

Università di Bologna

Facoltà di Chimica Industriale  
*Sede di Faenza*

*Corso di laurea in*  
Chimica dei Materiali e Tecnologie Ceramiche

*Materiale didattico per il corso di*

**Metallurgia**

Prof. Giuseppe Palombarini

M.F. Ashby

*Cambridge University, UK*

**Forze motrici per lo sviluppo dei materiali nel 21° secolo**

*da: Progress in Materials Science 46 (2001) 191-199*  
*(traduzione di G.Palombarini)*

Indice

1. Sforzi della scienza e richiesta del mercato
2. Gli 'input' alla progettazione di prodotti
  - 2.1. Necessità e richieste del mercato
  - 2.2. Scienza e tecnologia
  - 2.3. Economia e strategia commerciale
  - 2.4. Ambiente e sostenibilità
  - 2.5. Estetica e design industriale

3. Conclusioni

Riferimenti

*doc.1*

a.a. 2001-02

## **1. Sforzi della scienza e richiesta del mercato**

I materiali costituiscono la 'materia prima' della progettazione. Nuovi materiali ispirano i progettisti ma, ancor più, la progettazione spinge lo sviluppo di materiali. E' vero che gli sviluppi più incoraggianti di materiali strutturali sono derivati dalla ricerca scientifica sulla struttura della materia e sulle interazioni della materia con campi-forza di natura meccanica, elettrica, magnetica e nucleare, con radiazioni di ogni tipo e con specie chimiche diverse. Ma per ogni dollaro speso per una ricerca 'ispiratrice' di questo tipo, 100 dollari vengono spesi in una ricerca di altro tipo: quella guidata da necessità specifiche del mercato. Durante la seconda metà del secolo scorso, le spinte più forti in quest'ultima direzione sono derivate dalla gara spaziale, dalla potenza nucleare, dalla guerra fredda e dalla rivoluzione informatica basata sul silicio, e a tutte la comunità impegnata sui materiali ha risposto adeguatamente. E' questo che ha conferito al settore dei materiali lo slancio attuale. Ma la direzione delle spinte è ora cambiata: la guerra fredda è stata sostituita da una competizione di altra natura, e le spese sia per la potenza nucleare che per lo spazio sono state ridimensionate. Che cosa le ha sostituite?

## **2. Gli 'input' alla progettazione di prodotti**

La Figura 1 indica le 5 spinte più forti a cui i progettisti di oggi cercano di rispondere. Si tratta di una semplificazione utile anche se drastica, che ora trattiamo più estesamente. L'ossatura principale si snoda dalla '*Necessità del mercato*' alla '*Progettazione*' a '*Produzione*', '*Uso*', '*Collocamento*'. Il progettista è reso attento ai nuovi sviluppi dal settore '*Scienza-Tecnologia*' e alle condizioni economiche dal settore '*Affari-Strategia*', agli interessi ambientali dal settore '*Sostenibilità-Ambiente*', ed è reso consapevole della necessità di creare prodotti che siano soddisfacenti e funzionali dal settore '*Progettazione industriale*'. Ovviamente vi sono molte altre influenze, ma le discussioni con i progettisti indicano che quelle citate sono le più forti. Esse saranno esaminate una alla volta, illustrando la loro influenza sullo sviluppo dei materiali.

### ***2.1. Necessità e richieste del mercato***

La crescita economica ed il benessere, sia di una nazione che di una persona, fanno del mercato una guida potente della progettazione industriale. In un Paese sviluppato molti prodotti sono tecnicamente maturi e il mercato per questi è saturo, nel senso che quasi tutti coloro che ne hanno bisogno possono averli. Allora è il desiderio ('want') e non la necessità ('need') che genera le forze del mercato. Queste vengono trasferite attraverso la '*Specificità*' in una richiesta a cui il progettista può rispondere. La stessa '*Procedura di progettazione*' (riquadro rettangolare al centro di Fig.1) implica l'elaborazione di concetti volti a soddisfare la necessità o la richiesta, come pure lo sviluppo di uno o più di questi concetti in un 'corpo' che, se abbastanza promettente, viene elaborato in dettaglio, sviluppato a livello di prototipo e posto in produzione (v. Ref. [1] per una trattazione di questo punto).

