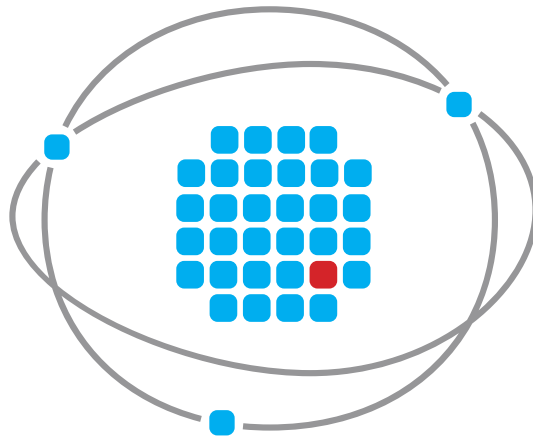


I Università Iuav di Venezia
- - - Scuola di Dottorato
U
- - -
A Dottorato di ricerca in Scienze del Design
- - - XXIV ciclo
V a.a. 2009/2012



Progettare e innovare con le nanotecnologie

L'importanza della progettazione di nuovi prodotti nell'ambito nanotecnologico, modi e strumenti per sviluppare il processo innovativo

relatore
Medardo Chiapponi

correlatrice
Laura Badalucco

coordinatore
Giovanni Anceschi

dottorando
Luca Casarotto

I Università Iuav di Venezia
- - -
U Scuola di Dottorato
- - -
A Dottorato di ricerca in Scienze del Design
- - -
V XXIV ciclo
a.a. 2009/2012

Progettare e innovare con le nanotecnologie

L'importanza della progettazione di nuovi prodotti
nell'ambito nanotecnologico, modi e strumenti
per sviluppare il processo innovativo

relatore
Medardo Chiapponi

correlatrice
Laura Badalucco

coordinatore
Giovanni Anceschi

dottorando
Luca Casarotto

Ogni scienziato deve di tanto in tanto
cambiare direzione e chiedersi non
tanto: “Come posso risolvere questo
problema?”, bensì: “Ora che sono arrivato
a un risultato, che problemi ho risolto?”
Norbert Wiener (1993, p. 45)

Abstract

Ogni innovazione tecnologica avvia dei processi di trasformazione che si sviluppano trasversalmente nel sistema tecnico, sociale, culturale ed economico che li circonda.

Anche l'innovazione dei prodotti è direttamente correlata a questo processo che permette la creazione di nuovi artefatti e lo sviluppo di nuove categorie di prodotti. Se il rapporto tecnologia/prodotti è un processo consolidato e universalmente riconosciuto, non lo è invece quello prodotti/tecnologia. L'innovazione di prodotto non avvia infatti dei processi di sviluppo tecnologico diretti ma, indirettamente, propone nuove problematiche e indirizzi di ricerca che possono riguardare anche la stessa innovazione tecnico-scientifica.

Con questa prospettiva è stato analizzato il tema delle nano applicazioni, un'innovazione tecnologica recente che non ha ancora trovato ampia applicazione nel panorama dei prodotti e che, dal punto di vista dello sviluppo tecnologico, è per lo più ancora in fase di ricerca.

L'obiettivo di questa tesi è quello di avvalorare l'importanza dei prodotti e della progettazione nei processi di innovazione (in particolare quella tecnico-scientifica) prendendo come ambito d'indagine le applicazioni nanotecnologiche. Dopo una prima parte teorica sui processi di innovazione, sono stati individuati gli strumenti pratici che meglio possono permettere uno sviluppo simultaneo dei due processi (tecnico-scientifico e di prodotti).

Nello specifico è stato individuato il database come lo strumento ottimale per mettere in relazione i due processi e le figure professionali che operano nei differenti ambiti. È quindi stato presentato una proposta di database che, sulla base delle proprietà delle applicazioni nanotecnologiche, riesca a mettere in relazione le differenti conoscenze, le scoperte e le proposte di ricercatori, gli ingegneri e i progettisti. Il risultato finale permette quindi di evidenziare come un progettista possa contribuire a produrre innovazione nel campo delle nanotecnologie.

Sommario

1 Introduzione

3 1 L'innovazione

- 3 1.1 L'ambito
- 4 1.2 La tecnologia e i prodotti
- 8 1.3 Gli attori dell'innovazione
- 12 1.4 I diversi tipi di innovazione

15 2 Lo sviluppo tecnico-scientifico e i prodotti

- 15 2.1 Lo sviluppo del processo
- 16 2.2 Le innovazioni e le invenzioni
 - 16 2.2.1 Le innovazioni incrementali
 - 17 2.2.2 Le innovazioni radicali
 - 17 2.2.3 Le invenzione
 - 17 2.2.4 Il livello di innovazione
 - 18 2.2.5 L'interruzione dell'innovazione
 - 18 2.2.6 L'analisi di più processi
 - 19 2.2.6.1 *I processi crescenti e decrescenti*
- 21 2.3 Le innovazioni e i prodotti
 - 22 2.3.1 I progetti e i prodotti
 - 23 2.3.2 Le innovazioni in commercio
 - 23 2.3.3 I progetti sperimentali e i prototipi
 - 23 2.3.3.1 *Il time to market*
 - 24 2.3.3.2 *I differenti processi in commercio*
- 24 2.4 Alcuni esempi
 - 24 2.4.1 La telefonia mobile
 - 26 2.4.2 Blackberry, HTC e Apple iPhone
 - 29 2.4.3 I display, gli smartphone, i tablet e i TV display
- 31 2.5 Conclusioni
 - 31 2.5.1 La relazione tra gli elementi
 - 32 2.5.2 Le differenti tipologie di prodotti
 - 33 2.5.3 Il passaggio tecnologico
 - 34 2.5.4 I prodotti, i nuovi prodotti e i sistemi di prodotti

37 3 Le nanotecnologie, applicazioni, storia e proprietà

- 37 3.1 I prodotti nanotecnologici
- 40 3.2 Perché le nanotecnologie
- 40 3.3 La storia
- 43 3.4 Le dimensioni
- 46 3.5 La multidisciplinarietà
- 47 3.6 I processi top down e bottom up
- 49 3.7 I diversi tipi di nanotecnologie
 - 49 3.7.1 I nanomateriali
 - 50 3.7.1.1 *I nanomateriali 0-D*
 - 50 3.7.1.2 *I nanomateriali 1-D e 2-D*
 - 51 3.7.1.3 *I nanomateriali 3-D*
 - 52 3.7.2 I MEMS e i NEMS
- 52 3.8 Le nanotecnologie, prodotti e progettazione

57 4 Lo strumento di relazione tra ricerca e prodotti

- 57 4.1 La diffusione dei risultati
- 58 4.2 Quale strumento
- 58 4.3 I database
- 59 4.4 L'analisi dei database
 - 59 4.4.1 Come si è sviluppata l'analisi
 - 60 4.4.1.1 *Contesto*
 - 60 4.4.1.2 *Vincoli considerati*
 - 61 4.4.2 Valutazione dei database
 - 61 4.4.2.1 *Dati generali*
 - 61 4.4.2.2 *Fonti come strumento organizzativo*
 - 62 4.4.2.3 *Classificazione delle fonti*
 - 63 4.4.2.4 *Modello di scheda, dati generali*
 - 64 4.4.2.5 *Modello di scheda, database di applicazioni*
 - 64 4.4.2.6 *Modello di scheda, database di progetti*
 - 64 4.4.3 Risultati dell'analisi
- 64 4.5 Osservazioni
 - 65 4.5.1 Le principali problematiche dei database
 - 65 4.5.2 Le modalità di ricerca
 - 66 4.5.3 La rappresentazione dei dati
 - 66 4.5.4 La classificazione delle applicazioni
 - 67 4.5.5 La rappresentazione dei progetti
 - 67 4.5.6 Problemi nel reperire i dati
- 68 4.6 L'analisi di altre fonti
 - 68 4.6.1 Come si è sviluppata l'analisi
 - 68 4.6.1.1 *Contesto*

69	4.6.1.2	<i>Vincoli considerati</i>
69	4.6.2	Valutazione dei portali
70	4.6.2.1	<i>Dati generali</i>
70	4.6.2.2	<i>La classificazione delle fonti</i>
71	4.6.2.3	<i>Modello di scheda, dati generali</i>
71	4.6.3	Risultati dell'analisi
73	5	Le caratteristiche dei materiali nanotecnologici
73	5.1	Le applicazioni come trattamenti
74	5.2	I trattamenti superficiali e massivi
75	5.3	La variabile dimensione/prestazione
75	5.4	L'incremento delle prestazioni e le nuove prestazioni
76	5.5	I processi di produzione
77	5.6	Le caratteristiche primarie
79	6	L'organizzazione del database
79	6.1	La struttura generale
80	6.1.1	I prodotti e i progetti
80	6.1.2	Le applicazioni
82	6.1.3	I centri di ricerca, gli enti e le aziende
82	6.2	La ricerca dei materiali
84	6.2.1	La scelta della tipologia di applicazione
86	6.2.2	La scelta per materiali
87	6.2.3	La scelta per proprietà
88	6.3	Le tabelle dei risultati
89	6.3.1	La tabella "incremento delle proprietà"
89	6.3.1.1	<i>Alcune osservazioni</i>
90	6.3.2	La tabella "aggiunta di nuove proprietà"
91	6.3.2.1	<i>Alcune osservazioni</i>
91	6.3.3	Alcune informazioni generali
92	6.4	Le schede tecniche
92	6.4.1	La scheda "incremento delle proprietà"
92	6.4.1.1	<i>L'opzione "confronta"</i>
93	6.4.2	La scheda "aggiunta di nuove proprietà"
93	6.4.3	Alcune osservazioni
94	6.5	La ricerca dei progetti
94	6.5.1	La scelta dei settori e dei tipi di progetti
95	6.5.2	L'elenco dei progetti e la scheda tecnica
95	6.6	Alcuni esempi di utilizzo
96	6.6.1	La segnaletica fotoluminescente

Progettare e innovare con le nanotecnologie

98	<i>6.6.1.1 Il prodotto e il database</i>
98	<i>6.6.2 Mobilight</i>
98	<i>6.6.2.1 Le caratteristiche</i>
101	<i>6.6.2.2 Il prodotto e il database</i>

103 Conclusioni

107 Appendici

139 Bibliografia

Introduzione

Quando si affronta il tema dell'innovazione, e più in particolare dell'innovazione tecnologica, le prime cose a cui si pensa sono le possibili applicazioni e i prodotti che la nuova scoperta può apportare al panorama degli oggetti che conosciamo e utilizziamo. La relazione ricerca tecnologica/prodotti assume così un rapporto di tipo diretto in cui lo sviluppo della prima produce delle trasformazioni anche nella seconda, in un processo complesso e articolato definito "processo di innovazione".

