

Fabio Giudice

Fabio Giudice è ricercatore e docente di Metallurgia presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania. In precedenza ha svolto attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale della stessa Università nei settori della Progettazione Industriale e delle Costruzioni Meccaniche. Laureatos in Ingegneria Meccanica, ha conseguito il Master in Design e Bionica presso il Centro Ricerche dell'Istituto Europeo di Design di Milano, e il Dottorato di Ricerca in Meccanica Strutturale presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania.

Conduce attività di ricerca nell'ambito della struttura e del comportamento meccanico dei materiali metallici, della selezione ottimale dei materiali per applicazioni ingegneristiche, della progettazione del ciclo di vita del prodotto e del Design for X. In relazione a questi campi di ricerca ha pubblicato più di 50 articoli su riviste internazionali e nazionali, curatele, e atti di convegni. E' primo autore della monografia "Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach" (Taylor & Francis, 2006).



Riflessi di bionica in un percorso attraverso il progetto dell'ambiente artificiale

Fabio Giudice | fabioguidice@gmail.com



“L'insegnamento giunge solo a indicare la via e il viaggio; ma la visione sarà di colui che avrà voluto vedere.”

Plotino

“La ricerca bionica analizza le strutture in natura e le soluzioni elaborate nell'evoluzione di vegetali e animali per escogitare idee utili alla produzione industriale, per capire come costruire con il minor impiego di energia e materiali e il massimo dei risultati”. E' stata questa frase, più di altre, ad attirare la mia attenzione leggendo un articolo che promuoveva una nuova edizione del Master in Design e Ricerca Bionica del Centro Ricerche dell'Istituto Europeo di Design di Milano. Era la fine del 1998, e da circa un anno avevo iniziato un corso di dottorato di ricerca, dopo aver conseguito una laurea in ingegneria meccanica. La propensione alla “ricerca” si era già manifestata, dunque, così come l'interesse per i temi della sostenibilità ambientale nella progettazione industriale, che erano stati oggetto della tesi di laurea. Ma questa definizione di “ricerca bionica”, che inizialmente mi aveva colpito forse più per le suggestioni che riusciva a trasmettere, mi suggerì un punto di vista differente: più che progettare cercando di salvaguardare quanto più possibile l'ambiente naturale, forse si poteva cambiare prospettiva e progettare secondo le “regole” stesse dell'ambiente naturale.

Il corso di master cui ho partecipato iniziò nel marzo del 1999, e si concluse l'anno successivo. E' stata un'esperienza troppo densa da potersi riassumere in poche righe. Tutt'oggi, dopo venti anni, mi piace ricordare alcune sensazioni dei primi giorni, legate al luogo fisico in cui il corso si svolgeva, uno stabile post-industriale, al cui interno l'elemento predominante era l'aria, e ai primi scambi con le persone che vi appartenevano e con quelle che come me erano anch'esse appena arrivate, oltre che alla città che sarebbe stata sfondo di questa esperienza. Carmelo Di Bartolo, che ci accolse come direttore, ma anche come creatore di qualcosa che al momento non riuscivo ancora a comprendere appieno, guidò il Centro solo ancora per alcuni mesi. Posso dire quindi che ne ho in qualche modo vissuto una parte non piccola di eredità: quella sorta di “fucina del progetto”, che custodiva una vasta mole di informazioni accumulate nel tempo, una vera e propria base dati che sembrava concepita per stimolare la curiosità e costituire fonte di ispirazione; e trasmetteva le idee portanti su cui era stata fondata, che in qualche modo mi avrebbero accompagnato nella prosecuzione del mio percorso.

Dopo la conclusione del master, questo percorso si è sviluppato lungo un sentiero ideale che ha attraversato la teoria e la pratica della progettazione integrata, ambientalmente sostenibile, orientata al ciclo di vita del prodotto, e parallelamente ha esplorato le proprietà e il comportamento dei materiali, i criteri e i metodi per la loro scelta ottimale, fino a indagare alcuni aspetti della scienza dei materiali metallici, dalla struttura, ai processi per condizionarne e modificarne le proprietà, alle potenzialità applicative, ai fenomeni di deterioramento. Quello che propongo a seguire è quindi una breve sintesi di informazioni e riflessioni, che hanno caratterizzato questo percorso, trattando alcuni aspetti in cui a mio avviso quello che si potrebbe dire il “modo di pensare” della ricerca bionica ha manifestato riflessi evidenti. Benché il mio percorso abbia compreso il breve ma rivelatore passaggio nel campo del design, che mi ha introdotto al “pensiero bionico”, esso si è per lo più sviluppato nell'ambito dell'ingegneria industriale, nel quale ho condotto larga parte degli studi, e successivamente mi sono applicato come ricercatore e progettista. Va inoltre specificato che il mio approccio al progetto, pur essendo stato anche quello del progettista, si è sviluppato maggiormente nella dimensione metodologica, nell'ottica di definire metodi e strumenti per affrontare alcuni aspetti del progetto, a vari livelli di specificità. A questa esperienza, e all'ambito in cui si è sviluppata, ho per lo più attinto nel delineare i contenuti e le riflessioni qui proposte.

Con queste premesse, il percorso si snoda dunque secondo tre fasi, diversificate nelle tre sezioni in cui è organizzato il testo, che per semplicità potrebbero essere ricondotte a tre differenti livelli del progetto, ma che in realtà non sono nettamente distinguibili, né strettamente sequenziali, poiché nella



ma esperienza si sono sempre interconnessi vicendevolmente, sia in termini concettuali, che temporali. Una differenza sostanziale risiede comunque nel campo di azione: la prima sezione guarda all'ambito del progetto di sistemi complessi, benché sia evidenziato come i concetti di fondo possano essere trasferiti alla concezione della dimensione sistemica del prodotto; la seconda sezione raccoglie contenuti prevalentemente teorici e metodologici legati alla progettazione di prodotto e del suo ciclo di vita; infine le osservazioni e riflessioni sul modo di concepire e utilizzare la materia, raccolte nella terza sezione, possono invece estendersi a tutti i campi del progetto; da queste ultime sono nati e continuano a nascere gli spunti che ho trovato essere più radicali, e che in qualche modo, anche se più recenti in termini temporali, stanno diventando fondativi, nella prosecuzione ma anche in una reinterpretazione dei passi iniziali, mossi in questo percorso personale.

