalmente il *sistema tecnico*.

Per quanto riguarda il secondo punto, ci riferiamo in particolare a quelle che si possono definire *tecnologie orizzontali*, in quanto pervadono l'intero sistema tecnico. Appartengono a questa categoria: i materiali, i processi produttivi, i sistemi di comunicazione. In effetti si possono notare cambiamenti tecnologici drastici:

- nei materiali, ad esempio per lo sviluppo dei compositi;
- nei processi di lavorazione, come l'introduzione del laser e dei robots;
- nei processi di informazione, con la diffusione della microelettronica ad alta integrazione e le nuove tecniche di comunicazione a banda larga su fibre ottiche.

Queste novità nelle *tecnologie orizzontali* hanno già prodotto effetti rilevanti su alcuni prodotti d'avanguardia come nel settore aerospaziale (diffusione dell'uso di materiali compositi) e dei computer (diffusione dei "sistemi integrati di fabbricazione" per la loro produzione),

C'è da chiedersi se questa diffusione delle nuove tecnologie orizzontali, queste *fluttuazioni tecnologiche*, siano destinate a diffondersi anche ad altri settori più convenzionali del sistema tecnico e quindi produrre effetti di *ritorno positivo* di amplificazione delle nuove tecnologie (ad esempio la diffusione dei materiali com-

positi nell'aerospaziale in quanto ne riduce i costi di fabbricazione apre la via alla diffusione in prodotti come i veicoli con ulteriore effetto di riduzione costi).

Va aggiunto che tecnologie radicalmente nuove sono apparse recentemente, come l'ingegneria genetica, di cui è ancora difficile prevedere l'impatto nella biotecnologia (sia per il rinnovamento di settori convenzionali, come l'industria della fermentazione, sia per l'apertura di nuovi settori di applicazione).

L'ipotesi che qui facciamo è che noi stiamo attraversando un vero periodo di *transizione tecnologica*. Con questa ipotesi, le turbolenze che tutti osserviamo nei vari settori, ed in particolare in quello dei materiali, assumono un significato particolare, con un impatto nel lungo termine e non vanno viste pertanto in un'ottica congiunturale.

2) Quale Scenario Tecnologico?

Una delle caratteristiche più interessanti di vivere un periodo di transizione è la accresciuta incertezza per quanto concerne il futuro tecnologico. Anche in periodi di relativa stabilità del *sistema tecnico* l'incertezza del futuro è una nota dominante. Tuttavia questa incertezza viene in qualche modo ridotta dal fatto che il progresso tecnico sembra seguire delle *traiettorie tecnologiche* ben definite: le tendenze globali tecnologiche sono assai evidenti e le incertezze riguardano prevalentemente i tempi ed i casi specifici.

Durante la transizione del Sistema Tecnico invece tutte le carte *si rimescolano*, la suddivisione dello stesso *sistema tecnico* in sottosistemi (si pensi ad esempio alla catena del sistema produttivo che dalle materie prime va ai materiali, ai componenti, ai prodotti finiti) si modifica. Sappiamo che un nuovo sistema tecnico emergerà dalla transizione, ma varie sono le alternative possibili ed il futuro dipenderà dalla possibilità che il sistema *tecnico* avrà avuto di sperimentare nuove soluzioni attraverso le fluttuazioni tecnologiche.

La difficoltà o impossibilità di delineare uno *scenario tecnologico* più probabile, non per questo rende impossibile un atteggiamento razionale per l'operatore economico. Il fatto fondamentale della uguale plausibilità di una varietà di scenari possibili, aumenta la rilevanza della strategia - intesa nel senso militare di ripartire le difese su vari punti da cui può provenire l'attacco nemico - nelle decisioni degli operatori economici e dei tecnici.

Occorre stare attenti a non perdere di vista questa caratteristica essenziale della transizione: quella della varietà degli scenari possibili. Infatti il vivere la transizione - cioè il vivere un momento di turbolenza e rimescolamento in cui tutto interagisce con tutto, in cui le separazioni tra sottosistemi diventano incerte - può indurre nell'idea che appunto questa caratteristica di rimescolamento generale sia l'elemento fondamentale dello scenario futuro.

In effetti se ritorniamo al caso specifico dei materiali il momento attuale sembra caratterizzato da una *iperscelta*,¹ nel senso che più materiali concorrono per una stessa applicazione.