Ma se è chiaro agli occhi di tutti questo tipo di sviluppo, ci si chiede se la progettazione di artefatti possa influenzare l'ambito tecnologico e, nel caso la risposta sia positiva, quali siano i modi e le dinamiche che permettono ai prodotti di produrre innovazioni tecnologiche.

Per rispondere a questi quesiti è stato necessario definire le dinamiche di relazione tra i due ambiti e, prendendo ad esempio alcuni casi in cui lo sviluppo di prodotti ha successivamente portato delle necessità in ambito tecnico-scientifico, si è cercato di definirne i processi e gli strumenti in grado di produrre questo tipo di sviluppo.

Successivamente si è deciso di analizzare come caso studio l'ambito delle nanotecnologie per provare a definire gli strumenti in grado di ottenere innovazione tecnologica dallo sviluppo di nuovi prodotti. La scelta è ricaduta su questa disciplina in quanto il suo livello tecnologico è attualmente in fase di ricerca e sperimentazione e, per le sue caratteristiche, si rivela un ambito particolarmente specifico in cui lo sviluppo di nuovi prodotti è, attualmente, ancora marginale. La domanda diventa dunque: come può un progettista produrre innovazione nel campo delle nanotecnologie?

L'obiettivo è stato quindi quello di definire le modalità e le possibilità di collaborazione tra i ricercatori e i progettisti per individuare gli strumenti che più si addicono allo sviluppo di artefatti in grado di produrre nuove problematiche e tematiche di ricerca.

Dopo aver analizzato le proprietà e le caratteristiche dei materiali nanotecnologici, le attuali connessioni e i rapporti tra sviluppo tecnologico e i prodotti attualmente presenti sul mercato, è stato individuato in un database online lo strumento che più si addice per migliorare la comunicazione tra i due ambiti.

Riuscirà dunque un database a migliorare il rapporto tra ricercatori e progettisti permettendo a questi ultimi di produrre, contribuire o quanto meno collaborare allo sviluppo di queste nuove tecnologie?

A queste e altre domande si è cercato di dare una risposta nelle pagine che seguono.

1 L'innovazione

Risulta sempre complesso e riduttivo trattare il tema dell'innovazione, da un lato perché il termine può assumere differenti sfaccettature a seconda dei contesti in cui viene utilizzato, dall'altro perché, qualora si voglia indagarne in maniera esaustiva uno degli aspetti, non è possibile fornirne un quadro completo dato che sono inevitabili i riferimenti ai differenti significati e agli ambiti che questo termine racchiude.

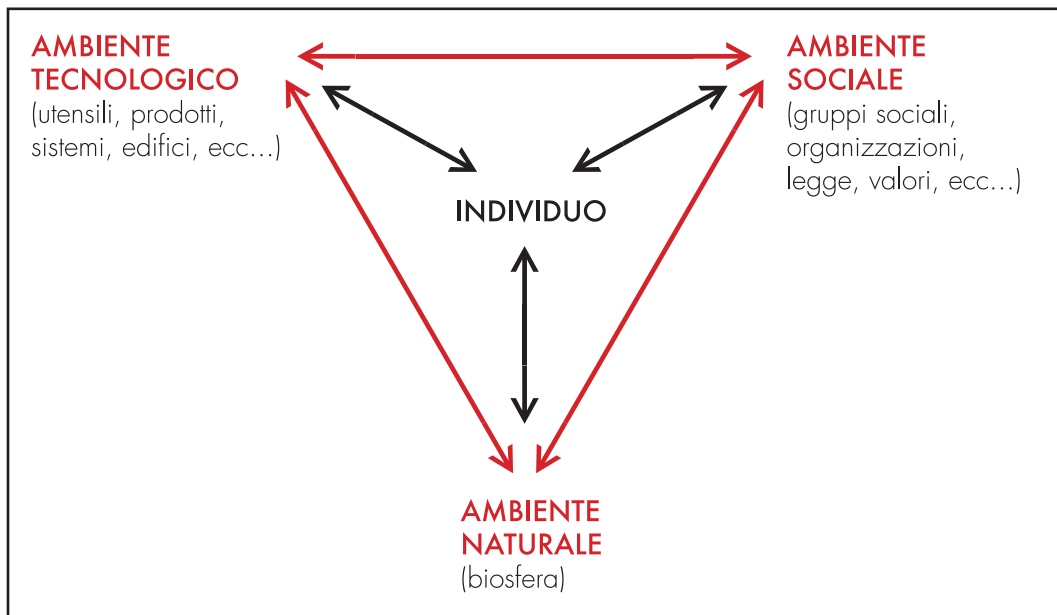
Con questo testo, e soprattutto in questa parte iniziale, si farà riferimento a due tipi di innovazioni: quella tecnico-scientifica e quella di prodotti che, come vedremo, spesso sono considerate come parte di un unico processo di innovazione ma, nella realtà, sono accomunate da una relazione di causa effetto che, come in parte si tenterà di dimostrare, è descrivibile come un rapporto di tipo biunivoco.

1.1 L'ambito

Nell'analizzare l'innovazione tecnologica, e i prodotti che ne derivano, va considerato che questo processo condiziona e viene condizionato anche da altri due macro ambiti quali l'ambito naturale e l'ambito sociale. In questa analisi verrà considerato principalmente il primo dei tre, evidenziando solamente in parte gli sviluppi riferiti agli altri due. I tre ambiti, secondo lo schema del sociologo William Ogburn¹ (fig. 1.1), ruotano attorno alla figura dell'individuo, sono quindi associati da un rapporto di tipo biunivoco in cui, al variare di un fattore, si modificano anche gli altri. In uno sviluppo di questo tipo è necessario considerare i processi di sviluppo valutando, almeno in parte, i cambiamenti che questi possono apportare negli altri. Nonostante nello schema di Ogburn, la tecnologia e i prodotti facciano parte dello stesso ambito, la rappresentazione riassume in modo efficace come una variazione inneschi sempre dei processi di trasformazione più ampi e come i rapporti tra le varie discipline e problematiche siano fortemente collegati.

Per quello che ci riguarda, la fase più interessante di questo processo si ha quando si iniziano ad analizzare i rapporti tra tecnologie e prodotti individuando questi ultimi non come il passaggio conclusivo di un processo di innovazione tecnico, ma come una fase distinta in cui anche i cambiamenti formali e funzionali dei prodotti provocano

¹ Ogburn, W. (1956), *Technology as environment*, in "Sociology and Social Research", vol. XLI, settembre-ottobre



1.1 La tecnologia è uno dei tre “ambiti” che circondano l’individuo nella società. Un cambiamento in uno qualsiasi di tali ambienti comporterà cambiamenti più o meno accentuati in ogni parte dell’insieme, William Ogburn (1956)

delle ripercussioni sugli altri aspetti presi in analisi. Si individua quindi la possibilità di un’innovazione di prodotti e non solamente di tipo tecnico-scientifico. Proprio questi due aspetti saranno oggetto di indagine per individuare da un lato come i due processi si influenzano e dall’altro se sia possibile definire dei processi che permettono lo sviluppo di entrambi gli ambiti.

1.2 La tecnologia e i prodotti

Quando si parla di innovazione la tendenza è quella di associare questo termine all’ambito tecnologico-scientifico trascurando invece l’aspetto di innovazione dei prodotti. In questi casi la tendenza è quella di pensare ai prodotti come ad un passaggio dovuto e conclusivo dell’innovazione tecnologica. In realtà però esiste un’innovazione dei prodotti che si sviluppa parallelamente a quella tecnologica, il vero errore è che si ha la tendenza di esaltare la prima a discapito della seconda. Così, quando si ottiene un prodotto che utilizza in modo coerente una nuova tecnologia, si privilegiano le proprietà di quest’ultima mentre si trascurano le caratteristiche dello sviluppo del prodotto. La verità è dunque che l’innovazione tecnologica non troverebbe delle finalità applicative senza il processo di innovazione dei prodotti che naturalmente ne consegue.

Andando ad analizzare una delle più celebri innovazioni della storia, il sistema di il-

luminazione elettrica messo a punto da Thomas Edison², è possibile capire come il pur fondamentale aspetto tecnologico sia solo una parte dell'innovazione apportata dall'inventore nella fine dell'Ottocento. Sebbene venga ricordato come l'inventore della lampadina elettrica³, infatti la vera novità introdotta da Edison è quella di aver realizzato un grande sistema tecnico (*Large Technological System*) in cui l'aspetto tecnologico diventa secondario se si analizzano tutti i prodotti e le relazioni che sono state studiate per far funzionare il sistema. Edison infatti studiò questo sistema in ogni minimo particolare permettendo, da prima, di far funzionare le lampadine ad incandescenza in spazi circoscritti, per poi realizzare un complesso sistema per l'illuminazione in luoghi pubblici, nelle industrie e negli ambienti domestici. Per fare ciò, e soprattutto per soppiantare l'allora usato sistema di illuminazione a gas, Edison dovette mettere a punto un sistema di prodotti in cui tutti gli elementi erano funzionali ad un fine comune.

La progettazione dei diversi elementi e di tutti i componenti è quindi stata fondamentale alla riuscita del progetto iniziale che, grazie anche alla serialità e alla possibilità di utilizzare uno stesso componente in più parti del sistema, è riuscito ad avviare anche un processo di standardizzazione dello stesso. Per fare ciò Edison e la sua azienda misero a punto più di mille brevetti, molti dei quali riguardanti proprio i prodotti che componevano il sistema.

Il passaggio alla nuova tecnologia comportò quindi la progettazione di un ampio panorama di artefatti, molti dei quali utilizzati tutt'oggi, che si integrano gli uni con gli altri formando un sistema che, anche per la sua completezza, si è affermato su quello alimentato a gas. Secondo Norbert Wiener in *Invention: The Care and Feeding of Ideas*

La più grande invenzione di Edison, comunque, non è di carattere scientifico, bensì economico: è il laboratorio scientifico industriale, dove una mente centrale dirigeva una squadra di tecnici addestrati per la realizzazione di invenzioni, che viene considerata come un'attività ordinaria. (Wiener 1993, p. 88)

La genialità di Edison, che con il suo progetto creò un intero sistema produttivo e commerciale, fu soprattutto quello di riuscire a coniugare e far collaborare differenti figure professionali per un obiettivo comune. In questo panorama le scoperte di carattere tecnologico e i prodotti realizzati facevano parte di un unico progetto che, nel caso specifico, era coordinato dallo stesso Edison.

In questo processo di innovazione il rapido sviluppo di tutto il sistema è dato dalla cooperazione tra i differenti ambiti; è infatti grazie allo studio di tutti i componenti elet-

² In tema è trattato in Baldwin N. (2001), Bijker W. E. (1998), Butera F. M. (2004), Josephson M. (1986) e Nacci M. (1998).