[01. BIOMIMESI SISTEMICA: SIMBIOSI, ECOLOGIA INDUSTRIALE, IBRIDAZIONE]

Quando nel 1959, presso la città di Kalundborg, fu avviata la costruzione della prima unità della centrale elettrica a combustibile fossile che sarebbe poi diventata la più grande in Danimarca, non era immaginabile sarebbe diventata anche il fulcro del primo esempio di "simbiosi industriale": un sistema di entità, tutte nello stesso ambito territoriale, interconnesse mediante una rete di scambi di energia, materie prime e seconde, scarti di produzione, in modo da incrementare l'efficienza dei singoli processi produttivi e ridurre l'impatto ambientale complessivo del sistema. Oggi noto come Ecosistema Industriale di Kalundborg (Figura 1), è costituito da quattro nuclei produttivi principali (attorno alla centrale elettrica sono nate una raffineria, uno stabilimento farmaceutico, e una fabbrica di semilavorati in cartongesso), e da un sistema di entità satellite che consumano, trasformano e commercializzano risorse energetiche (nelle forme di elettricità, vapore, e calore), sottoprodotti, flussi di rifiuti [1]. La ramificata rete di interconnessioni consente all'ecosistema industriale un risparmio annuo di migliaia di tonnellate di risorse naturali in input, un contenimento delle emissioni in atmosfera, e una drastica riduzione dei rifiuti solidi.

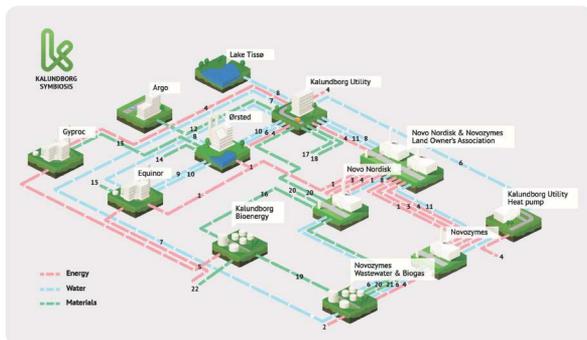


FIGURA 1. Sistema di Kalundborg.

I nuclei produttivi principali (la centrale elettrica, la raffineria, lo stabilimento farmaceutico, la fabbrica di semilavorati in cartongesso, cui si è aggiunto successivamente un centro di biotecnologie) scambiano flussi di energia, acqua, e materiali, tra loro, e con un impianto che da sottoprodotti e residui di processo ottiene biogas e fertilizzanti, uno stabilimento per il trattamento dei rifiuti, e un impianto per il trattamento delle acque che raccoglie, tratta, e ridistribuisce acque di processo agli impianti, e acqua potabile alle utenze cittadine. (Fonte: www.symbiosis.dk)

Benché oggi siano noti altri casi significativi di "parchi eco-industriali" (il Burnside Park di Halifax, in Canada, e l'EcoPark di Hong Kong), e la Gran Bretagna abbia avviato già nel 2005 il National Industrial Symbiosis Programme (NISP), prima iniziativa di simbiosi industriale su scala nazionale, il sistema di Kalundborg è particolarmente significativo per una peculiarità che lo rende unico rispetto alle esperienze successive: esso non è nato da una pianificazione (urbanistica, industriale), ma si è sviluppato in maniera "fisiologica": le varie entità che nel tempo si sono aggregate vi hanno preso parte sulla spinta dai vantaggi derivanti dalla dimensione sistemica, poiché hanno intuito quanto i meccanismi di simbiosi industriale potessero consentire di realizzare la riduzione dei costi di produzione attraverso l'accesso a risorse secondarie ed allo smaltimento remunerativo degli scarti di processo. Lo sviluppo dell'ecosistema industriale si è dunque generato autonomamente e poi "auto-sostenuto".

Il meccanismo che ha reso possibile questo sviluppo spontaneo, non pianificato, non è altro che una manifestazione di un principio ben noto nella campo della fisica e della biologia, il principio di minima azione: nei fenomeni naturali, l'azione viene sempre minimizzata. Ovvero, nel compiere un mutamento tra uno stato iniziale e uno finale (una trasformazione), la natura sceglie sempre il cammino più efficiente: ottiene il massimo risultato impiegando il minimo sforzo.

La terminologia utilizzata nel descrive questa tipologia di sistemi industriali (ecosistemi, simbiosi), e il richiamo al principio di efficienza che governa i processi in natura, delinea l'analogia con i sistemi naturali alla base dei concetti di Metabolismo e Ecologia Industriale, che abbracciano una ampia varietà di aspetti, comprendenti anche i meccanismi simbiotici che hanno reso emblematico il caso di Kalundborg.

La trasposizione dei principi organizzativi dei sistemi naturali in quelli industriali nasce dalle potenzialità prescrittiva della "metafora ecologica" nel dare impulso allo studio dei modelli naturali per la pianificazione dei sistemi industriali, imparando dai primi, per migliorare i secondi, secondo un



approccio "biomimetico", con l'obiettivo di delineare soluzioni per migliorare i sistemi industriali sulla base delle dinamiche organizzative dei sistemi naturali.

Entrambe le tipologie di sistemi, naturali e industriali, condividono alcune caratteristiche:

- la struttura sequenziale della vita (concezione, nascita, sviluppo, maturità, fine vita)
- la funzioni di tipo metabolico (ingestione di risorse, trasformazione, crescita dei sistemi)
- la capacità di riutilizzo e riciclo delle risorse (rifiuti potenzialmente nulli in termini sistemici)

Sia i sistemi naturali che quelli industriali sono dunque caratterizzati da cicli di trasformazione delle risorse, ma con una differenza sostanziale: i primi sono sistemi a ciclo chiuso, in cui la materia viene impiegata al più alto livello di efficienza possibile, circola e si trasforma con continuità, senza generare rifiuti; i secondi sono inefficienti e lineari, in quanto impiegano risorse, che trasformano in prodotti e rifiuti.

Queste caratteristiche di inefficienza e linearità dei sistemi industriali, alimentate dai meccanismi economici che le sostengono, comportano le ben note derive in termini di consumo di risorse e generazione di rifiuti. L'attuale sistema di produzione industriale può essere considerato come un organismo che inghiotte risorse prelevate dalla natura, le sottopone a processi di trasformazione, produce oggetti, ed espelle rifiuti, affetto da un'insaziabile bulimia fisiologica: l'indicatore del suo benessere è la quantità dei beni prodotti, con la conseguenza che maggiore è l'incremento delle risorse che inghiotte e trasforma, maggiore è l'incremento degli oggetti che produce e dei rifiuti che scarta, migliore è il suo stato di salute, anche se quest'ultimo non coincide con quello dell'uomo e della biosfera.