Nel passato eravamo abituati a considerare il materiale come dato per una determinata applicazione. La situazione di iperscelta sta cambiando le problematiche generali. Ad esempio, stanno perdendo di importanza i materiali strategici (materiali scarsi come il Ni), e l'utilizzatore è sempre meno capace di riconoscere la bontà di un prodotto attraverso i materiali utilizzati.

Sarà questa della iperscelta dei materiali la caratteristica del nuovo sistema tecnico? Oppure questa è la condizione attuale transitoria tipica della transizione che sperimenta le varie alternative tutte messe sullo stesso piano, prima di passare alle nuove scelte ed alle nuove standardizzazioni?

Il primo caso, la *permanenza dello stato di fluidità*, contraddirebbe tutta l'esperienza passata sia della storia del sistema tecnico, sia di altri sistemi complessi. La transizione - per un sistema complesso dinamico - è un segno della incapacità del sistema di far fronte con la sua struttura passata alla accresciuta complessità dei suoi rapporti con l'ambiente. Nella transizione il sistema sperimenta nuovi modi di ristrutturarsi in sottosistemi che rendano di nuova più semplice la gestione dei rapporti con l'ambiente. Anche se questa ipotesi non è dimostrabile, essa sembra ben adattarsi a vari casi (dalla evoluzione biologica, alla evoluzione delle scienze, al progresso tecnico). Applicando l'ipotesi al Sistema Tecnico, dobbiamo aspettarci che esso emergerà dalla transizione con nuove strutturazioni, con nuove standardizzazioni. Il problema è che non sappiamo quali esse saranno.

A noi interessa qui esaminare il caso del sottosistema materiali. L'esame delle alternative di scenario tecnologico per i materiali può in ogni caso essere utile anche per comprendere più in generale quali siano le alternative per l'intero sistema tecnico.

Cominciamo anzitutto con esaminare l'idea che il settore sia ora caratterizzato dallo sviluppo di materiali nuovi in contrapposizione a materiali vecchi. Prendendo alla lettera il significato delle parole nuovo e vecchio, saremmo portati ad immaginare uno scenario in cui i nuovi materiali finiranno per soppiantare i

1) Si veda la nota a fine testo.

vecchi. Ma questa distinzione va presa con molta cautela in particolare se è vera l'ipotesi della transizione. Infatti durante la transizione il *vecchio* tende a rinnovarsi ed il *nuovo* cerca le sue radici nel passato.

Per capire come sia distorta questa classificazione, prendiamo il caso di un materiale che viene presentato come uno dei prototipi della novità: le ceramiche tecniche.

In realtà le ceramiche sono uno dei più vecchi materiali esistenti. Le nuove ceramiche non ricusano le proprietà che da sempre sono state alla base della utilizzazione di questa classe di materiali (la inerzia chimica e termica), ma cercano di migliorarne le proprietà meccaniche.

Più che parlare di materiali vecchi o nuovi - nel caso delle ceramiche come di altri materiali - sarà bene invece chiedersi se i protagonisti del loro sviluppo industriale saranno gli stessi che operano da tempo nel settore di materiali più convenzionali, o se invece vi saranno dei nuovi protagonisti.

Questo spostamento di attenzione, o meglio l'allargamento dai materiali ai protagonisti dello sviluppo scientifico ed industriale, è fondamentale per cercare di sviluppare una risposta alla domanda sul futuro scenario per i materiali. Infatti il vantaggio tecnologico potenziale intrinseco in materiali più d'avanguardia, non emergerà come traiettoria tecnologica effettiva del *sistema tecnico* futuro, se il sistema produttivo nel suo complesso non riuscirà a portare avanti le eventuali modifiche strutturali ed organizzative necessarie.

Un altro fatto importante da tenere presente è che durante la transizione tecnologica la distinzione tra ricerca di base, ricerca applicata e sviluppo perde molto del suo significato - rassicurante per l'operatore economico - di interporre lunghi intervalli di tempo tra il momento della scoperta scientifica, quella della individuazione delle potenziali applicazioni ed infine quella della lunga e dettagliata verifica prima della industrializzazione. Le ampie fluttuazioni del sistema tecnico, possono sviluppare occasioni di imprenditorialità - ad alto rischio, ma con grande potenzialità di mercato - che spesso i protagonisti consolidatisi da tempo nel settore non fanno o non possono cogliere. Quando si parla ai nostri giorni di una accelerazione del processo innovativo, si usa una espressione impropria per fare riferimento alla accresciuta dinamica imprenditoriale che tenta di sfruttare opportunità di *saltare* dalle frontiere del sapere a quelle del saper fare.