³ La prima lampadina elettrica è stata inventata nel 1802 da H. Davy, mentre la prima lampada ad incandescenza da J. B. Lindsay nel 1835, T. Edison ha il merito di averne perfezionato la tecnologia e di essere riuscito a costruire un sistema per farla funzionare.

trici, come ad esempio le prese e gli interruttori, che apparentemente possono risultare secondari se si considera la complessità del sistema, che hanno permesso all'illuminazione elettrica di poter essere utilizzata in tempi brevi⁴ e di essere riuscita a soppiantare altrettanto rapidamente il sistema a gas.

Lo sviluppo del sistema nella sua totalità, dalle innovazioni tecnologiche a quelle di prodotto, fino alla loro commercializzazione, ha quindi permesso agli utenti di mettere a confronto le due tecnologie di illuminazione sulla base della loro effettiva funzionalità e, essendo quella elettrica meno tossica, pericolosa⁵ e, dopo la fase iniziale, anche più economica, fu presto utilizzata come principale fonte di illuminazione.

La progettazione del sistema in cui innovazione tecnologica e di prodotto si sviluppano contemporaneamente permette di accelerare i tempi dell'innovazione complessiva e quindi l'affermazione di nuovi prodotti, sistemi e tecnologie. È però difficile trovare altri casi in cui la visione complessiva del sistema viene progettata in modo così strutturato e organizzato come ha saputo fare Edison.

Infatti, storicamente, sono più frequenti i casi in cui le innovazioni, le scoperte tecnologiche e i prodotti hanno processi di sviluppo indipendenti e in cui non c'è una linea guida comune. In questi casi, a far prevalere l'una o l'altra tipologia di sviluppo, vi è un susseguirsi di tentativi o l'affermazione di prodotti che vengono utilizzati fino a quando non si impone una nuova soluzione. È il caso della bicicletta⁶ che, prima di arrivare ad avere la conformazione e le caratteristiche che oggi conosciamo⁷, ha visto il susseguirsi di una moltitudine di soluzioni e innovazioni differenti.

Dalle prime proposte, che inizialmente non avevano né sterzo né pedali, si è arrivati a prodotti in cui è possibile avere differenti caratteristiche a seconda delle funzioni e delle performance che si desiderano ottenere da questo mezzo.

Per raggiungere questo livello di sviluppo la storia della bicicletta ha visto susseguirsi diverse fasi e soluzioni che in alcuni casi sono state poi abbandonate, in altri abbandonate e poi riprese, e in altre ancora sempre confermate e presenti ancora oggi.

La mancanza di un coordinamento comune ha portato ad uno sviluppo del prodotto per tentativi vedendo la partecipazione di più attori che, in differenti aree geografiche, in particolare dell'Europa, hanno sviluppato nuovi modelli di bicicletta⁸ sulla base del

⁴ Dall'invenzione delle prime lampade ad incandescenza (il sistema realizzato da J. B. Lindsay nel 1835) alla realizzazione delle prime illuminazioni di ambienti pubblici (il primo sistema di illuminazione pubblica della piazza e l'Opéra di Parigi nel 1878) sono trascorsi circa quaranta anni.

⁵ In particolare negli ambienti chiusi la combustione del gas rendeva l'aria viziata, inoltre le fiamme e in alcuni casi le perdite dell'impianto provocavano pericolosi incendi.

⁶ Il tema è trattato in Bijker W. E. (1998), Burrows M. (2008) e Wilson D. G. (2004).

⁷ In questo caso si considera la bicicletta da strada senza tutte le possibili soluzioni finalizzate ad uno specifico utilizzo o con particolari caratteristiche tecnico-funzionali.

⁸ I principali modelli furono i *velocifero* o *celerifero* (1791), i *draisienne* (1816), i *bicycle* o *biciclo* (1861), i *bicicletto* o *bicicletta* (1889) ma di ognuno di questi vi furono numerose varianti.

prodotto fino a quel momento utilizzato⁹. In questo panorama ogni innovazione di tipo tecnico, ogni nuovo materiale o processo produttivo risultavano essere una nuova possibilità progettuali da sperimentare.

Lo sviluppo del pneumatico che da prima riveste le ruote in gomma per ammortizzare gli scossoni e successivamente, con l'invenzione di John Boyd Dunlop del 1888, si trasforma in un rivestimento composto da una camera d'aria e un battistrada, fu uno dei momenti più importanti nello sviluppo ma soprattutto nella diffusione delle biciclette. Se si considera che nella seconda metà dell'Ottocento i *velocipedi* venivano soprannominati *boneshaker* (scuotiossa) proprio a causa dell'effetto prodotto durante la corsa dalle ruote rivestite in ferro, è chiaro come la nuova soluzione introdotta da Dunlop abbia stravolto la concezione del prodotto e, successivamente, anche le sue modalità di utilizzo.

In questo caso lo sviluppo di un componente della bicicletta, risultato di un'innovazione tecnologica (la scoperta e la produzione dei materiali polimerici) e di una di prodotto (l'invenzione della camera d'aria), diventa l'elemento in grado di modificare la concezione di questo mezzo di trasporto e, di conseguenza, anche delle sue modalità di utilizzo. Da *boneshaker* e oggetto per il diletto, la bicicletta diventa un mezzo comodo e facilmente utilizzabile e cambia così anche la sua connotazione funzionale e sociale, diventando presto uno dei prodotti più utilizzati per il trasporto di persone, cose, ma anche per lo svago e lo sport. Quindi lo sviluppo di un prodotto, dei suoi componenti e delle relazioni con le altre tipologie di oggetti, diventa fondamentale nel momento in cui alla fase progettuale si associa quella tecnologica perché proprio il risultato del loro rapporto può determinare la riuscita o meno del processo di innovazione.

Tecnologia e prodotti riescono quindi ad esprimere appieno il loro potenziale solo se combinati, in modo che i prodotti rendano evidenti le possibilità e le potenzialità offerti dalla tecnologia, e le tecnologie riescano a fornire soluzioni progettuali specifiche e finalizzate allo sviluppo di determinati prodotti. Dunque risulta essenziale riuscire ad ottenere un coordinamento tra sviluppo tecnico-scientifico e di prodotto, poiché la mancanza di questa organizzazione comporterebbe dei processi tali per cui a ogni innovazione tecnica corrisponderebbero tentativi di applicazione in diverse tipologie di prodotti. In un caso come questo non tutte le soluzioni proposte troverebbero però uguale successo e continuità, con il passare del tempo infatti solo alcuni binomi tecnologia-prodotto riescono ad esprimere al meglio le possibilità della prima con le funzionalità della seconda.

Questo concetto viene espresso con chiarezza dal "corridoio tecnologico" definito da Luke Georghiou¹⁰ nel 1986. Secondo questa teoria (fig. 1.2) un'invenzione o una sco-

⁹ Non sempre i prodotti conosciuti ed utilizzati corrispondevano a quelli tecnologicamente più avanzati o alle soluzioni più innovative, in passato la diffusione delle notizie e delle nuove scoperte non era così efficace da permettere degli aggiornamenti costanti e dettagliati su tutte le nuove scoperte tecnologiche.

¹⁰ Georghiou, L., J. S. Metcalfe, M. Gibbons, T. Ray, and J. Evans (1986), *Post-innovation performance*,

perta deve, prima di essere definita come innovazione, confrontarsi con la concorrenza, il mercato e i brevetti che ne costituiscono il corridoio e, solo una volta superata con successo questa fase, è possibile stabilire quali siano effettivamente le soluzioni di successo e di cui vale la pena proseguirne lo sviluppo.

La particolarità di questo schema è che può essere utilizzato in modo quasi indistinto per quasi tutti i processi di innovazione sia nel caso in cui si consideri una sola fase di un processo di innovazione, ad esempio lo sviluppo di un nuovo prodotto, sia considerando il binomio tecnologia-prodotti, ma anche considerando un processo di innovazione molto complesso e articolato, come quello di Edison, in cui il numero delle componenti e degli ambiti da considerare aumenta.

1.3 Gli attori dell'innovazione

Per ottimizzare un processo di innovazione è quindi necessario che ci sia uno sviluppo in cui partecipino diversi attori. Come abbiamo visto anche nell'ultimo esempio, oltre ai ricercatori e ai progettisti, un ruolo importante è anche quello degli utenti, dei concorrenti, e di tutti coloro che si occupano del marketing, delle vendite, e degli aspetti che riguardano l'innovazione e i prodotti¹¹.

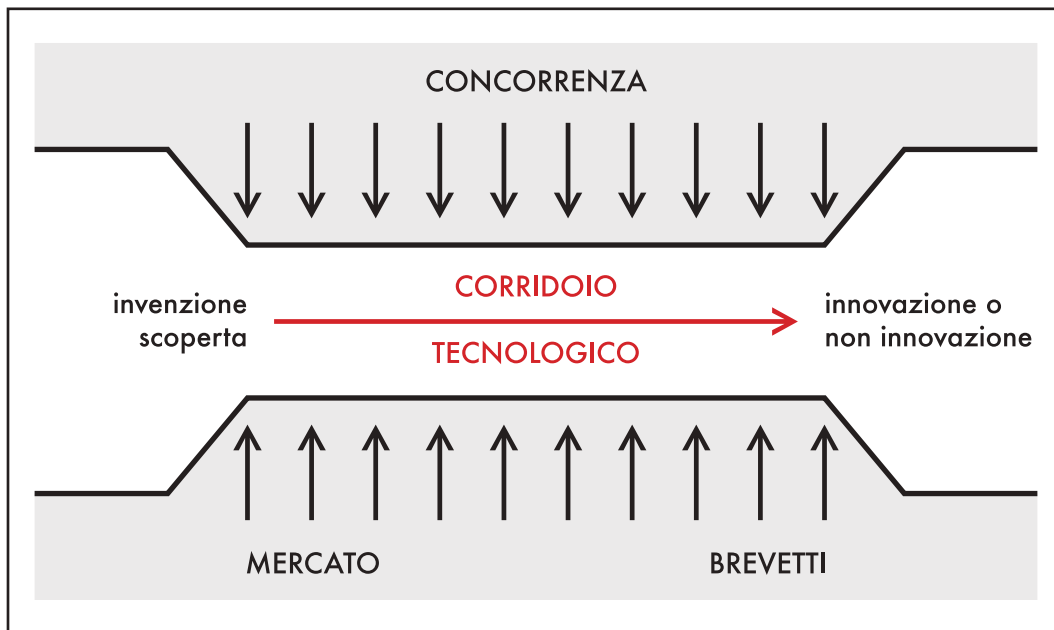
Quando si analizza un processo di innovazione è quindi necessario considerare che il suo sviluppo e la sua riuscita sono determinati dal contributo di diversi attori che hanno funzioni e competenze differenti.