### ***2.2. Scienza e tecnologia***

La meno prevedibile tra le forze motrici del cambiamento proviene dalla stessa 'Scienza'. A dispetto di previsioni periodiche secondo cui la scienza 'sta esaurendosi' (v. ad es. Rif. [2]), essa continua a produrre nuovi concetti e fenomeni. Questi entrano a fare parte delle nuove tecnologie creando nuovi materiali con potenzialità sia tecniche che estetiche: polimeri emettitori di luce che permettono di realizzare display sottili e flessibili; polimeri conduttori con potenzialità nel

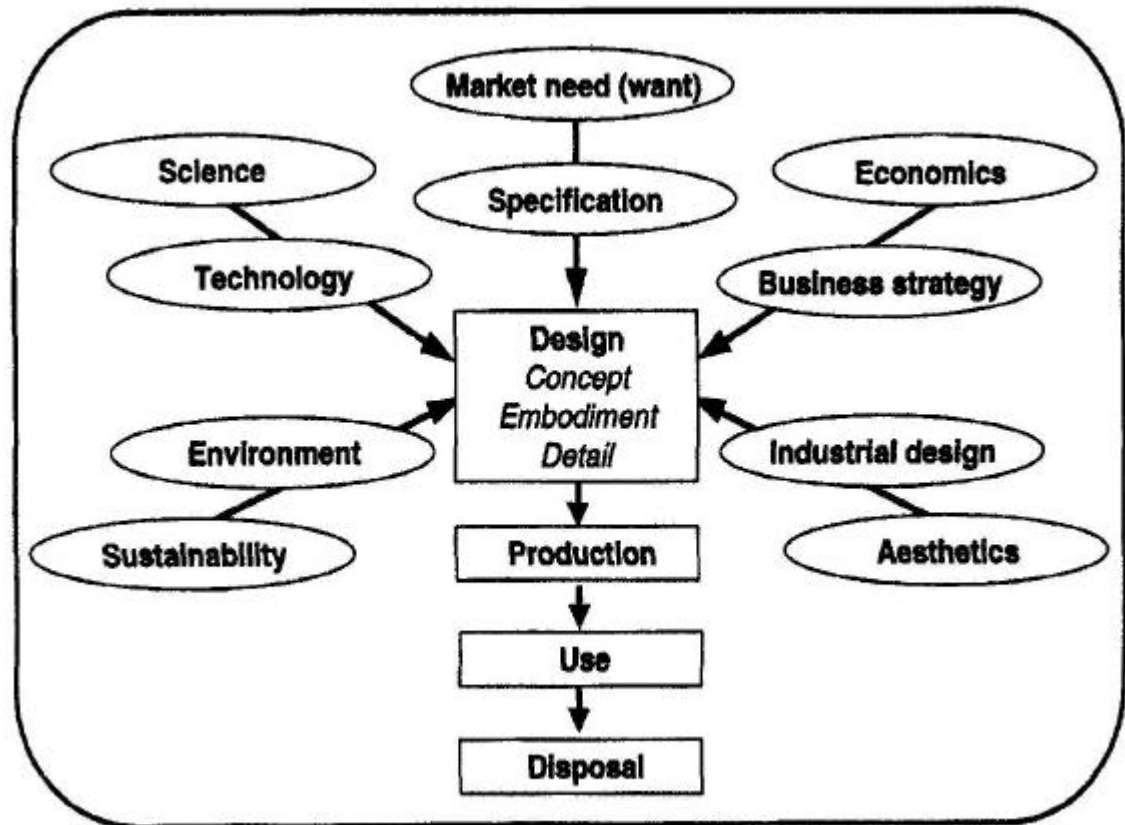


Figura 1 - Input principali alla procedura di progettazione, quali derivano dalle necessità del mercato, da scienza e tecnologia, dalla strategia del business, dall'interesse per l'ambiente, e dalla richiesta di dare soddisfazione con un buon progetto industriale.

settore del trattamento delle informazioni; film di carbonio con struttura tipo diamante, caratterizzati da durezza elevata e da lucentezza e colori attraenti, e molti altri nuovi materiali.

In termini di peso, predomina in misura schiacciante l'uso di materiali per impieghi strutturali. Cemento e calcestruzzo, acciai e leghe leggere, polimeri strutturali e compositi - ciascuno da considerare un elemento focale della ricerca nel secolo scorso - stanno raggiungendo ora la maturità tecnica ed evolvono solo lentamente. La miniaturizzazione e l'alleggerimento pongono invece l'enfasi sulle proprietà non strutturali ('funzionali') dei materiali, ed è a queste ultime che viene dedicata ora molta ricerca scientifica. Tecniche di assemblaggio su scala nanodimensionale permettono la creazione di dispositivi multi-materiale in grado di rispondere al movimento di un singolo elettrone o ad un quanto di flusso magnetico. Anche la ricerca sui materiali per la bioingegneria - un settore ancora lontano dalla maturità - è stata stimolata da una conoscenza scientifica più approfondita della biologia cellulare, e indica nuovi percorsi per lo sviluppo di materiali bio-attivi e bio-passivi.