C'è una tendenza, quando si cerca di esplorare il futuro tecnologico, a concentrare la nostra attenzione sulla frontiera del sapere.

Quello che sembra invece caratterizzare il momento attuale nel campo dei materiali - nelle ceramiche come in altre classi di materiali - è una notevole dinamica nella frontiera del saper fare ed un suo avvicinamento alla frontiera del sapere.

Ritornando al caso delle ceramiche tecniche, la loro caratteristica fondamentale (più rilevante di quella pure importante del cambiamento nei materiali di base) è il grande cambiamento nel *saper fare* necessario per la loro utilizzazione per applicazioni termo-meccaniche. Il *saper fare* non è più, almeno in questa fase storica dello sviluppo delle loro applicazioni, ben suddivisibile per specializzazioni, cui corrispondono anche protagonisti imprenditoriali diversi: il *saper-fare* di processo dal *saper-fare* di progettazione. Il nuovo *saper fare* non esclude il vecchio, ma lo ingloba in un contesto molto più ampio, molto più fluido ed in generale molto più complesso e difficile da padroneggiare.

Si potrebbe dire che per padroneggiare il nuovo *saper fare* occorra una *intelligenza tecnica ed imprenditoriale* più elevata.

L'esame della situazione attuale con il contributo che l'ipotesi della transizione ci dà in termini di caratteristiche generali tipiche della dinamica di ogni sistema complesso, ci porta a spostare il nostro problema: non è tanto rilevante porci la domanda di quale sarà la traiettoria *tecnologica* futura - risposta comunque difficile da dare se non in termini di elenco delle alternative - ma di quali saranno i protagonisti del sistema produttivo che sapranno - in questa fase fluida in cui tutto diventa difficile e prima che il sistema tecnico abbia ridotto la complessità attraverso le nuove standardizzazioni in cui il *saper fare* verrà congelato - impadronirsi del nuovo *saper fare*.

Per evitare che il nostro discorso rimanga sul generico, esamineremo più in dettaglio il caso dei materiali ceramici e quello dei compositi.

3) Il caso dei ceramici ingegneristici

Si possono ipotizzare le seguenti alternative per i protagonisti industriali per il campo dei materiali ceramici ingegneristici:

- le esistenti aziende produttrici di ceramiche;
- le aziende produttrici di materiali di base (aziende chimiche e metallurgiche) che adottino una strategia di ampliamento "multi-materiali" delle proprie linee di produzione;
- gli utilizzatori, che riducendo il ruolo dei fornitori a quello di produttori di materie prime standardizzate, tengano per se il ruolo di concezione delle applicazioni e di trasformazione dei materiali di base in componenti.

E' presto per poter predire in quale direzione effettivamente si svilupperà il sistema produttivo. Per ora - ed è questo un altro segno dello stadio di fluidità del sistema tecnico - si notano esempi di tutti e tre i casi:

- in Giappone le aziende del settore sembrano sviluppare una strategia di business orizzontale sviluppando e fornendo ceramici diversi per tutte le più varie applicazioni: dall'elettronica alla motoristica. E' una strategia che richiede ca-

pacità di forte spinta e supporto alle nuove utilizzazioni anche dove più incerte sono le prospettive di effettivo sviluppo del mercato. Attualmente infatti il mercato delle ceramiche tecniche è per più dell'80% per applicazioni elettroniche ed è solo una previsione molta incerta quella che vede al 2000 applicazioni nei settori termo-tecnici tali addirittura da invertire il peso percentuale rispetto all'elettronica;

- in Europa vi sono alcune aziende che sembrano sviluppare strategie "multi-materiali" attraverso acquisizioni (è il caso della Pechiney) o diversificazioni basate sulla ricerca e lo sviluppo interno (è il caso della Bayer);
- in USA ed in Europa gli utilizzatori - in particolare i motoristi - hanno dedicato grandi risorse alla esplorazione delle applicazioni dei nuovi ceramici, spingendosi a monte nel processo innovativo per lo sviluppo di tecniche di produzione e trasformazione dei ceramici, sostituendosi alle aziende fornitrici quando queste non erano pronte a fornire componenti per l'attività di sperimentazione motoristica. Fino a che punto il *know how* così sviluppato potrà spingere le aziende motoristiche a coprire esse stesse parte del ruolo tradizionale dei fornitori? Negli ultimi tempi, grazie anche ad una maggiore attività di supporto di questi ultimi sembra esservi un ritorno a più normali suddivisione di ruoli, anche perché nel frattempo le prospettive di applicazione massiccia dei ceramici nei motori si sono un po' allungate nel tempo.