Solo considerando gli ingegneri e i progettisti, che come abbiamo visto si occupano rispettivamente delle innovazioni tecnico-scientifiche e di prodotti, sono evidenti numerose differenze sia dal punto di vista delle conoscenze richieste per lo sviluppo di un'innovazione sia delle competenze specifiche, dei processi e del linguaggio tecnico utilizzato. La definizione dei ruoli dei diversi attori può spesso determinare il successo o il fallimento di un processo di innovazione: stabilire quali sono le mansioni di un ingegnere e di un progettista in un processo di sviluppo di una nuova tecnologia non è banale, ad esempio l'esclusione in toto del progettista corrisponde in molti casi allo sviluppo di prodotti che non hanno le caratteristiche per essere concorrenziali sul mercato e che, da un punto di vista figurativo, non riuscirebbero a superare il "corridoio tecnologico". In alcuni casi questo è dovuto all'errato connubio tra tecnologia e prodotti ma spesso, quando le due fasi vengono realizzate entrambe da ingegneri, si ha un prodotto che può risultare incompleto o nel quale le potenzialità date dalla nuova applicazione non sono sfruttate a pieno.

Ecco perché Ezio Manzini, analizzando lo sviluppo dei materiali e dei prodotti poli-

Technological development and competition, Macmillan, London

¹¹ Nello schema del "corridoio tecnologico" di Georghiou questi concetti sono riassunti con i termini "concorrenza", "mercato" e "brevetti".



1.2 Corridoio tecnologico, Luke Georghiou (1986)

merici, identifica l'importanza delle due figure professionali dell'ingegnere e del designer nello sviluppo di un nuovo materiale, e ne descrive così le competenze:

Gli ingegneri hanno progressivamente specializzato il loro campo di interessi, adottando sistemi di valori interni all'ambito della loro attività, migliorando il progetto sul piano tecnico-economico, misurandosi sulle sue difficoltà specifiche; i designer hanno invece continuato a confrontarsi con l'intero arco delle possibilità tecniche, facendo riferimento a un sistema di valori che comprende intenzioni sociali, espressioni linguistiche, valenze poetiche. (Manzini 1989, p.55)

La combinazione delle competenze dei due ruoli si rivela dunque fondamentale nello sviluppo di un processo che solo dall'unione dei due riesce a produrre delle soluzioni in grado di proporsi e affermarsi nei diversi contesti.

Altrettanto importanti per determinare il successo dello sviluppo di un'innovazione sono gli utenti, come dimostrato anche negli esempi precedentemente citati, quello dell'illuminazione elettrica e della bicicletta, in cui la scelta degli utenti si è sempre rivelata determinante per sancire il successo di una soluzione o l'applicazione di una tecnologia ad uno specifico prodotto.

Ma con il termine utenti non vanno considerati solo gli utilizzatori finali del prodotto. Possibili utenti di un'innovazione tecnologica possono essere anche i progettisti che ne dovranno definire l'applicabilità. Diventa quindi cruciale stabilire gli attori che utilizzeranno uno specifico processo e comunicare con loro per definire le loro necessità, i pregi e i difetti dei prodotti presentati.



1.3 Schema dei processi svolti dai tre principali attori presi in analisi



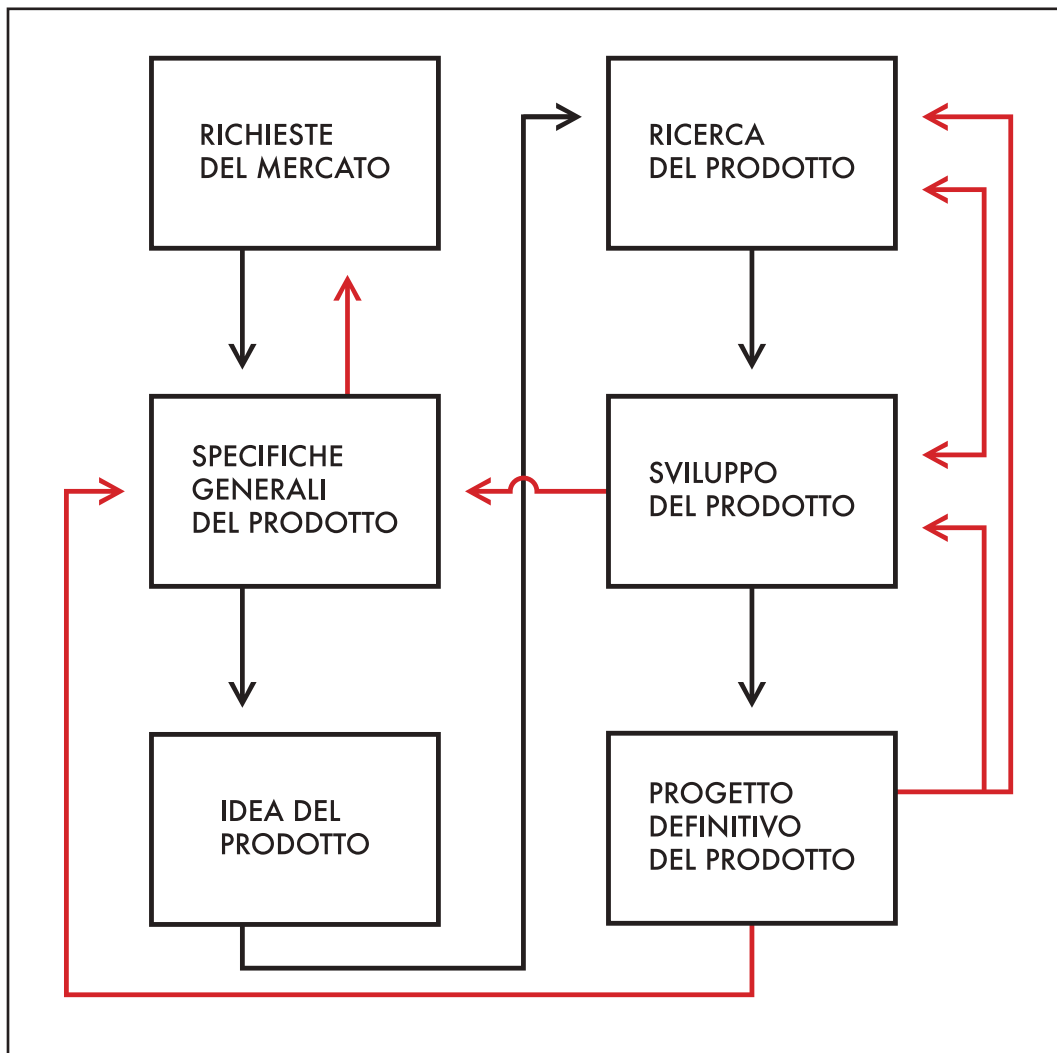
1.4 Schema di alcune relazioni tra ingegneri, designer e utenti con alcuni possibili attori dell'innovazione

Se da un lato vi è la necessità di stabilire dei rapporti tra l'innovazione tecnica e i progettisti, dall'altro, il ruolo di questi ultimi è per sua natura di tipo organizzativo, dovendo soddisfare i bisogni dell'utente ma anche di molti altri attori: dai produttori fino ai responsabili della vendita. Si può quindi riassumere l'intero processo suddividendolo in modo lineare nei tre attori principali, evidenziando anche altrettante fasi ben definite del processo: la ricerca tecnico-scientifica, la progettazione dei prodotti e l'uso (fig. 1.3).

Seppur estremamente semplificato, lo schema evidenzia bene i principali attori e gli utenti che, soprattutto nella seconda parte dell'analisi, verranno presi in esame. Se si considera inoltre che il ruolo del progettista non è solo quello di proporre nuovi prodotti ma anche di confrontarsi con molte altre figure professionali (altri attori), lo schema risulta meno sintetico di quello che può sembrare. Infatti, se ognuno dei tre passaggi viene articolato con le relazioni che gli competono, lo schema assume rapidamente un quadro complessivo molto più dettagliato (fig. 1.4).

Per fare un esempio, secondo uno schema proposto da Lewis N. Goslin¹², la fase progettuale è il frutto delle richieste del mercato, la definizione delle specifiche, dell'ideazione, della ricerca, dello sviluppo e della definizione del prodotto (fig. 1.5), passaggi che, in un rapporto di relazioni complesso, permettono al designer di avere gli strumenti per definire il prodotto finale. Tutti questi processi, a prescindere dalle rappre-

¹² Goslin, L. N. (1971), *Il sistema di pianificazione dei prodotti* (trad. di F. Agnelli), Franco Angeli Editore, Roma



1.5 Attori, mansioni e relazioni della ricerca tecnico-scientifica, la progettazione e i prodotti, Lewis N. Goslin (1967)

sentazioni, sono sempre il risultato di procedimenti articolati in cui lo sviluppo lineare è frutto di uno stereotipo che, nella realtà, avviene sulla base di un rapporto continuo di richieste, risposte, proposte e soluzioni tra i diversi attori. Dopo tutto, lo stesso processo di innovazione non segue degli schemi prestabiliti e le invenzioni, le innovazioni radicali e incrementali sono spesso il frutto di questo articolato processo di relazioni tra i diversi attori.

1.4 I diversi tipi di innovazione

Ogni processo di innovazione, sia di tipo tecnico-scientifico che di prodotti, segue delle fasi di sviluppo sempre differenti le une dalle altre. Nonostante sia possibile definire dei procedimenti più o meno standardizzati, va precisato che le variabili che devono essere prese in considerazione per analizzare un processo di questo tipo sono mutevoli e fanno sì che non ci sia mai un procedimento uniforme, ma che lo sviluppo sia sempre il frutto di un percorso determinato da attori, concorrenza, eventi e anche periodi storici. Detto questo, è però possibile classificare i processi di innovazione secondo tre macro tipologie: le incrementali, le radicali e le invenzioni.

Lo sviluppo incrementale è quello a cui generalmente pensiamo quando sentiamo la parola “processo”, vale a dire un avanzamento continuo che, fase dopo fase, determina un progressivo miglioramento, lo sviluppo.

Nel processo di innovazione radicale si ha invece una crescita incostante in cui, in un periodo di tempo molto breve, si ha un rapido sviluppo dell’innovazione, in genere, questo fenomeno è dato dall’introduzione di un nuovo elemento o di una scoperta. Nel caso già citato dello sviluppo della bicicletta, come emerso in precedenza, la scoperta di Dunlop ha costituito una fase in cui c’è stato un incremento radicale della sue funzioni e potenzialità. Quindi, mentre in altre fasi si sono verificate piccole innovazioni (fasi di innovazione incrementale) in questo frangente la nuova scoperta ha introdotto un momento di rapida e veloce innovazione del prodotto, che ne ha riguardato sia l’usabilità che le sue funzionalità.