L'analogia con i sistemi naturali suggerisce la necessità di concepire i modelli di attività in termini di ecosistema industriale, in cui il consumo di materiali ed energie è ottimizzato, la produzione di scarti è minimizzata, e i sottoprodotti di un processo diventano materia prima per un altro processo [2]. L'ecosistema industriale deve allora tendere al modello ideale chiuso e a massima efficienza ben rappresentato dagli ecosistemi biologici: le piante sintetizzano le sostanze nutritive che alimentano gli erbivori, che a loro volta alimentano la catena dei carnivori, i cui resti organici e rifiuti vanno ad alimentare altre generazioni di piante; analogamente in un ecosistema industriale ideale un pezzo di acciaio può essere impiegato un anno in contenitore, l'anno successivo in un componente di autovettura, e poi ancora nella struttura di un edificio.

Ritenere ammissibile la fondatezza della metafora ecologica, e le sue potenzialità prescrittive, può sorreggere un cambiamento che ha tutte le potenzialità per segnare l'inizio di una nuova era industriale, non più basata sull'idea di cosa sia possibile estrarre dalla natura, ma piuttosto di cosa sia possibile imparare da essa [3]. Questa nuova visione ha condotto in prima istanza al concetto di Metabolismo Industriale [4], basato sull'affinità tra la biosfera e il sistema economico-industriale nella trasformazione delle risorse materiali, per poi trovare la sua formulazione completa nel concetto, e nella ormai consolidata disciplina ad esso correlata, entrambi noti come Ecologia Industriale [5-7], che nella sua forma compiuta contempla diversi aspetti:

- studio dei flussi e delle trasformazioni di materiali ed energia;
- cambiamento nella concezione dei processi di trasformazione, e transizione dal modello lineare (aperto) a quello ciclico (chiuso);
- emulazione, nella strutturazione dei sistemi industriali, dei più efficienti e sostenibili sistemi naturali;
- armonizzazione dei sistemi industriali con quelli ecologici.

I riflessi dell'Ecologia Industriale, e del concetto di Sviluppo Sostenibile che con chiara evidenza ne è propulsore e parte integrante, si estendono allo sviluppo di prodotto. L'approccio biomimetico alla concezione dei sistemi complessi ben si presta allo sviluppo di sistemi-prodotto ispirati al concetto di interconnessione simbiotica nella pianificazione dei flussi di risorse e di rifiuti. In quest'ottica l'Ecologia Industriale può essere interpretata come un supporto concettuale allo sviluppo di prodotto, fortemente orientato alla sostenibilità ambientale (Figure 2 e 3).

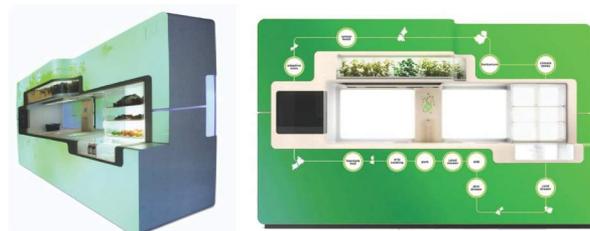


FIGURA 2. Kitchen Eco System (Whirlpool). Sistema per la cucina che si basa sull'utilizzo integrato degli elettrodomestici, e sull'ottimizzazione dell'uso del calore e dell'acqua: un'unità di filtraggio posta sotto il lavandino separa l'acqua pulita e la convoglia per l'irrigazione dell'herbarium, e in un apposito serbatoio di raccolta, per alimentare la lavastoviglie; i flussi di calore vengono gestiti tra forno, piano cottura, cappa di aspirazione, herbarium.

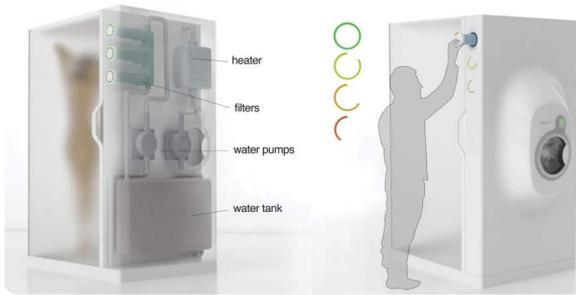


FIGURA 3. Wash-It (Berk). Sistema bi-funzionale composto da una cabina che include sia la doccia che un vano lavatrice per indumenti. L'impianto è costituito da un sistema idraulico chiuso alimentato mediante pompe, tre differenti stadi di filtraggio, un dispositivo UV per l'abbattimento della carica batterica, un riscaldatore, e una unità di accumulo. Mentre l'utente fa la doccia, l'impianto raccoglie l'acqua dal fondo della cabina, la filtra e la raccoglie affinché possa essere utilizzata per fare una doccia successiva, o per lavare i vestiti. (Fonte: www.berkilhan.com)

La progettazione, che sostanzialmente consiste nel plasmare flussi di materia ed energia al fine di soddisfare i bisogni dell'uomo, diviene un processo di trasformazione in cui i bisogni che la stimolano vengono tradotti in combinazioni di risorse, contestualizzate negli schemi dei sistemi naturali, da cui assimilano i principi organizzativi. Contestualizzazione che si può spingere fino a una vera e propria ibridazione naturale-artificiale, che si concretizza in sistemi-prodotto in cui alcune funzioni vengono svolte da sottosistemi biologici, veri e propri componenti viventi che si integrano nel sistema artificiale per svolgere anche la stessa funzionalità primaria (Figure 4 e 5).



FIGURA 4. BioLogic (Whirlpool). Sistema per il lavaggio degli indumenti la cui funzione primaria è svolta da agglomerati di piante acquatiche idroponiche. Il sistema si ispira a un approccio "slow wash", basato sui processi ciclici di rigenerazione naturale. I cestelli di lavaggio sono immersi nell'unità contenente le piante, che purificano le acque grigie del lavaggio. (Fonte: Barbero S, Cozzo B, Ecodesign, Ullmann, 2009)



FIGURA 5. Bel-Air (Le Laboratoire Paris/Harvard University). Purificatore d'aria per interni che si avvale delle capacità di purificazione di alcune piante (gerbera, filodendro, spatifillo). Ispirato a una ricerca promossa dalla NASA per migliorare la qualità dell'aria all'interno degli space shuttle. (Fonte: www.mathieulehanneur.fr)

[02. CICLO DI VITA: PROGETTO E PRODOTTO]

Nato nell'ambito degli studi sui sistemi biologici, il concetto di "ciclo di vita" si è ampiamente diffuso come modello per l'analisi e l'interpretazione di fenomeni caratterizzati da processi di cambiamento. Gli ambiti di applicazione sono svariati, dalle scienze sociali ai processi di innovazione tecnologica. In particolare questo secondo caso rappresenta uno degli esempi più interessanti di utilizzo della metafora di evoluzione biologica nel campo della gestione delle attività industriali [8]. A partire da questo tipo di esperienze il modello del ciclo di vita, applicato allo sviluppo di prodotto, diviene un fattore chiave nella gestione dell'innovazione tecnologica, nell'ambito della quale è stato riconosciuto come un efficace strumento di analisi e supporto nelle fasi decisionali del progetto. Esso si basa sulla metafora dei fenomeni di crescita organica tipici della biologia evolutiva, dei quali mette in evidenza due caratteristiche peculiari [9]:

- la progressione degli eventi (event progression), caratterizzata da una sequenza unitaria, cumulativa (in cui ogni fase intermedia è un precursore necessario alla fase successiva), e connettiva (le fasi sono



correlate come se derivassero da un programma condiviso); secondo questa visione, ogni fase del ciclo contribuisce allo sviluppo del risultato finale, e deve svolgersi secondo un ordine prestabilito, poiché il suo contributo è necessario allo svolgimento delle fasi successive;

- la forza di generazione (*generating force*), costituita da una forma, una logica, un programma predefinito, insito nel soggetto che evolve, che ne orienta l'evoluzione; questa caratteristica, che definisce il meccanismo di generazione e guida del cambiamento, chiarifica la relazione tra il fattore evolutivo interno al soggetto, e l'ambiente in cui esso nasce e si sviluppa, con quest'ultimo (l'ambiente naturale nel caso dei sistemi biologici; la società, il mercato, le istituzioni nel caso dei sistemi tecnologici) che influenza il modo in cui il soggetto esprime la sua trasformazione, ma pur sempre con la mediazione di quel "programma immanente" che governa lo sviluppo dell'entità.

Con queste premesse, in linea di principio il modello del ciclo di vita può essere applicato a qualsiasi sistema che attraversa una serie di cambiamenti nel corso della sua esistenza. Allo stato attuale il suo utilizzo come supporto decisionale è ben consolidato nell'ambito del management del prodotto, soprattutto per quel che riguarda alcune questioni strategiche nella gestione della produzione industriale: la gestione delle strutture organizzative delle attività produttive; l'analisi e le previsioni sul mercato in base all'evoluzione delle tecnologie; lo sviluppo e l'introduzione di nuovi prodotti nel mercato. La prospettiva evolucionistica, che vede non solo le attività produttive, ma anche le tecnologie e gli stessi prodotti svilupparsi secondo un percorso evolutivo che attraversa fasi diverse, si è ben radicata nella gestione dei prodotti in relazione alle dinamiche di mercato [10], nel cui ambito il ciclo di vita viene inteso come il periodo durante il quale il prodotto è presente sul mercato, ed è caratterizzato dal susseguirsi di quattro fasi principali: introduzione, crescita, maturità, declino. In questo caso il modello del ciclo di vita diviene supporto per la rappresentazione della storia del prodotto nel mercato, con l'obiettivo di descrivere il comportamento del prodotto dallo sviluppo al ritiro, per ottimizzarne il valore e le potenzialità di profitto in relazione a ciascuna fase del ciclo [11], e guidare le scelte decisionali della funzione manageriale in relazione alle possibili strategie di intervento (azioni di marketing, calibrazione del prezzo di mercato, definizione delle strategie di servizio, upgrading, sostituzione del prodotto).

Le stesse premesse concettuali del modello del ciclo di vita ne evidenziano le potenzialità di utilizzo anche nella gestione di altri aspetti, con particolare riguardo al processo di progettazione e sviluppo di prodotto [12]. Considerando allora il prodotto come unica entità che ne comprende la dimensione astratta (bisogno, concept, progetto) e quella concreta (prodotto realizzato), il suo ciclo di vita può essere inteso come sequenza prestabilita di fasi evolutive (*event progression*), in cui ogni fase è necessaria allo svolgimento delle fasi successive, e contribuisce in modo diverso allo sviluppo della vita del prodotto finale. La sequenza evolutiva comprende tutte le fasi dalla concezione e progettazione del prodotto, alla fabbricazione, distribuzione, utilizzo e dismissione. L'intero ciclo di vita che tale sequenza rappresenta, è costituito quindi da due parti:

- *development cycle*, che comprende la prima parte del ciclo di vita dell'entità-prodotto, inteso nella sua dimensione astratta, ovvero l'intero processo di progettazione e sviluppo, per mezzo del quale il bisogno viene tradotto in concept, e successivamente nel progetto completo;
 - *physical cycle*, che costituisce la successiva parte del ciclo di vita dell'entità-prodotto, inteso questa volta nella sua dimensione tangibile, in quanto prodotto realizzato, e che comprende tutte le fasi che vengono attraversate dal prodotto nella sua vita fisica (produzione, utilizzo, dismissione).
- In questa visione, inoltre, i bisogni alla base dell'idea di prodotto e i requisiti progettuali vanno a interpretare il ruolo di fattori generanti e fattori evolutivi interni all'entità-prodotto (*generating force*). I requisiti di progetto si traducono in proprietà del prodotto, che idealmente ne possono condizionare il comportamento durante l'intero ciclo di vita, e quindi ne possono guidare l'evoluzione in relazione ai diversi ambienti in cui l'entità-prodotto evolve (non solo il mercato, ma l'intero sistema economico, la società, l'ecosistema).

Ne deriva una prospettiva che guarda al sistema progetto-prodotto come a un organismo vivente (il prodotto) intrinsecamente connesso al suo processo di crescita organica (il progetto) (Figura 6): la progettazione del prodotto crea la *generating force* mediante la definizione dei bisogni che il prodotto deve soddisfare, e lo sviluppo delle proprietà che il prodotto acquisisce come diretta conseguenza delle scelte progettuali; creata e accumulata durante la parte astratta del ciclo di vita, quella appunto dello sviluppo progettuale, la *generating force* si manifesta successivamente nel ciclo di vita fisico del prodotto attraverso le proprietà di quest'ultimo, che ne condizionano il comportamento nelle fasi di produzione, utilizzo, dismissione, in stretta relazione con l'ambiente (socio-tecnologico, economico, ecologico) in cui queste fasi si sviluppano.

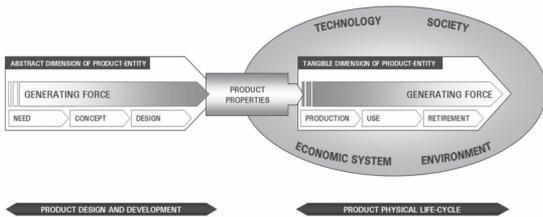


FIGURA 6. Sistema organico progetto-prodotto. Il prodotto evolve dalla dimensione astratta del progetto a quella fisica dell'artefatto realizzato, secondo una sequenza di fasi (event progression). L'intero processo evolutivo è guidato dal programma (generating force) che anima l'idea di prodotto, dà impulso al progetto e determina il comportamento del prodotto realizzato nel suo ciclo di vita. (Fonte: Giudice F, La Rosa G, Risitano A, Product Design for Environment: A Life Cycle Approach, Taylor&Francis, 2006)

Uno dei frutti di questa visione, e dei ruoli che i requisiti, le scelte di progetto, e le proprietà del prodotto assumono nel rapporto tra sviluppo di prodotto e ciclo di vita fisico, consiste nella piena espressione dell'approccio al ciclo di vita nella progettazione di prodotto, alla base dell'impostazione metodologica del progetto nota come Life Cycle Design, che promuove un'esperienza progettuale orientata a tenere conto delle necessità correlate a tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto (dallo sviluppo, alla produzione, distribuzione, utilizzo, manutenzione, dismissione e recupero) nell'ambito dell'intero processo di sviluppo del progetto, dalla definizione del concept, allo sviluppo del sistema, alla descrizione dettagliata di forme e materiali che ne costituiranno le parti [13-16].