E' probabile che - se il mercato dei ceramici avrà lo sviluppo di applicazioni nuove previsto in relazione alle interessanti potenzialità di sviluppo del prodotto che la loro applicazione permette di ipotizzare - avverrà un po' delle tre cose a seconda delle decisioni di sviluppo prese e portate avanti in questa fase di transizione.

In ogni caso, chiunque sia che svolga il ruolo principale di fornitore di ceramici ingegneristici, è da aspettarsi che i confini tradizionali tra responsabilità del fornitore e dell'utilizzatore si modifichino, e che si sviluppino ruoli intermedi di trasformatore specializzato: ad esempio un ruolo equivalente ai fornitori di "microfusioni" per leghe speciali.

Abbiamo spostato la discussione da quella sullo scenario tecnologico a quella sui possibili protagonisti. Il pendolo del ragionamento ora torna indietro e ci porta a chiedere come sia possibile parlare di scenario di sviluppo di business se non sono chiare le alternative tecnologiche sull'utilizzazione dei ceramici ingegneristici: nel campo motoristico si può intravedere un ruolo di materiale sostitutivo di quelli attuali (si pensi al concetto di motore adiabatico in cui il ceramico svolga anche funzioni strutturali) o semplicemente ad un ruolo di materiale complementare (ad es. alcuni componenti come le precamere o la testata dei pistoni)?

Forse il ragionamento é entrato qui in un giro vizioso. I ceramici ingegneristici hanno infatti la possibilità potenziale di diventare dei materiali sostitutivi, ma lo sviluppo di questa potenzialità dipende dalla capacità che i protagonisti industriali sappiano acquisire il *saper fare* necessario e dimostrino di essere i protagonisti più adatti per fare emergere dal periodo di transizione la potenzialità dei ceramici come effettivo cambiamento di struttura del sistema produttiva.

Dal caso dei ceramici si può cercare di trarre una prima morale:

- non è tanto la classificazione dei materiali in *vecchi* e *nuovi* e la disputa sulla capacità intrinseca dei primi di invadere il campo o dei secondi a resistere, che ci permetterà di capire quale saranno le tendenze tecnologiche future. Dobbiamo piuttosto concentrare la nostra attenzione su come il sistema produttivo durante la transizione del sistema tecnico saprà sviluppare ed appropriarsi del "saper fare", ritagliando ruoli diversi per i protagonisti vecchi e nuovi;
- il futuro *sistema tecnico* non è noto, ma non è neanche dato. Ad una transizione molto *turbolenta* che esplora varie strade tecnologiche e varie formule organizzative, potranno far seguito soluzioni diverse del *sistema tecnico*, con materiali che giocano ruoli diversi.
- *le turbolenze* del sistema *tecnico* variano anche geograficamente, ed il futuro ruolo dei protagonisti produttivi dipenderà da come nell'area geografica in cui operano essi avranno saputo sperimentare fluttuazioni più importanti e più varie del *sistema tecnico*. Quanto è avvenuto in settori come l'elettronica di consumo ad opera dei giapponesi che hanno praticamente eliminato le capacità concorrenziali di altri paesi, potrebbe anche avvenire nel campo dei materiali;
- i materiali hanno un ruolo importante nel cambiamento del sistema tecnico generale: questo cambiamento sarà tanto più grande, quanto più i materiali con nuove caratteristiche svolgeranno un ruolo di sostituzione e non solo di complementarità per le applicazioni convenzionali. Infatti ciò porterà a riconscepire e a ridisegnare i prodotti ed il processo produttivo.