Spesso questo aumento è influenzato da fattori che possono essere dovuti all’introduzione di nuovi elementi, in altri casi però può essere determinato anche da esigenze specifiche dovute a una nuova richiesta, in questi casi c’è il tentativo di concentrare un rapido sviluppo in un breve periodo di tempo, dovuto spesso a particolari fattori o momenti storici. Ad esempio, lo scoppio di un conflitto bellico o la diffusione di una malattia avviano inevitabilmente dei processi che nel primo caso si traduce nello sviluppo di tecnologie e prodotti bellici, mentre nel secondo nello sviluppo di ricerche atte a trovare farmaci o soluzioni per risolvere il problema. Lo sviluppo di tecnologie e prodotti per lo spazio, ad esempio, hanno avuto un periodo particolarmente fiorente dagli anni Settanta agli anni Novanta, durante il periodo della Guerra Fredda, quando molti sono stati i casi di innovazioni radicali; mentre, nel periodo successivo, gli sviluppi sono continuati con modalità e tempistiche più lente, si è cioè passati ad uno sviluppo di tipo incrementale.

Se in questi due tipi di innovazioni (incrementale e radicale) si ha sempre uno sviluppo che, con modalità più o meno repentine, è di tipo continuo, nel caso delle invenzioni si ha un “distacco” da tutto ciò che è il processo di sviluppo precedente, con il termine “invenzione” si intende infatti una soluzione nuova. Proprio per la sua originalità, questo fenomeno tende a verificarsi più di rado in quanto non è il frutto di un processo ma si verifica spesso in modi casuali o seguendo procedimenti che potremmo definire atipici, non convenzionali.

Uno dei modi per sviluppare un'invenzioni è ad esempio il passaggio tecnologico, vale a dire l'utilizzo di una tecnologia, di un processo o di un prodotto in un contesto completamente differente in modo che questo risulti risolutivo per uno specifico problema. In questi casi la nuova soluzione non ha nulla in comune con il percorso di sviluppo che la precede, ma permette di averne di nuovi.

Secondo la definizione di designer di Manzini, il passaggio tecnologico è un procedimento comunemente utilizzato dai progettisti; ciò significa forse che questi attori sono gli unici in grado di produrre invenzioni? La risposta è ovviamente no, ma è evidente che questo tipo di processi si verificano soprattutto nell'ambito dei prodotti, mentre processi di tipo incrementale o radicale si sviluppano indistintamente in tutti i processi sia di tipo tecnologico che di prodotti.

2 Lo sviluppo tecnico-scientifico e i prodotti

Come abbiamo visto, ogni fattore, attore e processo può influenzare lo sviluppo dell'innovazione. Ma se, come risulta dallo schema proposto in precedenza (fig. 1.3), l'ordine di sviluppo è tradizionalmente innovazione tecnico-scientifica, prodotti e utenti, risulta interessante capire come e con che modalità questo processo può o potrebbe essere ribaltato. Com'è ovvio, per avere un nuovo prodotto che utilizza una nuova tecnologia è necessario che prima si sviluppi quest'ultima; ma è possibile che si verifichi un processo contrario, o meglio, che sia lo sviluppo di prodotto ad influenzare un processo di innovazione tecnico scientifica?

Con le analisi che verranno presentate in seguito, si cercherà inizialmente di individuare se e come questi due processi si influenzano per poi capire se è possibile che lo sviluppo tecnologico sia condizionato da quello dei prodotti.

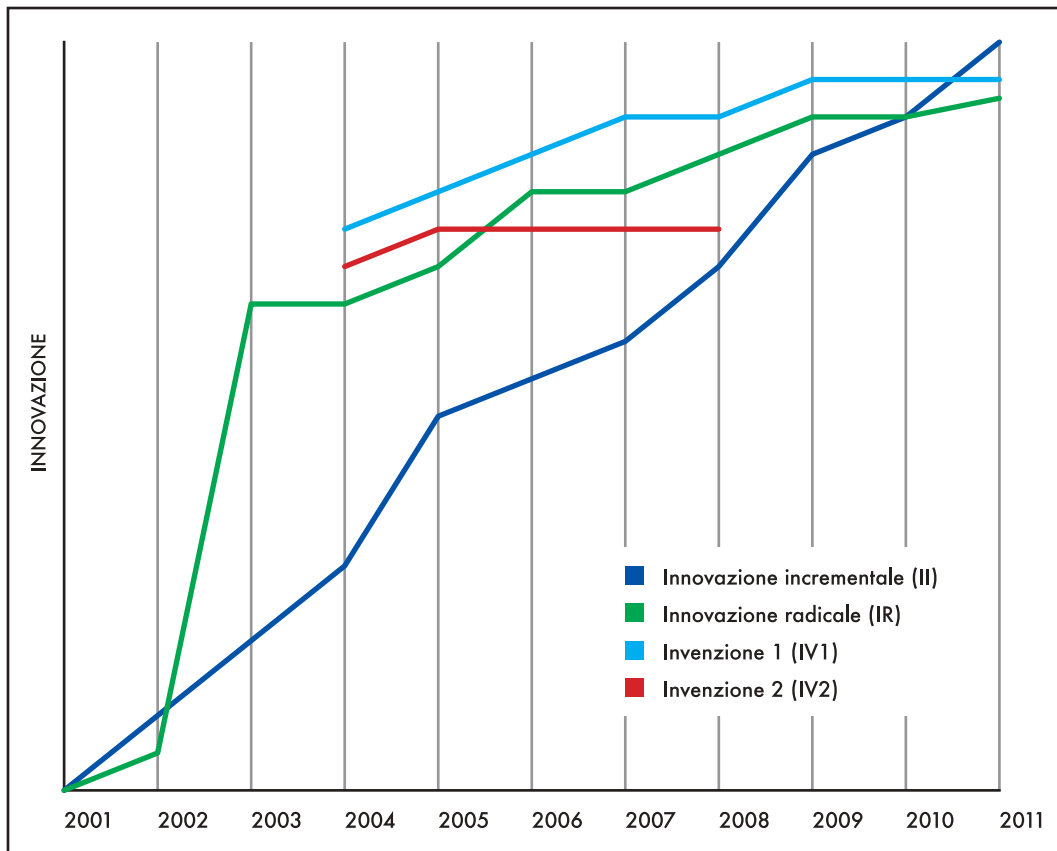
Se questo risultasse vero, infatti sarebbe importante capire come e quando questo avviene, in modo da poter avviare dei processi di sviluppo tali per cui i nuovi prodotti possono incrementare l'innovazione tecnico-scientifico. Per fare questo, si sono da prima analizzati i due processi secondo un grafico che prende come riferimento il tempo e il livello di innovazione raggiunto, per poi confrontarli, definirne le relazioni e comprendere se e come lo sviluppo tecnologico si possa basare sui prodotti.

Lo sviluppo della ricerca ha quindi l'obiettivo di far capire l'importanza di nuovi prodotti in un processo di innovazione completo e, successivamente, di definire gli strumenti in grado di mettere in relazione i due processi migliorando così lo sviluppo innovativo.

2.1 Lo sviluppo del processo

Per analizzare i processi e le caratteristiche dei diversi tipi di innovazione è possibile rappresentarli in un grafico cartesiano, considerando sull'ordinata delle ascisse il tempo e su quella delle ordinate il livello di innovazione raggiunto in quel momento storico.

Sulla base di uno schema cartesiano si analizzeranno questi processi, . Grazie a questo tipo di rappresentazione, è possibile schematizzare lo sviluppo dell'innovazione e, a seconda della conformazione che assumerà la rappresentazione, definire il processo di sviluppo dell'innovazione.



2.1 Grafico dei diversi processi di innovazione

2.2 Le innovazioni e le invenzioni

Con questo sistema grafico è possibile analizzare differenti processi di sviluppo, tra cui i vari tipi di innovazioni e di invenzioni (fig. 2.1). Infatti, la conformazione grafica della rappresentazione permette di riassumere con efficacia questi aspetti, sia quando si osserva un singolo andamento, sia quando sono presenti più parametri che possono essere “sommati” per avere un quadro generale dello sviluppo.

2.2.1 Le innovazioni incrementali

Le innovazioni incrementali (II) hanno uno sviluppo continuo e progressivo e, a seconda dei casi e del periodo analizzato, hanno solitamente origine in un punto dei due assi cartesiani, in quanto sono frutto di uno sviluppo graduale. Se, ad esempio, l’inizio della linea ha origine nell’intersezione degli assi (fig. 2.1) significa che il periodo e il livello di innovazione analizzati coincideranno con quelli dello sviluppo del processo di innovazione. Al contrario, se la linea inizia in un altro punto dell’asse delle ascisse significa che

il periodo analizzato è precedente a quello dell'origine dell'innovazione, mentre se è in quello delle ordinate si considera un tempo successivo all'origine del singolo processo.

Il processo di innovazione incrementale assume graficamente le sembianze di una linea (retta o curva) che, nonostante alcune naturali irregolarità, si può riassumere in un andamento costante che continua a crescere per tutto il periodo dell'analisi.

2.2.2 Le innovazioni radicali

L'innovazione radicale (IR) si ha solitamente quando un processo presenta, in uno specifico periodo, una o più importanti novità che aumentano il livello complessivo del processo di innovazione. Graficamente la rappresentazione assume un andamento sempre crescente che, come nel caso delle innovazioni incrementali, ha origine sugli assi e nel quale è evidente un picco che innalza in generale livello del processo (IR, 2003).

Analizzando lo sviluppo per parti si possono quindi individuare tre fasi che, a seconda dei casi, si possono poi ripetere nel processo. Nella prima si ha un processo di crescita continuo e costante simile a quello dell'innovazione incrementale (IR, 2001/2002), la seconda è la fase dell'incremento radicale (IR, 2002/2003) e la terza, analoga alla prima, è quella in cui il processo ritorna a crescere in modo costante (IR, 2003/2011).

Nel reale sviluppo del processo si può però individuare anche un'ulteriore fase, collocata tra la seconda e la terza, che si può definire di "assestamento" (IR, 2003/2004) e in cui si ha un processo senza innovazioni, rappresentato quindi da una linea retta, conseguenza del veloce sviluppo della fase precedente. Generalmente infatti ad una fase molto innovativa ne segue una di assestamento in cui si ha una diffusione delle nuove conoscenze, la riorganizzazione delle innovazioni e dei processi ad esso collegati.

2.2.3 Le invenzioni

A differenza delle innovazioni in cui si ha uno sviluppo più o meno graduale delle scoperte, nel caso delle invenzioni (IVI e IV2) siamo in presenza di un processo che non ha un inizio posizionato sugli assi, ma rappresentato da un'innovazione senza precedenti. In genere questi processi sono prodotti da una scoperta in un settore specifico o da un trasferimento tecnologico, vale a dire un processo che, arrivato ad un certo livello di innovazione, viene impiegato per la prima volta nell'ambito d'interesse dell'analisi.

2.2.4 Il livello di innovazione

Analizzando più processi di innovazione in uno stesso grafico quella che si colloca più in alto nella rappresentazione è anche quella più innovativa (II 2001/2002, IR 2002/2003 e IVI 2004/2010).