Il concetto stesso di progettazione evolve. Essa non deve solo limitarsi a trasformare un bisogno nella descrizione dettagliata del prodotto che lo soddisfa. Deve anche garantire che tale trasformazione avvenga tenendo in considerazione la vasta gamma di requisiti legati alle diverse fasi del ciclo di vita che il prodotto attraverserà. Per supportare questo approccio multi-requisito, e gestire i possibili conflitti tra requisiti contrastanti, nasce il Design for X, dove la X di volta in volta sta per un diverso requisito di prodotto, che ne caratterizza il comportamento in relazione a una o più fasi del suo ciclo di vita [17-20]. Tra gli esempi più noti: il Design for Assembly and Manufacturing, che orienta il progetto allo scopo di semplificare la fabbricazione dei componenti, e facilitarne l'assemblaggio; il Design for Serviceability, che mira a facilitare gli interventi di servizio e manutenzione durante l'utilizzo del prodotto; il Design for Adaptability and Upgradability, che predispongono il prodotto all'estensione della vita di utilizzo, mediante possibilità di riadattarlo o aggiornarlo al mutare delle necessità; il Design for Disassembly and Recovery, il cui obiettivo è quello di definire soluzioni di progetto mirate a facilitare le operazioni di smontaggio e separazione a fine utilizzo, e il recupero mediante riutilizzo di componenti o riciclo dei materiali. Col supporto di questi strumenti, i prodotti prendono forma in rapporto a come il progettista prefigura debbano attraversare le fasi del ciclo di vita, esaltando alcuni requisiti piuttosto che altri (Figure 7 e 8).



FIGURA 7. Mirra Chair (Herman Miller). Progettata secondo i principi del Design for Disassembly e Design for Recycling, è costituita da componenti separabili in acciaio, alluminio, polimeri, schiume, e materiali tessili, con un totale di materiali riciclati del 42%. A fine vita consente una frazione di riciclo fino al 96%. (Fonte: Bhamra T, Lofthouse V, Design for Sustainability: A Practical Approach, Gower Publishing Limited, 2007)



FIGURA 8. EVA (Scavolini). Sistema modulare per la cucina costituito da differenti unità multi-funzione, adattabili a esigenze differenti, in modo da costituire un sistema dinamico, flessibile al mutare delle necessità. Il modulo di asciugatura delle stoviglie può essere utilizzato come credenza, il piano di lavoro può essere convertito in tavolo, la cassettera può costituire un'unità mobile indipendente. Il progetto porta alle estreme conseguenze i presupposti del Design for Adaptability. (Fonte: Barbero S, Cozzo B, Ecodesign, Ullmann, 2009)



[03. DENTRO LA MATERIA: STRUTTURA, TRASFORMAZIONE, IMMATERIALE]

L'atto del "progettare" ha le sue radici nell'attitudine dell'uomo a manipolare la materia e l'ambiente naturale per soddisfare i propri bisogni, ideando e realizzando un vero e proprio ambiente artificiale. E' dunque un'attività finalizzata a cambiare realtà esistenti in modo da realizzare le condizioni che si preferiscono, e si concretizza in processi di trasformazione di risorse materiali (oltre che conoscitive, umane, economiche), finalizzati alla traduzione di un insieme di necessità in realizzazioni fisiche (artefatti, dispositivi, sistemi), in grado di soddisfare tali necessità [21]. Lo stretto rapporto tra materiali e progettazione, che originariamente si basava sullo sfruttamento dei materiali presenti in natura, si è via via evoluto con la capacità di trasformare la struttura stessa della materia, modificandone le caratteristiche, fino a creare nuovi materiali. Da allora il rapporto è diventato biunivoco: le proprietà dei materiali ispirano il progettista e lo orientano verso nuove soluzioni, e allo stesso tempo le necessità della progettazione guidano lo sviluppo di nuovi materiali [22]. Una dinamica di stimolo biunivoco, che lega la scienza dei materiali e l'esperienza della progettazione, mediante il ruolo svolto dalle proprietà dei materiali [23]: quello di legame tra struttura e composizione della materia, e comportamento prestazionale del materiale nelle realizzazioni costruttive.

Nella pratica del progetto, dunque, la scelta dei materiali guarda ad essi nella loro capacità di assolvere le funzionalità richieste, nelle condizioni di esercizio previste, basandosi sull'analisi delle loro proprietà e delle potenzialità che queste ultime nel loro insieme possono conferire ai componenti da realizzare. A meno che il paradigma venga invertito, nel qual caso il materiale, con le sue proprietà, ispira il progettista e lo guida nella concezione del prodotto. In entrambi i casi, i materiali sono comunque percepiti come insiemi di proprietà, che possono rispondere a un'esigenza, o ispirare la creatività; proprietà intese separatamente come singole potenzialità, o tutt'al più come combinazioni significative in relazione a specifiche applicazioni [24-25]. Questa visione cristallizzata, ma istintiva, "pratica", che si è dimostrata fruttuosa dal punto di vista realizzativo, mostra dei limiti se si guarda alle proprietà intrinseche dei materiali, e della stessa materia che, allo stato nativo o per trasformazione, li compone, secondo "regole" o pattern che si ripetono, e che sostengono i processi naturali di nucleazione, crescita, trasformazione.