Il caso dei materiali ceramici contiene poi una morale più specifica per i materiali metallici più convenzionali. Se la potenzialità dei ceramici sta non tanto nel fatto che essi sono dei materiali "nuovi" ma nella possibilità di sviluppare ed acquisire nuovo "saper fare", la stessa problematico vale anche per materiali più convenzionali come gli acciai. Non vi è niente in essi che li condanni a ridurre il loro ruolo per il fatto di essere "vecchi".

In effetti, vista da vicino la crisi degli acciai sembra dovuta ad altre ragioni che non all'obsolescenza tecnica:

- anzitutto va detto che l'acciaio ha visto ridurre il suo mercato (espresso in termini di quantità) non solo o non tanto per la concorrenza di altri materiali, ma in forza delle sue stesse innovazioni che hanno insegnato ad usare gli acciai in modo più efficiente;
- nell'ampliamento del "saper fare" nel campo degli acciai si sono visti protagonisti diversi che (forse più che il cambiamento nelle famiglie dei materiali) hanno messo in gioco il ruolo dei protagonisti convenzionali (le aziende siderurgiche). Si pensi al caso della metallurgia delle polveri con la sua capacità di produrre per via metallurgica componenti vicini *alla forma finale*. Del relativo "saper fare" si sono prevalentemente appropriate aziende di trasformazione. Anche la "vecchia" ghisa si espande a scapito dell'acciaio grazie a sviluppi innovativi portati avanti da aziende di trasformazione.
- anche per gli acciai, o per le leghe in generale, ha assunto rilevanza particolare, per lo sviluppo di *know how*, il ruolo degli utilizzatori. Si veda ad es. il caso del ruolo delle aziende aerospaziali per lo sviluppo delle leghe Al-Li.

Anche per gli acciai, quindi, come per i ceramici, vi sarà un futuro nel nuova Sistema Tecnico che emergerà dalla transizione, futuro che sarà determinato:

- da chi avrà saputo acquisire il "saper fare" nuovo;
- dalla quantità di detto saper fare che sarà stato sviluppato dai vari protagonisti vecchi e nuovi;
- dalla ampiezza delle "fluttuazioni tecnologiche" che essi avranno saputo sollecitare.

4) Il caso dei materiali compositi

Consideriamo ora un'altra classe di materiali presentati come "nuovi": i compositi. In realtà anche i compositi non sono certo una novità. Il materiale più antico, il legno, è un composito. Il cemento armato ha tutte le caratteristiche dei compositi, in particolare ha una caratteristica che segna una differenza fondamentale rispetto ai materiali convenzionali: quella di venir *progettato* assieme al prodotto.

La varietà dei materiali compositi è tuttavia tale che si può passare dall'estremo di materiali *progettati per la funzione* all'altra estremo di materiali a proprietà uniformi. Questa varietà permette di evidenziare tre sottoclassi generali tra i compositi:

- materiale-proprietà: è un materiale omogeneo caratterizzato dalle sue proprietà uniformi microscopiche. E' solo a queste proprietà che il progettista deve fare riferimento nella progettazione;

- materiale-struttura: l'esempio più tipico è dato da un laminato termoplastico, che è un prodotto intermedio punto di partenza per realizzare forme particolari, vincolate tuttavia alla struttura di partenza;
- materiale-funzione: materiale che viene realizzato "in opera" mentre si fabbrica il prodotto partendo da materie prime "semplici".

Le prime due classi sono caratteristiche anche dei metalli (le lamiere per stampaggio, negli acciai, possono venire classificate come materiale-funzione), mentre la terza classe è tipica dei compositi (capostipite ne è il cemento armato).

Le caratteristiche del materiale-proprietà possono essere ottenute mentre si produce il "pezzo" composito dal materiale. Un esempio al riguardo è dato, per i compositi a matrice plastica, dal processo RRIM (Reinforced Reaction Injection Molding): il pezzo che esce dallo stampo ha proprietà uniformi che sono state ottenute per reazione chimica dei materiali componenti durante l'operazione di formatura. Un equivalente nei metalli può essere dato dalla produzione di getti in ghisa nodulare.

In ambedue i casi citati il *know how* è detenuto da uno "specialista" di trasformazione dei materiali. Anzi nel caso del RRIM lo specialista diventa il fornitore del macchinario e dello stampo.

Per i materiali-struttura la standardizzazione in forme intermedie (laminati, vergelle) consente grandi volumi di mercato. Nel caso dell'acciaio le attività produttive sono state verticalizzate con la produzione del materiale di base (siderurgia). Lo stesso sembra valere anche nel campo dei compositi.