2.2.5 L'interruzione dell'innovazione

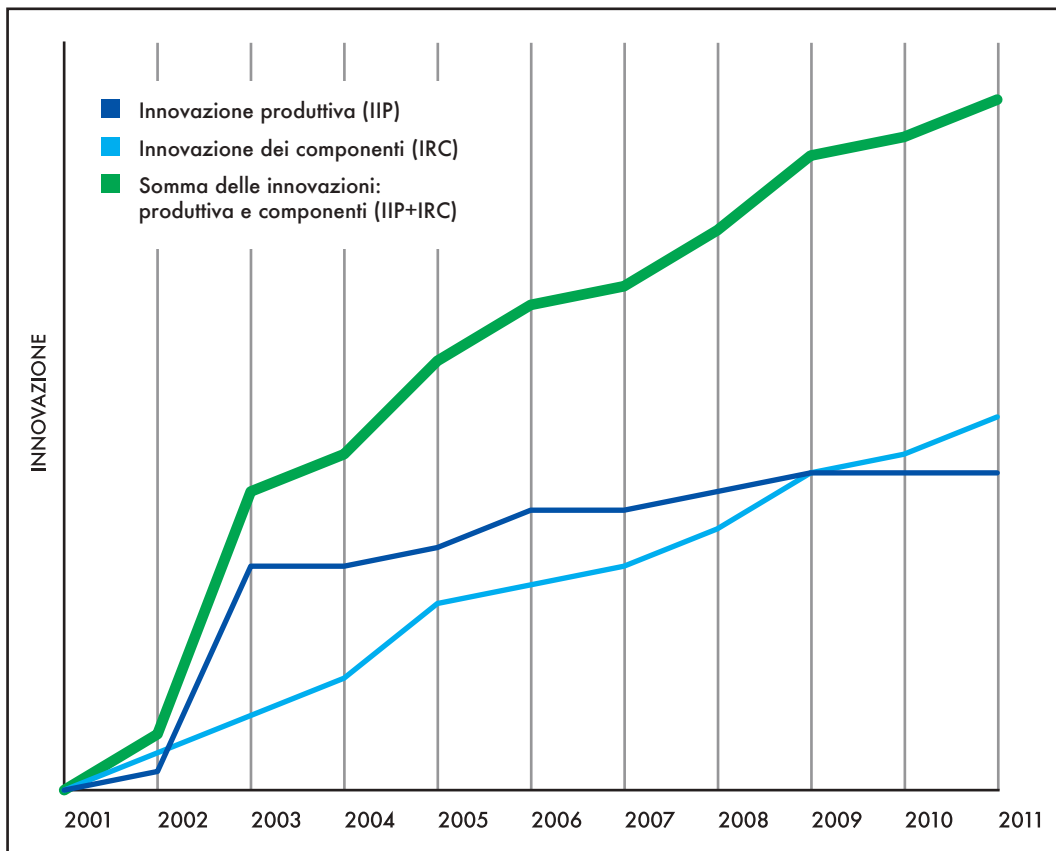
Qualunque processo, anche il più innovativo può, in ogni momento, avere un blocco del suo processo di sviluppo che, quindi prosegue in senso orizzontale. Se nel caso dell'innovazione radicale (IR, 2003/2004) l'orizzontalità era dovuta a un periodo di assestamento della nuova tecnologia, in altri (IVI, 2009/2011) un processo che si conclude in senso orizzontale si può ipotizzare che questo abbia raggiunto il massimo del suo sviluppo o che, a causa di agenti esterni al processo di innovazione, il suo sviluppo sia stato abbandonato.

Nel caso in cui il processo si interrompe in modo improvviso (IV2, 2008), in cui graficamente la linea non continua, si ha invece la non utilizzabilità del processo. In genere, queste interruzioni avvengono a causa di agenti che sono esterni al processo di innovazione. Ad esempio, lo sviluppo di una tecnologia che utilizza dei materiali poi rivelatisi tossici, non solo subisce un blocco dell'innovazione, ma rende anche inutilizzabile l'applicazione di quella tecnologia. Nella rappresentazione grafica, dopo un blocco del processo (IV2, 2005/2008) si ha un'interruzione brusca della linea (IV2, 2008). Nella realtà, il livello di questi processi dovrebbe essere rappresentato come un processo continuo (in orizzontale) in quanto non è possibile avere un decremento dello sviluppo. Dal punto di vista rappresentativo, però l'impossibilità di utilizzare una tecnologia si traduce nella cancellazione del processo dal settore d'indagine. Anche se opposto, avviene un processo analogo a quello descritto per il trasferimento tecnologico che, nonostante sia il frutto di un processo di sviluppo incrementale, viene considerato solamente per ciò che riguarda l'ambito d'indagine.

2.2.6 L'analisi di più processi

Il grafico cartesiano tempo/innovazione ci permette dunque di analizzare dei singoli processi di innovazione in relazione al loro processo di sviluppo. Grazie a questo metodo rappresentativo è però possibile analizzare anche lo sviluppo di più processi contemporanei riferiti ad un unico ambito d'indagine. Come vedremo in seguito, questo tipo di rappresentazione si rivela utile nel momento in cui, oltre ai processi di sviluppo, verranno rappresentati anche i prodotti, permettendo così di analizzare le principali caratteristiche del rapporto tra i processi di innovazione e i prodotti.

Generalmente, infatti, lo sviluppo di una tipologia di prodotti non dipende da quello di un unico processo di innovazione, ad esempio un'innovazione produttiva, ma dallo sviluppo di differenti processi innovativi; andranno quindi considerati anche altri tipi di sviluppi, come ad esempio quelli riferiti ai componenti interni del prodotto (fig. 2.2). Dal punto di vista rappresentativo, lo studio di due tipologie di innovazioni differenti in uno stesso grafico può quindi essere illustrato con la sommatoria dei singoli processi in un'unica linea (IIP+IRC è la sommatoria della altre due), permettendo così una visione d'insieme dei processi di innovazione. In un sistema di questo tipo, il principio funziona anche aumentando il numero delle variabili e quindi dei singoli processi



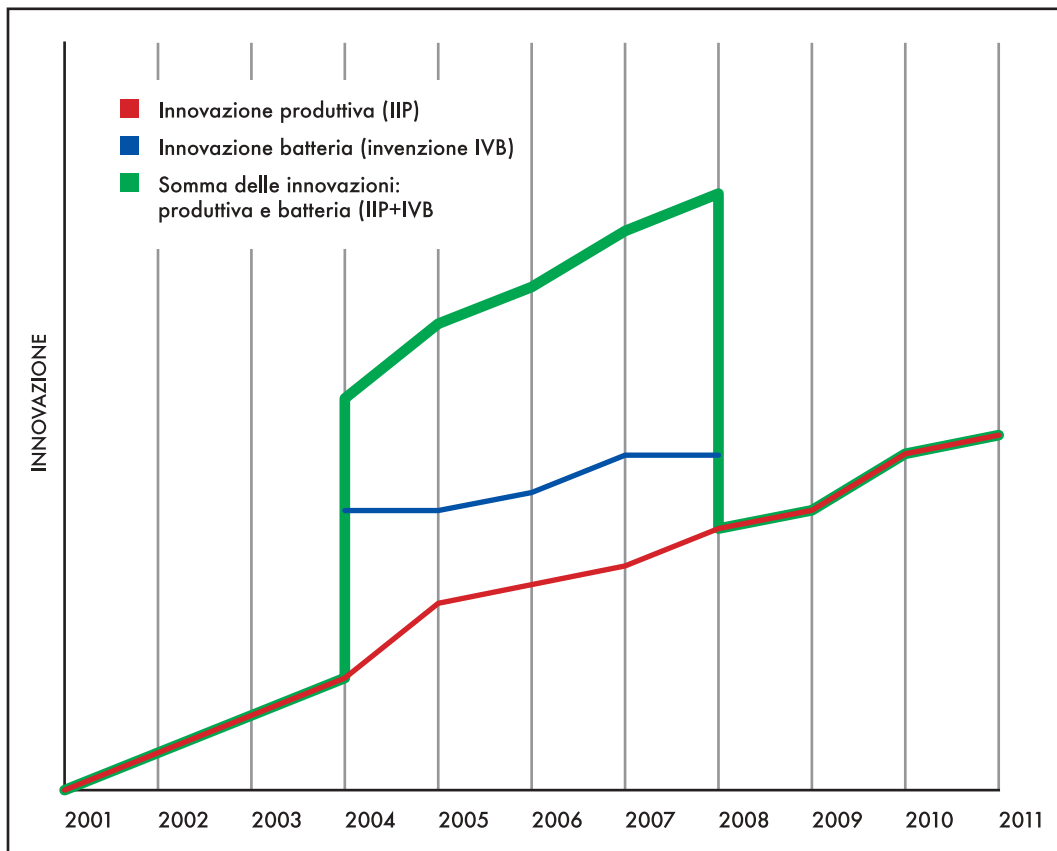
2.2 Grafico della somma di più processi di innovazione

di innovazione. Come vedremo in seguito, un'analisi di questo tipo permetterà di avere un quadro complessivo dell'intero sistema di sviluppo di una determinata tipologia di prodotti e, inserendo nel grafico una specifica tipologia, sarà possibile individuare il rapporto tra innovazioni e artefatti.

2.2.6.1 I processi crescenti e decrescenti

Analizzando dal punto di vista grafico le possibili combinazioni tra più processi, emerge una situazione alquanto particolare: considerando il processo di innovazione come uno sviluppo generalmente crescente, vi sono dei casi (fig. 2.3) in cui questo appare di tipo decrescente. Se si considerano due processi in cui uno è continuo (IIP) e l'altro si interrompe (IVB) si ha uno sviluppo in cui la sommatoria risulta essere di tipo decrescente, avendo una riduzione delle possibilità innovative (IIP+IVB, 2008) causate dall'interruzione di una specifica tecnologia.