### 2.3. Economia e strategia commerciale

Per un economista, un nuovo prodotto rappresenta un '*caso di business*' con aspetti tecnologici secondari. Quando si immette nel mercato un nuovo prodotto, intervengono due considerazioni primarie di natura economica: *vitalità* ed *acquisto di valore*. Ciò è illustrato in Figura 2. Un prodotto è vitale se soddisfa una necessità o un desiderio ad un costo che il mercato trova

interessante [3-5]. I quattro tondi al centro di Figura 2 illustrano come viene valutata la vitalità. Il comportamento tecnico viene misurato da uno o più sistemi di *'misurazione della performance'*,  $P$ . Il costo per fornire quella performance è  $C$ . Il prodotto è vitale se il suo valore,  $V$ , valutato in base ad un sistema di *'misurazione del valore'*, è maggiore del suo costo  $C$ . Il valore dipende dal settore merceologico: uno specchio di berillio è vitale nello spazio, dove il peso è fortemente penalizzante; lo stesso specchio non è vitale nelle automobili poiché il risparmio di peso ha un valore molto minore.

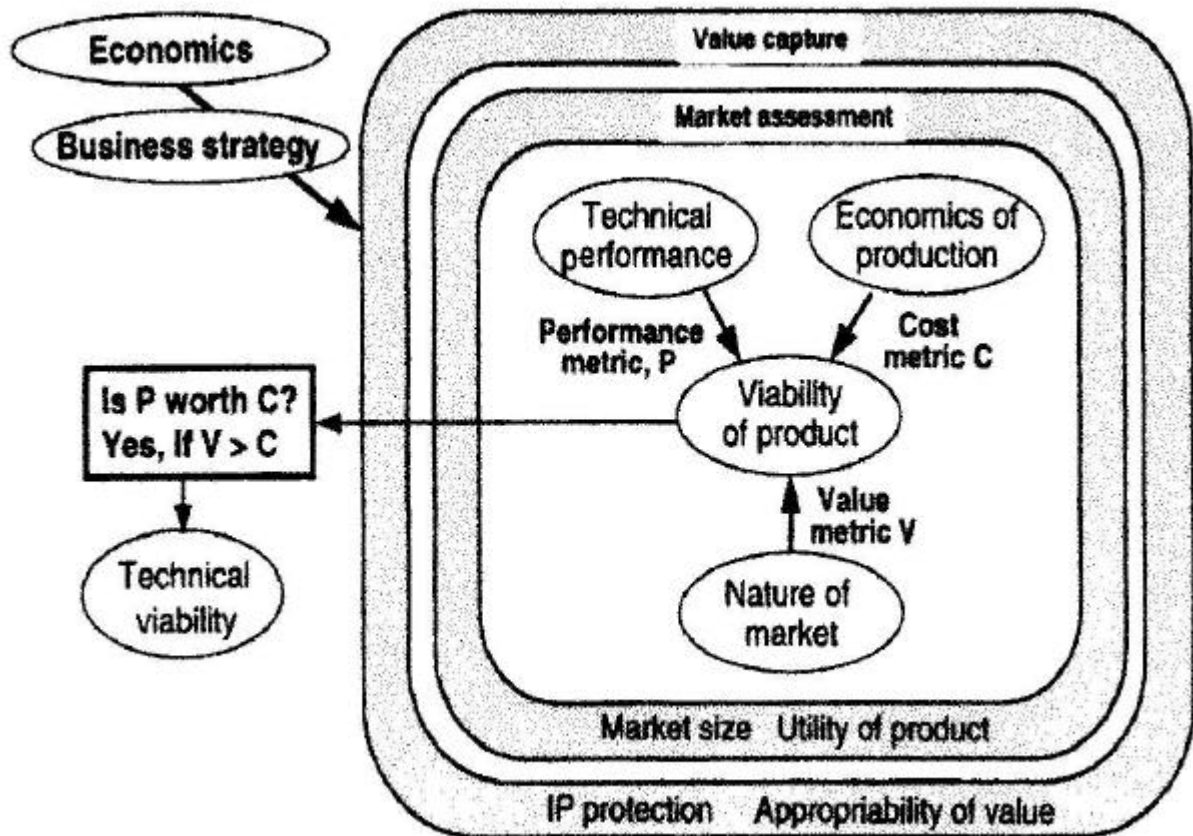


Figura 2 - Settore della strategia del business. La validità tecnica non basta a giustificare lo sviluppo di un nuovo materiale; sono decisivi la dimensione del mercato, il controllo delle risorse chiave (degni di particolare attenzione, la proprietà intellettuale) e la propensione al rischio dell'industria che utilizzerà il materiale.