L'intima natura della materia, benché lungamente indagata, rimane sfuggente. L'atteggiamento della scienza fisica a riguardo è tutt'oggi pragmaticamente "agnostico": alla luce dell'impossibilità di proporre un'interpretazione univoca, l'interesse si rivolge piuttosto a come si possa descrivere il comportamento della materia, per poter affermare che essa si comporta come se fosse fatta in un certo modo. La materia rimane dunque percepibile intuitivamente secondo un livello legato sostanzialmente alla sua apparenza, come ciò che dà sostanza alle cose naturali, e se ne può descrivere il comportamento mediante modelli accettabili della realtà fisica, ricondotti a livelli di organizzazione. Al livello più basso, dove si collocano le strutture più piccole, vi sono gli atomi. Al livello successivo, questi si aggregano in molecole, unità strutturali costituite da due o più atomi, uguali o diversi. A un livello superiore di organizzazione le molecole interagiscono tra loro per dare origine alle cellule, strutture complesse caratterizzate da una fondamentale proprietà: la vita. E' questo il punto della tassonomia organizzativa in cui la materia si differenzia: la materia vivente si struttura secondo livelli cui corrisponde una sempre maggiore complessità (tessuti, organi, apparati, organismi, popolazioni, comunità, fino agli ecosistemi, insiemi di comunità e dell'ambiente fisico nel quale esse vivono e interagiscono, e alla biosfera, comunemente intesa come la parte del pianeta in cui sono presenti organismi viventi).

Ciò che distingue la materia vivente, da quella inanimata, è la capacità di riprodursi, e di svilupparsi secondo un "progetto interno", ovvero la presenza in tutte le cellule di due tipi di biomolecole complesse: le proteine e il DNA. Ciò che invece accomuna la materia vivente a quella non vivente sono i livelli organizzativi di base: tutte le cellule che costituiscono gli organismi sono costituite a loro volta da molecole, formate da atomi legati tra loro; atomi e molecole presenti nelle cellule obbediscono alle stesse leggi della fisica e della chimica che governano la materia inanimata. A questo livello, dunque, ogni corpo, vivente o meno, è costituito da atomi, che rispondono a leggi indipendenti dalla natura stessa della materia. Questi ultimi sono ben lontani dall'esserne il componente di base, ovvero corpuscoli compatti e indivisibili, come si pensava nell'antichità. Essi sono costituiti a loro volta da particelle subatomiche (nuclei, elettroni), subnucleari (protoni e neutroni), via via fino alle entità attualmente indagate dalla fisica delle particelle elementari. Di questa natura corpuscolare della struttura atomica, alcune caratteristiche vanno evidenziate, poiché esse si trasmettono anche ai livelli organizzativi superiori (molecole, cellule, organismi e sistemi viventi): tra una particella e l'altra vi sono interstizi enormi, rapportati alle dimensioni delle particelle stesse, il che significa che la materia, vivente o non vivente, è costituita prevalentemente da "spazio", più che da "corpi pieni"; questi ultimi, di natura corpuscolare, sono in continuo movimento, quando non instabili (soggetti a cicli continui di emissione e riassorbimento); ciò che tiene insieme la materia, in entrambi i casi, sono i legami che costituiscono una sorta di tessitura di corpuscoli nello spazio, ovvero l'energia di questi legami.



Le indagini sulla struttura più intima della natura ci forniscono allora una visione della dimensione materiale che sfugge alla percezione strettamente sensoriale: essa è, più di ogni altra cosa, energia. Evidenza questa che era stata prefigurata nel secolo scorso mediante la formulazione di quella che è forse diventata l'equazione più famosa della fisica ($E=mc^2$), in cui si esprimeva la relazione diretta tra massa e energia, rivelando la natura puramente convenzionale della loro distinzione. Anche se il dominio dell'energia sulla materia in verità era già stato assimilato ben prima dalle conoscenze tradizionali: "È un Sole nascosto in un atomo: improvvisamente apre la bocca. I cieli e la terra si sgretolano in polvere davanti questo Sole quando sorge all'improvviso" (Jalal al-Din Rumi, Mathnawi, XIII sec.).

Riflettere sulla natura dei materiali, e sulla stessa materia solida (caratterizzata dalla tendenza a conservare integrità strutturale e forma) che li compone, estende la visione oltre le sole proprietà, gettando forse le basi per nuovi modi di pensare e plasmare i materiali, e ottenere nuove forme del mondo artificiale che tendiamo a crearci. Pur presentandosi sotto forme estremamente diverse, dunque, e anche nelle forme più compatte, la struttura intrinseca della materia si rivela discontinua, dinamica, e sorretta da energia.

Ancora l'energia ha un ruolo fondamentale anche rispetto alla stabilità della materia: questa è appunto stabile quando si trova in una condizione di "minimo energetico", e si trasforma secondo processi che evolvono da una condizione di "energia maggiore" a una di "energia minore", ovvero tendendo al minimo energetico. Quest'ultimo comportamento è anch'esso espressione del principio di minima azione che, come detto in precedenza, governa tutti i processi in natura.

Risulta così che ad esempio i metalli, cioè i materiali percepiti come solidi stabili per eccellenza, protagonisti dello sviluppo delle realizzazioni dell'uomo fin dall'antichità, allo stato nativo (così come si trovano in natura) o ottenuti per processi di trasformazione, in condizioni di purezza o in lega con altri metalli differenti, sono sempre costituiti da strutture cristalline a geometria regolare, in cui gli atomi si dispongono nello spazio in posizioni ben precise, come risultato di interazioni reciproche che si stabilizzano nella condizione di minimo energetico. Il ripetersi delle strutture cristalline nelle tre dimensioni spaziali costituisce i grani, che si orientano in maniera diversa e condividono superfici di confine, secondo una topologia che richiama le geometrie poliedriche tipiche delle formazioni cellulari, come evidenziato da ben noti studi seminali sulle strutture naturali [26]. Anche a questo livello le configurazioni di stabilità sono rispondenti a meccanismi di minima energia, del tutto analoghi a quelli che guidano i processi di aggregazione osservabili in natura (Figura 9).

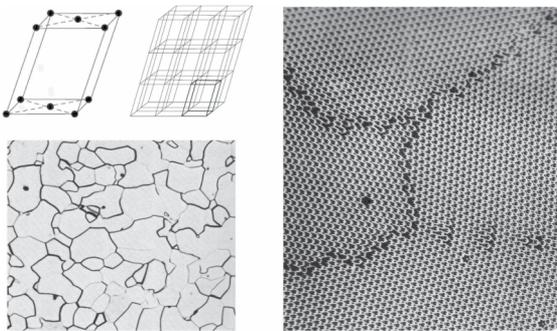


FIGURA 9. Atomi metallici posizionati secondo una specifica tipologia di struttura cristallina (monoclinica a base centrata), che si ripete nelle tre direzioni spaziali. Aggregazioni cristalline orientate in maniera differente costituiscono grani contigui, che si interfacciano ai bordi di grano. Questo modello di struttura metallica su scala atomica è ben rappresentato dall'aggregazione spontanea di bolle di sapone (a destra in figura), che per i noti meccanismi di equilibrio tra forze di tensione superficiale formano anch'esse "bordi di grano" quando si incontrano zone di differente orientazione. (Fonte: Smith CS, A Search for Structure, MIT Press, 1981)

La morfologia microstrutturale che nasce da trasformazioni radicali, come i cambiamenti di fase, assume geometrie anch'esse plasmate da processi a minimo energetico, del tutto analoghe a morfologie riscontrabili in natura, come ad esempio nelle trasformazioni di alcuni composti organici (Figura 10).