In questo caso sono le grandi aziende chimiche ad aver proceduto allo sviluppo del *saper fare* relativo ed alla successiva verticalizzazione produttiva.

Per i materiali-funzione si è invece in una fase del tutto embrionale (ad esclusione ovviamente del cemento armato). L'esplorazione delle possibilità applicative è fatta prevalentemente dal produttore del prodotto finale per la intrinseca correlazione con il progetto. (Si veda ad es. il caso del programma della General Motor per sviluppare strutture di carrozzeria auto in fibra lunga, ottenute avvolgendo con spolette mosse da robot comandati da computer la fibra preimpregnata in modo di formare lo scheletro della struttura).

Nel campo dei metalli vi sono stati dei tentativi di ricorrere alla possibilità di produrre materiale-funzione nella formatura di componenti. Si è trattato per lo più di applicazioni speciali (si veda ad es. il caso di palette turbina a grani orientati).

Anche nel caso dei compositi, come per quello dei ceramici ingegneristici vediamo emergere 'tre diverse figure di protagonisti industriali: l'industria di base che verticalizza a valle, lo specialista dei processi di trasformazione, il sistemista (produttore del prodotto finale).

Il caso dei compositi è ancora più interessante, tuttavia, del caso dei ceramici, perché il processo di transizione è ad uno stadio più avanzato. Malgrado si possa già parlare di consistente diffusione industriale almeno per i materiali-proprietà e per i materiali-struttura, la situazione è ancora molto fluida. Vi è concorrenza tra tutti i tre tipi di materiali per le stesse applicazioni.

Questo significa che il *sistema tecnico* è ancora in fase di sperimentazione prima di fare una "scelta" delle soluzioni più adatte. L'impressione che si ha è che lo scenario futuro dipenderà anche qui da come e da chi, verrà sviluppato il "saper fare" produttivo.

A conferma di quanto affermato, prendiamo il caso automobilistico. Sono in atto *esplorazioni* applicative di tutti e tre le classi di materiali sopra ricordate. Il ruolo dei fornitori e la delimitazione dei rapporti fornitori/cliente cambia nei tre casi. Nel caso di componenti specifici, come la plancia porta strumenti, i ruoli relativi sembrano ormai ben definiti: si è sviluppato infatti un business di fornitura del pezzo finito del tutto simile a quello del fonditore. In questo caso il progettista ha fatto la scelta del "materiale-proprietà" recependone le potenzialità progettuali, e si assume la responsabilità del disegno che consegna come specifica al fornitore. Per applicazioni alla carrozzeria continuano a competere tecnologie legate all'applicazione di un "prodotto-proprietà" in alternativa al "prodotto-struttura". Nel primo caso (si veda l'esempio di applicazione impegnative come portelloni e non sola di paraurti), il responsabile del prodotto finale è incerto se delegare la produzione del componente a specialisti esterni od integrarla al suo interno.

Nel secondo caso, essendo il processo produttivo basato sull'utilizzazione di semiprodotto standardizzati, la ripartizione di compiti tra fornitori ed utilizzatori sembra meno incerta.

Lo stadio *fluida e turbolento* della tecnologia e del business permette di osservare una motivazione che sembra guidare l'intero sviluppo dei materiali compositi e dei relativi processi produttivi la riduzione al minimo degli stadi di lavorazione per arrivare al prodotto finito.

Ma anche qui non sembra esservi niente di peculiare ai materiali compositi: è ben noto che una caratteristica fondamentale del progresso recente nei materiali metallici è stato quello di integrare i vari stadi di lavorazione nel processo di formazione metallurgica (*near net shape*).

Quali indicazioni si possono trarre per lo scenario futuro dei materiali compositi? Anche qui, osservando dall'interno *della transizione* la varietà delle alternative, si può essere indotti ad estrapolare come permanente lo stato di fluidità e di alternative, e quindi a pensare che lo scenario futuro più plausibile sia quello dei materiali *progettati per l'uso*, utilizzando la varietà delle alternative come una possibilità di eseguire caso per caso una scelta ottimale dei materiali. Come già osservato precedentemente è poco probabile che questa sia la soluzione finale,

anche se è difficile in questo momento apprezzare quali saranno le scelte del nuovo Sistema Tecnico, quale sarà la ristrutturazione del sistema produttivo con nuovi confini di integrazione e di specializzazioni e quale sarà la nuova ripartizione di compiti fornitori/utilizzatori.