Come mostrato in Figura 2, la vitalità non è tutto: la valutazione della vitalità è all'interno di altre due cornici. L'investimento necessario per mettere in commercio un prodotto tecnicamente vitale potrà concretizzarsi solo se gli investitori sono in grado di 'cattare' un valore sufficientemente elevato. L'acquisto di valore dipende dalla dimensione del mercato e dalla capacità di prevalere sulla concorrenza mantenendo il controllo della proprietà intellettuale e delle risorse chiave (personale, segreti aziendali, accordi per licenze o partecipazioni). Infine, ogni investimento su un nuovo prodotto comporta rischi (quadro esterno in Fig. 2). Alcune industrie sono contrarie al rischio: l'industria nucleare, il settore dell'ingegneria civile e, in misura crescente, il settore aerospaziale. Altre non lo sono: il settore delle attrezzature per lo sport, i progettisti di interni e i

progettisti di prodotti di consumo sono fortemente legati a nuovi materiali e processi e accettano facilmente prodotti realizzati da loro stessi.

Lo scenario mostrato in Figura 2 è significativo per lo sviluppo di nuovi materiali. Sviluppare, qualificare e commercializzare un materiale strutturale nuovo richiede tipicamente 15 anni, e non è sempre scontato che il materiale sia ancora tecnicamente vitale quando quel traguardo temporale viene raggiunto. Nel secolo scorso una gran parte dei costi dello sviluppo di materiali strutturali è stata sottoscritta dai governi con programmi per la difesa, lo spazio e il nucleare, volti ad investire su una scala di tempi inaccettabilmente lunga per un'industria privata. La scala dei tempi può essere più breve per i materiali funzionali le cui potenzialità, in parte a causa della loro immaturità, possono essere superiori, tali da renderli un'opportunità di investimento più attraente.

#### **2.4. L'ambiente e la sostenibilità**

Ogni attività umana ha un qualche impatto sull'ambiente in cui viviamo. L'ambiente ha una certa capacità di farvi fronte, di modo che un certo livello d'impatto può essere assorbito senza danni residui. E' tuttavia chiaro che le attività attuali superano spesso questa soglia, peggiorando la qualità del mondo in cui viviamo e minacciando il benessere delle future generazioni (v. ad es. Rif.[6]). La situazione è resa drammatica dalla seguente constatazione: con una crescita complessiva del 3% annuo saranno estratte, lavorate e usate nei prossimi 25 anni più materie prime che in tutta la storia precedente del genere umano. *La progettazione per l'ambiente* viene generalmente intesa come uno sforzo per modificare il nostro stile di vita per correggere effetti di degrado ambientale noti e misurabili; la scala dei tempi di questo modo di pensare è di 10 anni circa; l'impegno per la *sostenibilità* costituisce la via più lunga: l'adattamento di uno stile di vita che soddisfi le necessità di oggi senza compromettere quelle delle generazioni future. In questo caso la scala dei tempi è più estesa, forse fino a 50 anni a venire.

Il ciclo di vita dei materiali è rappresentato schematicamente in Figura 3. Minerali e materie prime, per lo più non rinnovabili, vengono elaborati per ottenere materiali; questi vengono lavorati in forma di prodotti che vengono usati e, al termine del loro ciclo di vita, vengono scartati, forse entrando in parte in un ciclo di recupero, il resto essendo destinato all'incenerimento o a materiale di risulta. In ogni stadio di questo circuito viene consumata energia, con associata una penalizzazione per produzione di CO<sub>2</sub> o di altre emissioni - gassose, liquide e solide. Il problema, sommariamente espresso, sta nel fatto che la somma di queste emissioni supera la capacità che ha l'ambiente di assorbirle. Il danno visibile è in gran parte localizzato, le sue origini possono essere trovate e può essere intrapresa un'azione correttiva. Una gran parte della legislazione ambientale si propone azioni correttive limitate; un cambiamento ad es. del 10% nel consumo medio di benzina per automobili viene giudicato molto significativo.