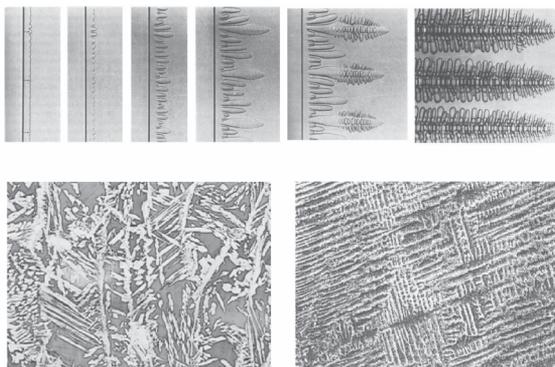


FIGURA 10. Nella solidificazione delle leghe metalliche, sotto determinate condizioni, possono svilupparsi strutture con una tipica morfologia ramificata detta dendritica, comune nei processi di solidificazioni di composti chimici di varia natura (in alto nella figura, la nucleazione e crescita dendritica nella solidificazione di molecole organiche in soluzione). Nelle leghe metalliche la morfologia dendritica può essere ramificata (in basso a sinistra), o equiassica (in basso a destra), a seconda della composizione della lega e delle condizioni di raffreddamento. (Fonte: Campbell FC, Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, ASM International, 2008)



La materia che il progettista trasforma in artefatti è una matrice per lo più costituita da “spazi vuoti”, in cui i “pieni” creano strutture stabili mediante una tessitura di legami a minima energia. Intendere i materiali come combinazioni non più di proprietà fisico-chimiche, ma di “pieni”, “vuoti”, e legami energetici, è un punto di vista che presenta delle potenzialità da esplorare. Ad esempio, rimanendo ancora nel campo delle leghe metalliche, è possibile comprendere appieno la natura degli effetti che noti processi di miglioramento delle prestazioni hanno sulle proprietà del materiale (Figura 11): l'incremento di proprietà tangibili come la resistenza, non dipende da un rafforzamento delle masse particellari, ma da un riassetto energetico della struttura secondo nuove configurazioni più efficienti e stabili; a conferma del ruolo dell'energia, inoltre, non è un caso che tali processi siano innescati per lo più da innalzamento di temperatura, cioè da immissione di energia termica nel sistema, o dall'applicazione di forze deformative, cioè da immissione di energia meccanica. E' evidente che una corretta interpretazione di questi processi, e dei fenomeni intrinseci che li governano, diviene basilare per poter “progettare” un materiale, pianificando processi di trasformazione che agiscano in maniera prevedibile sui legami energetici, al fine di ottenere proprietà specifiche.

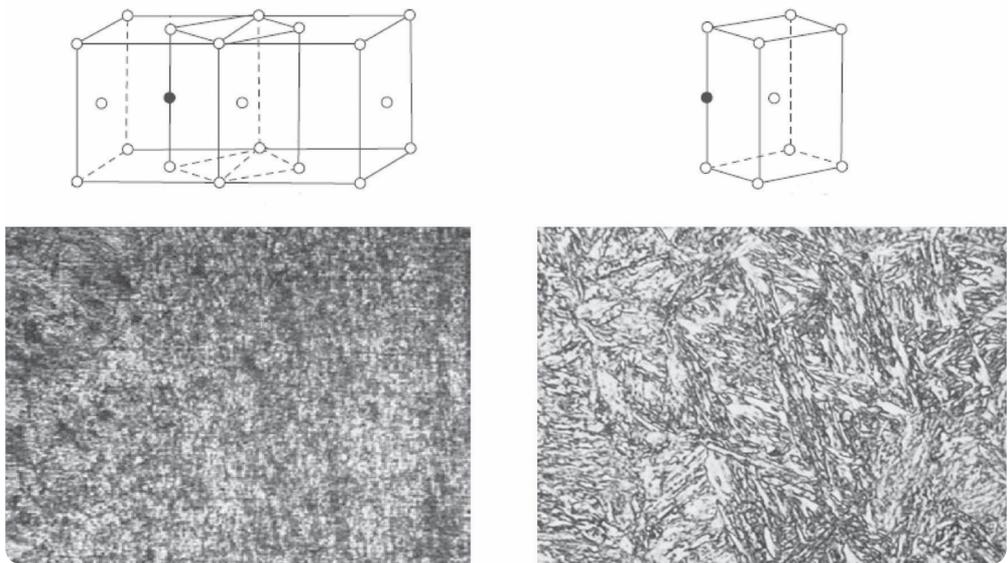


FIGURA 11. Nel noto trattamento di tempra degli acciai, la struttura austenitica (a sinistra in figura), ottenuta mediante riscaldamento e poi sottoposta a rapido raffreddamento, si riconfigura secondo una nuova struttura, detta martensitica (a destra). Meccanismi di distorsione del reticolo, che si innescano per mantenere la continuità della struttura durante la trasformazione, determinano la morfologia aciculare tipica del tessuto intragranulare della fase martensitica (in basso). Dal riassetto energetico, innescato dall'innalzamento di temperatura, si ottiene un sensibile incremento delle proprietà di resistenza e durezza. (Fonte: Campbell FC, Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, ASM International, 2008)

E ancora, pur presentando delle potenzialità certo non paragonabili a quelle della materia vivente, anche i materiali inorganici, condividendone la struttura di base, dalla “vitalità” della prima possono arrivare a trarre ispirazione nella loro evoluzione (Figura 12).

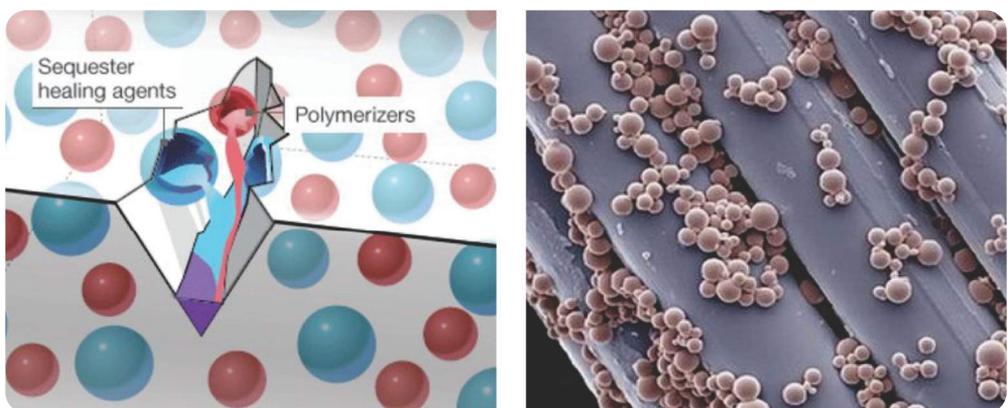


FIGURA 12. Lo sviluppo dei materiali self-healing si ispira alla capacità di auto-riparazione di tessuti e organismi. Predisponendo all'interno del materiale delle microcapsule in cui sono segregati separatamente un “agente guaritore” (solitamente un polimero), e un secondo agente che attiva il primo (una sostanza catalizzatrice che attiva la polimerizzazione), all'insorgere del danneggiamento del materiale le microcapsule si rompono, rilasciando le sostanze che reagiscono tra loro riempiendo e “sanando” la frattura. (Fonte: www.bbc.com/news/science-environment-19781862)