Questa decrescita, che apparentemente risulta contraddittoria pensando all'innovazione come un processo di sviluppo, risulta essere corretta se si considerano solamente

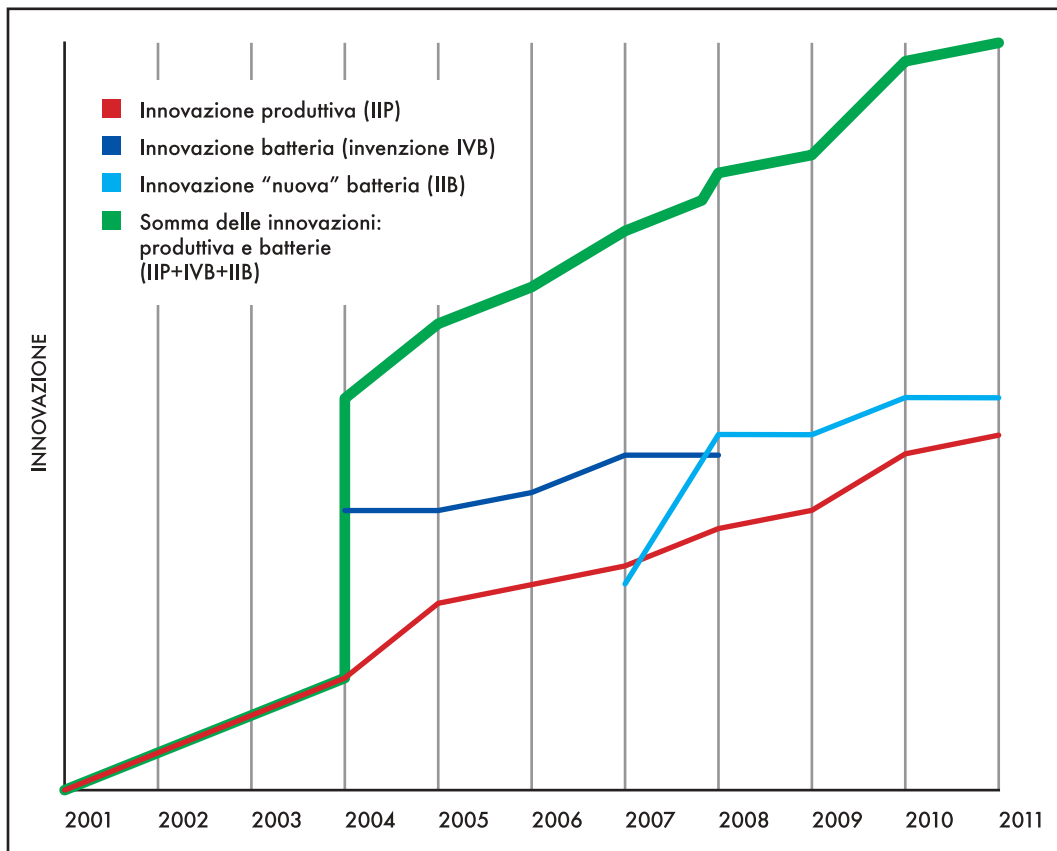


2.3 Grafico della somma di più processi di innovazione (risultato decrescente)

alcune tipologie di innovazioni e non si tiene conto che, con ogni probabilità, il processo interrotto verrà sostituito da una nuova tecnologia. Un processo di questo tipo non può quindi essere considerato senza l'analisi di altri fattori esterni ai due processi analizzati (fig. 2.4). La conclusione di un tipo di innovazione (IVB) viene infatti sempre sostituita da una nuova tipologia o processo che ne mantiene costante il livello incrementale. In un caso di questo tipo, risulta quindi necessario considerare un terzo processo di innovazione (IIB) che nella realtà sostituirà il processo interrotto (IVB).

Il nuovo grafico avrà quindi una conformazione in cui nella prima parte (2001/2007) verranno considerati solamente due tipi di sviluppo (IIP, IVB), successivamente (2007/2008) lo sviluppo di base (IIP) e quello più innovativo tra quelli in concorrenza (IVB e IIB) e nell'ultima fase (2008/2011) il processo di base (IIP) e quello che ha sostituito (IIB) l'innovazione iniziale (IVB).

In conclusione l'esclusione di una tecnologia non può, quasi mai, decretare la decrescita dell'innovazione tecnologica, nell'analisi di un processo che tiene conto di differenti parametri è infatti necessario analizzare tutti gli aspetti e le dinamiche di sviluppo che, oltre al singolo processo, ne determinano lo sviluppo complessivo.

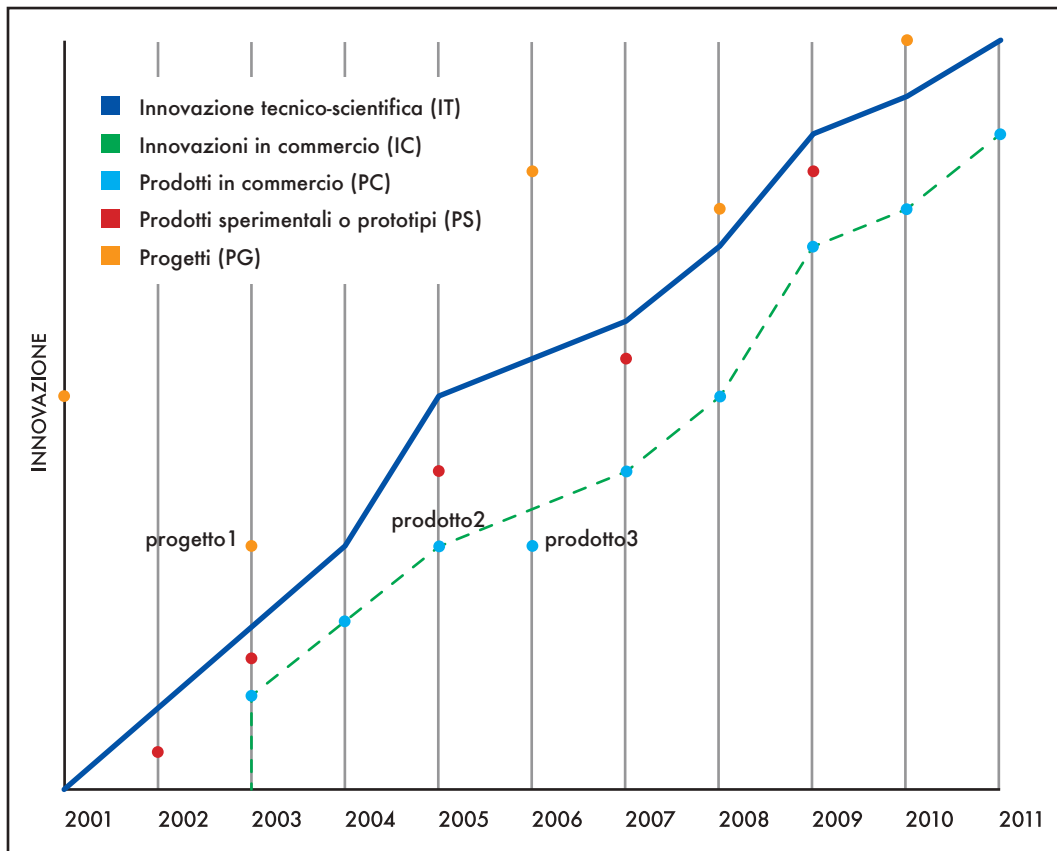


2.4 Grafico della somma di più processi di innovazione (risultato crescente)

2.3 Le innovazioni e i prodotti

Dopo aver definito quali sono le modalità per rappresentare uno o più processi in un grafico cartesiano tempo/innovazione, è possibile posizionare i prodotti riuscendo così ad analizzarne le principali caratteristiche. Considerando i prodotti e i progetti come una serie di punti, grazie alla rappresentazione grafica, si è in grado di stabilire quali siano le caratteristiche e i processi innovativi che li contraddistinguono. Come nel caso dei processi di innovazione tecnico-scientifica, si può definire lo sviluppo dei progetti come processi di tipo incrementale, radicale o visualizzare i casi di invenzioni presenti tra i prodotti.

Affinché questo tipo di analisi offra dei buoni risultati, è necessario definire in modo specifico quali sono i parametri (innovazioni e tipologie di prodotti) che vengono analizzati, perché l'aggiunta di variabili nel grafico condiziona tutta la rappresentazione. Come nell'esempio precedente (fig. 2.4), considerare una singola tecnologia (IVB) o una tipologia completa (IVB e IIB) trasforma radicalmente i risultati ottenuti.



2.5 Grafico del processo di innovazione e dei prodotti

2.3.1 I progetti e i prodotti

L'andamento del processo di innovazione permette di individuare due aree nel grafico (fig. 2.5), una superiore al processo (IT) e una inferiore, nelle quali si collocheranno rispettivamente i progetti e i prodotti, siano essi commerciali, sperimentali o prototipi. Infatti, nell'area superiore si collocano tutti i progetti¹ (PG) che in quello specifico periodo storico non sono realizzabili a causa di uno sviluppo tecnologico che non ha ancora raggiunto un livello tale da renderli producibili. Al contrario, nella parte inferiore si trovano tutti i prodotti realizzabili, siano essi commercializzati (PC) o di tipo sperimentali (PS).

¹ La parola "progetto" è intesa come "proposito più o meno definito riguardo a qualcosa che si ha intenzione di fare [...]" (Treccani, *Il portale del sapere*, <http://www.treccani.it/vocabolario/progetto>, Gennaio 2011). Nelle rappresentazioni proposte, il termine "progetto" è inteso come prodotto ideato ma non realizzabile in quello specifico momento storico.

2.3.2 Le innovazioni in commercio

Suddividendo i prodotti tra quelli in commercio (PC) e quelli di tipo sperimentale (PS), è possibile definire anche il processo di innovazione commerciale dei prodotti. Dall'unione dei progetti collocati graficamente più vicini alla linea dell'innovazione tecnico-scientifica, è possibile rappresentare la linea del processo delle innovazioni in commercio (IC).

Questa linea non avrà un andamento parallelo a quello dello sviluppo tecnico-scientifico (IT) perché, come vedremo in seguito, i due processi di sviluppo non seguono delle dinamiche o tempistiche costanti, ma anzi il loro incremento è condizionato da molti fattori che possono variarne l'una, l'altra o entrambe. Infatti, lo sviluppo di una tecnologia non determina necessariamente la produzione di prodotti che la utilizzano.

2.3.3 I progetti sperimentali e i prototipi

Definita la linea delle innovazioni in commercio è possibile stabilire una terza area, quella tra questa linea (IC) e quella dell'innovazione tecnico-scientifica (IT). In questa zona si collocano tutti i prodotti sperimentali, i prototipi (PS) e tutti gli artefatti che per livello di innovazione sono realizzabili e producibili ma che non sono pronti per essere commercializzati. Come vedremo, le motivazioni per cui questi prodotti non vengono commercializzati possono essere differenti: spesso sono dovute a problemi di costo delle tecnologie, in altri casi sono invece legati a motivi commerciali-strategici delle aziende produttrici.

2.3.3.1 *Il time to market*

Dalla collocazione degli elementi nel grafico è possibile identificare una serie di caratteristiche dei prodotti e dei progetti presenti nell'analisi. Se si considera un progetto (PROGETTOI), è possibile definirne il *time to market*² identificandolo nel periodo di tempo che intercorre tra l'elemento e la linea dell'innovazione tecnologica (IT). È proprio in questa fase temporale infatti che il processo di innovazione tecnico-scientifica raggiungerà un livello tale da rendere il progetto realizzabile e diventerà, a seconda dei casi, un prototipo o un progetto sperimentale. Allo stesso modo, affinché questo progetto possa diventare un "prodotto in commercio" è necessario che raggiunga tale linea (IC).