La sostenibilità richiede soluzioni di natura del tutto diversa. Stime anche conservative dei cambiamenti necessari a ripristinare un equilibrio a lungo termine con l'ambiente considerano una riduzione di un fattore 4, in alcuni casi 10 [6], dei flussi riportati in Figura 3. La crescita della popolazione e delle sue attese annulla ben più di ogni 10% di risparmio che possa essere conseguito dai Paesi sviluppati. Ne deriva un problema complesso, che richiede un adattamento difficile, e a cui non si può dare risposta in questa sede. Esso rimane tuttavia una condizione al contorno fondamentale, da tenere alla base di ogni pensare creativo.

Dunque, come si risponde al problema a più breve termine? Nel caso dei materiali lo scenario maggiormente rievocato ma molto spesso meno implementato, riguarda il riciclo, la rinnovabilità

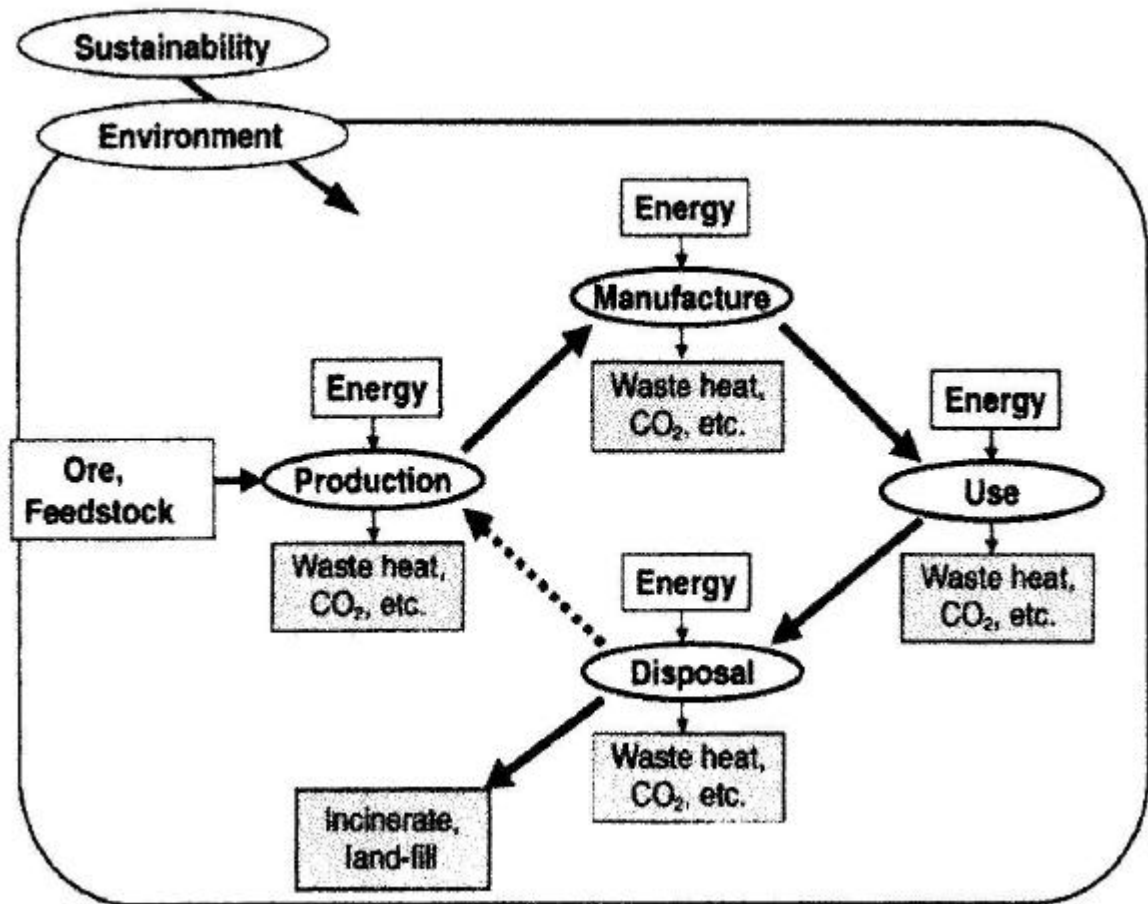


Figura 3 - Ciclo di vita di un materiale. Minerale e materie prime vengono miscelati ed elaborati per ottenere un materiale, che viene lavorato in forma di prodotto, usato e, al termine del suo ciclo di vita, scartato o riciclato. Energia e materiali vengono consumati in ogni stadio, producendo inquinamento termico ed emissioni solide, liquide e gassose.