L'interpretazione della natura intrinseca della materia è in continua evoluzione, e ci fornisce modelli sempre più raffinati. Si pensi ad esempio al caso dell'interpretazione quantistica, che attribuisce alla materia simultaneamente caratteristica sia particellare che ondulatoria, dunque esaltandone il comportamento dinamico. Al di là di qualsiasi modello interpretativo, l'essenza della materia è spazio, movimento, legame, energia; superato il limite oltre il quale gli occhi del progettista, come di chiunque altro, non vedono, questi elementi immateriali sostengono tutte le cose, e sono i veri custodi delle proprietà che le caratterizzano. In ultima istanza, allora, l'osservazione della natura ci insegna che le potenzialità della materia che il progettista plasma per dare forma alle sue idee vanno ben oltre ciò che è visibile e strettamente "materiale", ma piuttosto (e se vogliamo, paradossalmente) risiedono in ciò che ne costituisce la componente "non-materiale".

Aggiungere i versi finali, che erano riportati nell'articolo originario:

"Portami un frutto da quell'albero."

"Eccolo."

"Aprilo."

"L'ho aperto."

"Cosa vedi al suo interno?"

"Dei piccoli semi."

"Aprine uno."

"L'ho aperto."

"Cosa vedi al suo interno?"

"Nulla."

"In verità, figlio mio, da questo nulla, da questa essenza così fine che tu non puoi percepirla, nasce quest'albero maestoso. Da questo nulla è costituito ciò che esiste: esso è il reale, è il sé di tutto. Tu sei quello (Tat tvam asi)."

(Chandogya Upanishad)

[BIBLIOGRAFIA]

- [1] Ehrenfeld J, Gertler N, *Industrial Ecology in practice: The evolution of interdependence at Kalundborg*, Journal of Industrial Ecology, 1, 67-79, 1997.
- [2] Frosch RA, Gallopoulos NE, *Strategies for manufacturing*, Scientific American, 261, 94-102, 1989.
- [3] Ayres RU, *Industrial metabolism*, in Technology and Environment, Ausubel, J.H. and Sladovich, H.E., Eds., National Academy Press, Washington, DC, 1989, 23-49.
- [4] Benyus JM, *Biomimicry, Morrow*, New York, 1997.
- [5] Jelinski LW et al., *Industrial Ecology: Concepts and approaches*, in Proceedings of National Academy of Sciences, Colloquium on Industrial Ecology, Washington, DC, 89, 1992, 793-797.
- [6] Graedel TE, Allenby BR, *Industrial Ecology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.
- [7] Ayres RU, Ayres LW, *A Handbook of Industrial Ecology*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, 2002.
- [8] Abernathy WJ, Utterback JM, *Patterns of industrial innovation*, Technology Review, 80, 40-47, 1978.
- [9] van de Ven AH, Poole MS, *Explaining development and change in organizations*, The Academy of Management Review, 20, 510-540, 1995.
- [10] Massey GR, *Product evolution: A Darwinian or a Lamarckian phenomenon?*, Journal of Product and Brand Management, 8, 301-318, 1999.
- [11] Ryan C, Riggs WE, *Redefining the product life cycle: The five-element product wave*, Business Horizons, 39, 33-40, 1996.
- [12] Giudice F, La Rosa G, Risitano A, *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach*, Taylor & Francis/CRC Press, Boca Raton, FL, 2006.
- [13] Alting L, *Life-Cycle Design of products: A new opportunity for manufacturing enterprises*, in Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques, Kusiak A, Ed., John Wiley & Sons, New York, 1993, 1-17.
- [14] Ishii K, *Life-Cycle Engineering Design*, Journal of Mechanical Design, 117, 42-47, 1995.
- [15] Molina A, Sánchez JM, Kusiak A, *Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, Models and Technologies*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 1998.
- [16] Wanyama W et al., *Life-Cycle Engineering: Issues, tools and research*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 16, 307-316, 2003.
- [17] Keys LK, *System life cycle engineering and DF²X*, IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, 13, 83-93, 1990.
- [18] Bralla JG, *Design for Excellence*, McGraw-Hill, New York, NY, 1996.
- [19] Huang GQ, *Design for X: Concurrent Engineering Imperatives*, Chapman & Hall, London, 1996.
- [20] Kuo T-C, Huang SH, Zhang H-C, *Design for manufacture and design for 'X': Concepts, applications, and perspectives*, Computers and Industrial Engineering, 41, 241-260, 2001.



- [21] Simon HA, *The Science of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, MA, 1981.
- [22] Ashby MF, Drivers for material development in 21st century, *Progress in Materials Science* 46,191-199, 2001.
- [23] Dieter GE, *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*, McGraw-Hill, Singapore, 2000.
- [24] Ashby MF, *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press, London, 1992.
- [25] Ashby MF, Johnson K, *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
- [26] Thompson DW, *On Growth and Form*, Cambridge University Press, Cambridge, 1961.

[RINGRAZIAMENTI]

Ritornando con la mente a quei primi passi mossi nel campo della bionica, a quell'esperienza in cui l'osservazione della natura è diventata guida e ispirazione, non posso che concludere riconoscendo quello che è stato il valore aggiunto, che l'ha impreziosita: le persone con le quali l'ho condivisa. Ringrazio quindi i miei compagni non solo di master, ma di quel tratto di vita, Maria Paula, Barbara, Andrea, Giorgio, che sono stati, ciascuno a suo modo, i migliori che potessi avere; i docenti del corso, e in particolare Carlo Vezzoli, relatore della mia tesi di master; gli amici del CRIED, che mi hanno accolto con calore; tra questi, un ringraziamento particolare va a Matteo e Cristina, che mi hanno fatto sentire parte di quel tutto, e uno supplementare va ad Amilton, promotore di questo progetto editoriale, che ha voluto condividere anche con me; ringrazio infine tutte le persone incontrate durante quell'esperienza, che hanno sorriso a me e con me.