Come per il caso dei ceramici, la morale che si può trarre valida per tutti i materiali è che l'elemento fondamentale del cambiamento che sta avvenendo è l'enorme generazione di *know how* (sui materiali, sui processi, sui modi di applicazione, sulla riconcezione dei prodotti), che è alla base della sperimentazione che il *sistema tecnico* sta facendo per cercare la prossima traiettoria tecnologica. La diversa ripartizione di integrazione/ specializzazione si giocherà sulla base di chi saprà acquisire il saper fare necessario.

Anche in questo caso come nel caso dei ceramici il messaggio per l'operatore tecnico-economico è chiaro: non si potrà sopravvivere da protagonisti se non si è capaci di sviluppare durante la transizione una superiore intelligenza tecnico-imprenditoriale.

5) Conclusioni

Elenchiamo ora, a mò di conclusione una serie di osservazioni che avranno sapore apodittico, dopo aver più volte ammonito sulla difficoltà di trarre conclusioni in momenti di transizione del Sistema Tecnico:

- tutti i materiali del nuovo Sistema Tecnico saranno diversi da quelli attuali nel senso che avranno *digerito* - trasformato in *saper fare* - una grande quantità di nuovo sapere. Basta guardare da vicino gli acciai per vedere quale enorme differenza vi sia tra l'approccio microscopico-scientifico che caratterizza (definizione delle caratteristiche/produzione/controllo di qualità) gli acciai di oggi rispetto alla base sostanzialmente empirica delle conoscenze sulle quali l'acciaio si era imposto come il materiale strutturale predominante nel vecchio Sistema Tecnico;

- vi sarà posto nel futuro con ruolo di protagonista, per quelle imprese che avranno saputo star dietro al cambiamento scientifico acquisendo il relativo *saper fare*;
- le imprese siderurgiche potranno mantenere la loro specializzazione grazie alla capacità di produrre *acciaio scientifico* progettato e realizzato in modo flessibile per le più svariate applicazioni, oppure (anche se è meno probabile) perché avranno potuto sviluppare delle strategie di diversificazione *multi-materiale*;
- le aziende chimiche potranno svolgere un ruolo simile alla siderurgia, affiancandosi ad essa nel mettere sul mercato prodotti intermedi *pre-strutturati* standard per una varietà di applicazioni ottenibili con processi (stampaggio, incollaggio) facilmente acquisibili dal produttore del prodotto finale;

- le aziende trasformatrici (di metalli / di plastici / di ceramiche) continueranno ad essere una parte importante del sistema produttivo, purché abbiano saputo acquisire il *know how* necessario per dare forma finita al componente fornito;
- le aziende sistemiste, responsabili del prodotto finale, dovranno aver saputo acquisire dei processi di produzione funzionalizzata materiali/prodotto che permetteranno una forte integrazione del processo produttivo (riducendo il n° delle parti, i tempi di processo, la quantità di materiale necessario).

Le strategie disponibili per mantenere o per sviluppare un ruolo di protagonista nel settore dei materiali sono diverse, ma:

- alla fine il ruolo di protagonista potrà configurarsi in modi diversi da quello attuale. E' probabile che le figure imprenditoriali prevalenti saranno le seguenti:
- grandi gruppi produttori di semilavorati (acciai, compositi) con vocazione di verticalizzazione specialistica;
- società trasformatrici specializzate (fonditori, *ceramurgisti*, *plasturgisti*);
- aziende *multimateriali* ad integrazione sia orizzontale che verticale con forte capacità di *assistenza tecnica* agli utilizzatori per le applicazioni funzionali.

NOTA

E' doveroso citare che l'Autore ha trovato spunti di grande interesse, cui è debitore per molte delle argomentazioni qui sviluppate, nelle relazioni presentate ad un recente seminario ("Les Nouveaux Matériaux", Strasburgo, 13 dicembre 1985) organizzato dal gruppo FAST della Direzione Generale Ricerca ed Insegnamento della Commissione delle Comunità Europee. Gli Atti del Convegno sono stati editi come rapporto interno della Commissione (XII-115-86).