(materiali fatti di cose che crescono) e la de-materializzazione (fare di più con meno); per quanto riguarda l'energia, un alleggerimento dei mezzi di trasporto, una gestione termica ottimale degli edifici, una maggiore efficienza industriale nelle conversione e nell'uso dell'energia; per quanto riguarda i prodotti, un aumento del tempo di vita. Quest'ultima azione è probabilmente la più efficace: un raddoppio del tempo di vita di un prodotto dimezza (fattore 2) l'impatto di 3 dei 4 stadi riportati in Figura 3.

### 2.5. Estetica e progettazione industriale

I prodotti sono parte di un più vasto ambiente in cui viviamo. Prodotti che piacciono per la loro forma, il colore, la struttura e - soprattutto - per ciò che ad essi viene associato, migliorano questo ambiente; prodotti che non piacciono, lo peggiorano. Nello stadio in cui i prodotti sono tecnicamente maturi e i mercati sono saturi, il commercio è sostenuto dal *design industriale* e dalla *differenziazione*; la progettazione di un prodotto si basa attualmente su questi elementi. Come ha affermato il presidente della Sony, "la forza motrice del mercato è il desiderio, non la necessità".

In un mercato siffatto, i materiali vengono scelti in base alle loro caratteristiche percettibili e a ciò che ad essi viene associato, ed anche in base alle caratteristiche tecniche. La Figura 4 illustra queste correlazioni. Un prodotto (tondo centrale) viene progettato per soddisfare un insieme di

*specifiche*, che comprendono non solo le sue funzioni ma anche il gruppo di consumatori a cui è destinato: uomo, donna, anziano, adolescenti, bambini, sportivi e così via. Ciascun gruppo ha esigenze e gusti diversi. Un prodotto di successo soddisfa le une e gli altri.

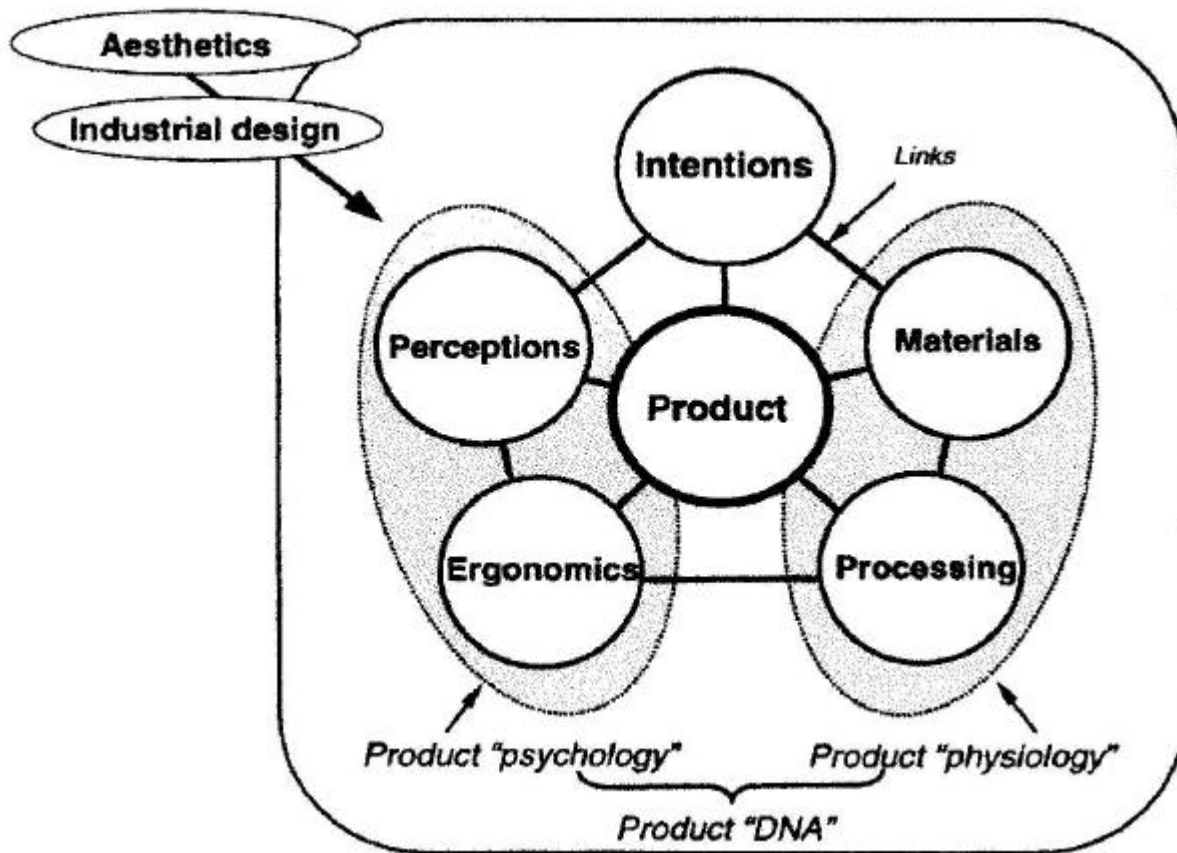


Figura 4 - Un prodotto soddisfa una specifica, è realizzato con materiali e processi (la 'fisiologia' del prodotto) e possiede un insieme designato di attributi percettibili ed ergonomici (la 'psicologia' del prodotto); nel loro insieme fisiologia e psicologia determinano il carattere del prodotto o, per così dire, il suo DNA.

Per realizzare il prodotto, i *materiali* vengono messi in forma, uniti tra loro e rifiniti mediante *processi* (tondi a destra in Fig.4) che, tutti insieme, potrebbero essere definiti come la 'fisiologia' del prodotto. La forma, il colore, lo stile vengono scelti per soddisfare i gusti e producono le 'associazioni' gradite al gruppo di consumatori destinatario - associazioni alla sicurezza e alla durata, ad es., oppure alla delicatezza, o al buonumore. In questa sede non è possibile trattare adeguatamente questo tema; le idee in materia sono sviluppate pienamente nei Riff.[7-13]. Per ora saranno trattate le qualità estetiche e il design industriale come caratteristiche *percettibili* di un prodotto (tondo in alto a sinistra in Fig.4), tenendole distinte dalle caratteristiche fisiche associate alla funzionalità, al materiale e al processo. Infine *l'ergonomia* (tondo in basso a sinistra in Fig.4) riguarda le modalità con cui il prodotto comunica la sua funzionalità [14]: controlli autoevidenti, indicazioni di ritorno per segnalare all'utente che una certa funzione è stata attivata, allarmi per prevenire usi sbagliati. A rigore, anche queste ultime sono caratteristiche percettibili, ma la loro importanza e il loro collegamento più diretto alla funzionalità ha dato origine a una letteratura a se stante e allo sviluppo di metodi specifici di

progettazione per conseguirle. Insieme alle caratteristiche percettibili, questi attributi costituiscono quella che potrebbe essere definita la 'psicologia' del prodotto. Nel suo complesso, il profilo completo delle caratteristiche definisce il carattere del prodotto, o per così dire il DNA del prodotto.

Materiali e processi vengono scelti per conferire al prodotto un insieme prefissato di caratteristiche percettibili [15]. Si può dire che al legno lucido vengono associate cordialità, tradizione e qualità; i metalli manifestano in generale un senso intrinseco di funzionalità; le materie plastiche, per un certo pubblico, sono economiche, vivaci e disponibili; i compositi possiedono un'aura di alta tecnologia. Si tratta di generalizzazioni, e anche sommarie. La Figura 4 puntualizza il fatto che, quasi sempre, il collegamento tra caratteristiche percettibili e materiale avviene tramite il prodotto stesso. Le associazioni suscitate dall'uso del legno nel mobilio elegante (tradizione, lusso, qualità, ...) sono alquanto diverse da quelle suscitate dall'uso per fare ad es. cuccette ferroviarie (rozze, a bassa tecnologia, arcaiche, ...). Sebbene l'influenza sia indiretta, le scelte del materiale e del processo svolgono un ruolo centrale nella progettazione industriale e nella creazione di un insieme prefissato di caratteristiche percettibili.

### **3. Conclusioni**

Non c'è niente di statico. Si cerca di ottimizzare i materiali per corrispondere alle necessità odierne ma, prima che l'ottimizzazione sia completata, le condizioni al contorno - intendendo con ciò le forze motrici che presiedono allo sviluppo del materiale - cambiano imponendo una nuova direzione allo sviluppo.

Le forze motrici principali che agiscono nella prima parte del 21° secolo differiscono in modo radicale da quelle che hanno caratterizzato il 20° scorso. Le priorità rappresentate dalla difesa, dalla potenza nucleare e dallo spazio sono state rimpiazzate da quelle relative alla crescita economica, alla gestione della conoscenza e alla cura della salute. La globalizzazione dell'industria e il commercio via internet gettano un'enfasi maggiore sulle caratteristiche economiche del materiale, sul valore della proprietà intellettuale e sulla strategia commerciale. Il benessere del consumatore e la maturità del prodotto conferiscono una priorità più alta alla progettazione industriale e alle caratteristiche percettibili. E in un certo senso noi abbiamo 'superato' noi stessi, creando la necessità di adattare la progettazione, ed i materiali per essa centrali, per ripristinare l'equilibrio con l'ambiente.

Tutto ciò influisce sulla direzione di sviluppo dei materiali. La maturità della maggior parte dei materiali strutturali - una priorità nel secolo scorso - e la spinta verso dimensioni più ridotte, una maggiore funzionalità e la sostituzione di prodotti con servizi danno enfasi allo studio meno maturo di caratteristiche non strutturali dei materiali: elettriche, ottiche, magnetiche e biologiche. Molte di queste proprietà sono tipiche di film molto sottili, di superfici o di interfacce. Le superfici, inoltre, giocano un ruolo chiave per le caratteristiche percettibili: colore, struttura, tatto, e tutte le associazioni che il materiale suscita; queste svolgono un ruolo sempre più centrale nella progettazione di successo di un prodotto. E infine (un aspetto trattato solo brevemente in questo articolo - in effetti ci sarebbe molto di più da dire) l'interesse per l'ambiente indirizza l'attenzione sulle caratteristiche ecologiche dei materiali: la richiesta che da essi deriva sulle risorse di base e il carico ambientale creato dalla loro produzione, dall'uso e dagli scarti. Si tratta di un problema di sistemi, che richiede una soluzione basata sull'analisi di sistemi; d'altra parte, è chiaro che contributi positivi possono derivare dai materiali rinnovabili, dal riciclo e dal



prolungamento del tempo di vita (che richiede metodi sofisticati di valutazione della vita residua).

Attualmente, poche università offrono programmi di ingegneria dei materiali che introducano a un così vasto spettro di temi. Creare un programma di questo tipo è una sfida, ma - a parere di chi scrive - ve n'è il bisogno per preparare ingegneri dei materiali di successo per il nuovo secolo.

### **Ringraziamenti**

Le idee qui riportate devono molto a miei colleghi ed in particolare a: Dr. Ulrike Wegst, Elicia Maine e Kara Johnson. Si ringrazia il sostegno offerto dalla Körber Foundation e dall' UK EPSRC tramite l'Engineering Design Centre, Cambridge.

### **Riferimenti**

- [1] Pahl G., Beitz W., Engineering design, New York, USA, Springer-Verlag, 1984.
- [2] Horgan J., The end of science, London, Abacus books, Little, Brown Co., 1996.
- [3] Clark J.P., Roth R., Field F.R., Techno-economic issues in materials science, in: ASM Handbook Vol.20, Materials selection and design, ASM International, Metals Park, Ohio, 1997.
- [4] Field F.R., de Neufville R., Materials selection - maximising overall utility, Metals and Materials, June issue, pp.378-382.
- [5] Maine E., Ashby M.F., Advanced Engineering Materials, 2000;2(4):1.
- [6] von Weizsäcker E., Lovins A.B., Lovins L.H., Factor four, London, Earthscan Publications, 1997.
- [7] Dormer P., Design since 1945, London, Thames and Hudson, 1993.
- [8] Faste R.A., The role of aesthetics in engineering, Japanese Society of Mechanical Engineering Journal, Winter Japan, 1995.
- [9] Forty A., Objects of desire - design in society since 1750, London, Thames and Hudson, 1986.
- [10] Haufe T., Design, a concise history, London, Laurence King Publishing, 1998.
- [11] Norman D.A., The design of everyday things, London, MIT Press, 1998.
- [12] Redmond J., Industrial design and the need for product research, Proceedings ICED'88, 1988.
- [13] Redmond J., New product appearance in relation to market response, Proceedings ICED'93, 1993.
- [14] Flurscheim C.H., Editor, Industrial design in engineering, London, The Design Council, 1993.
- [15] Manzini E., The material of invention, London, The Design Council, 1989.