Secondo questo processo di lettura, se i tempi di commercializzazione si allungano il progetto avrà un impatto innovativo inferiore rispetto ai suoi concorrenti essendo già

² Il *time to market* è una espressione che indica il tempo che intercorre dall'ideazione di un prodotto alla sua effettiva commercializzazione. Il *time to market* comprende le fasi di studi di mercato, studi di fattibilità, ingegnerizzazione, creazione di un prototipo, produzione in larga scala, immissione sul mercato.

presenti prodotti con un livello tecnologico superiore. Risulta quindi semplice definire a posteriori il *time to market* dei progetti e dei prototipi, mentre se si analizzano processi futuri la previsione va basata su andamenti ipotetici delle due linee che, generalmente, vengono definiti sull'andamento dei processi di sviluppo del passato.

2.3.3.2 I differenti processi in commercio

Nella collocazione dei progetti in uno schema che rappresenta i processi innovativi, saranno presenti molti prodotti collocati sotto il livello di innovazione commerciale (PROGETTO₃). Se si considerano tutti i prodotti e non solo quelli più innovativi, per ogni tipologia vi sono gruppi di artefatti che, per motivi strategici, economici o commerciali si collocano in aree specifiche e potrebbero definire delle aree di sviluppo particolari, con un loro flusso di innovazione parallelo.

Come vedremo anche in seguito, la presenza sul mercato di prodotti con differenti fasce di prezzo e di caratteristiche determina anche la presenza di più aree di prodotti con livelli di innovazione differenti. In generale un prodotto innovativo da un punto di vista commerciale è più costoso rispetto ad uno che ha caratteristiche innovative e prestazionali inferiori. Si creano così delle aree in cui si collocano questi prodotti più economici e meno innovativi che, come vedremo, con il passare del tempo tendono ad avere un processo di innovazione indipendente e parallelo a quello delle innovazioni in commercio.

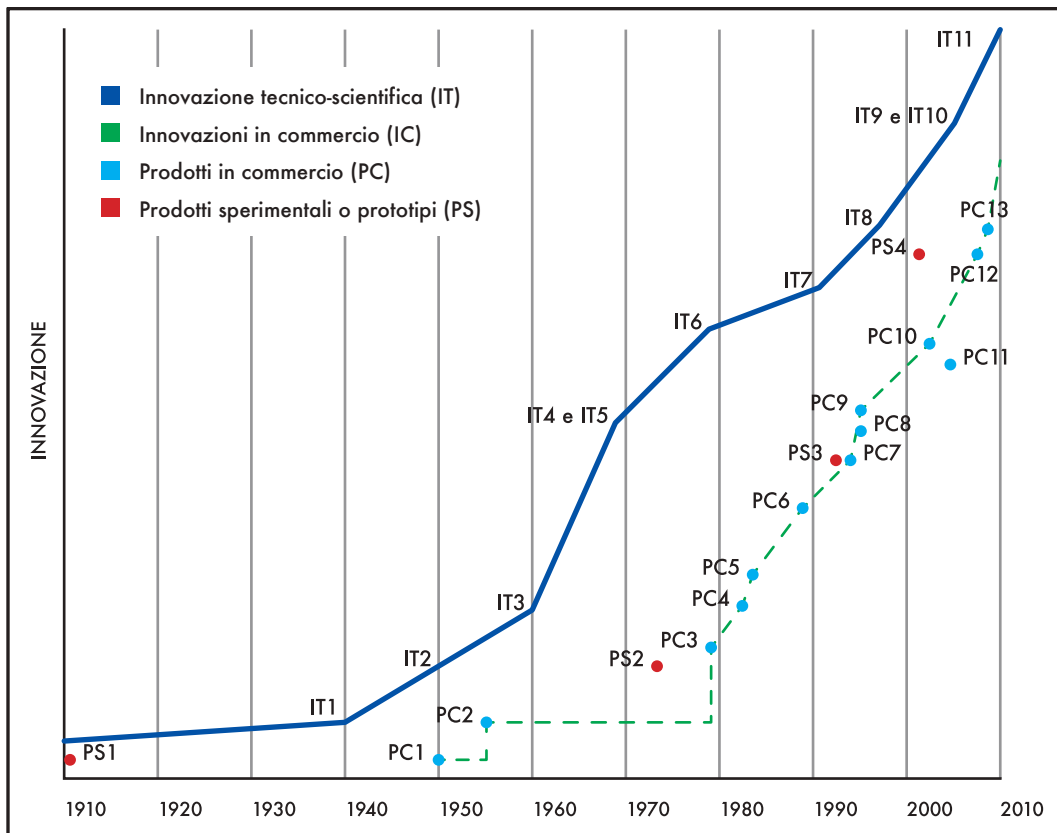
2.4 Alcuni esempi

Dall'analisi di alcuni esempi, verranno illustrati differenti processi di sviluppo delle innovazioni tecnico-scientifiche e dei prodotti. Le analisi che seguono non sono finalizzate a descrivere in modo dettagliato il rapporto tra innovazioni tecnico-scientifiche e prodotti ma ad analizzare alcune caratteristiche e particolarità di questo rapporto sulla base di alcune considerazioni che si possono evincere dall'osservazione delle rappresentazioni grafiche ottenute.

Inoltre, gli esempi presentati riguarderanno solo casi inerenti alla telefonia mobile, per evidenziare come, a seconda dei parametri d'indagine, vi siano differenti possibilità di analisi dei processi e, di conseguenza, differenti risultati rappresentativi di una tipologia di prodotti e dei relativi processi di innovazione.

2.4.1 La telefonia mobile

Sulla base di alcune informazioni storiche riferite all'ambito della telefonia mobile, vediamo come si delinea dal punto di vista dell'innovazione tecnico-scientifica e dei prodotti il grafico (fig. 2.6) di questo ambito disciplinare.



2.6 Grafico del processo di innovazione della telefonia mobile (riferimenti: *Appendici* p. 107)

Analizzando le principali tappe dello sviluppo della telefonia mobile, è possibile osservare un esempio dello sviluppo del rapporto tra innovazione tecnologica e di prodotti. Dall'analisi, anche se non dettagliata, emerge che dalla commercializzazione dei primi apparecchi di telefonia mobile giapponesi (PC3) e del primo cellulare Nokia (PC4), rispettivamente nel 1979 e nel 1983, il processo di sviluppo si intensifica e assume un andamento di tipo incrementale che tende ad avvicinarsi sempre di più alla linea del processo di innovazione tecnico-scientifica (IT).

Al contrario, i casi precedenti si presentano come isolati e, anche dal punto di vista commerciale, il loro andamento è stato rappresentato da intervalli lineari in quanto rappresentano casi in cui non c'è stato un processo di innovazione graduale che li ha portati ad essere associabili al prodotto successivo. Infatti, nel caso della telefonia mobile del 1950 (PC1) si trattava di telefoni mobili che venivano collegati alla rete tradizionale, mentre il cercapersone (PC2) del 1955 non ha poi avuto uno sviluppo che, in modo progressivo, lo ha portato a assumere le funzioni e le sembianze di un cellulare. Il cercapersone ha avuto uno sviluppo parallelo rispetto ai successivi apparecchi mobili e, per molteplici cause, non è stato un prodotto che si è gradualmente trasformato

assumendo nuove funzioni, come nel successivo passaggio tra i telefoni cellulari e gli smartphone, anche se nel quadro generale dello sviluppo della telefonia mobile deve essere considerato, assieme ai telefoni del 1950, come uno dei prodotti che fanno parte di questo processo di sviluppo.

Nel caso analizzato, considerato il livello di dettaglio della ricerca, non sono presenti elementi al di sopra della linea dell'innovazione (quelli che precedentemente erano stati classificati come "progetti"); sono però stati indicati dei casi di prodotti sperimentali che, come vedremo, sono fondamentali per il processo di sviluppo dei prodotti. Questi casi, infatti, sono tutti esempi che sono poi stati riutilizzati o implementati nello sviluppo dei prodotti successivamente commercializzati.

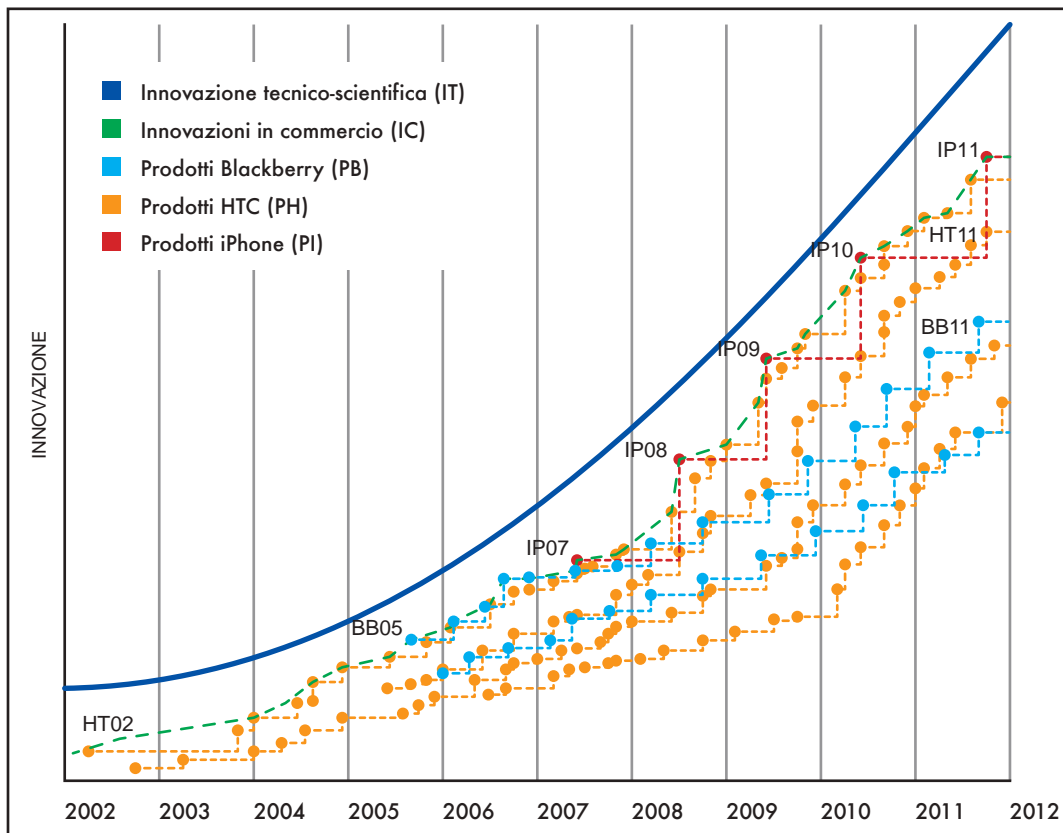
In generale, è interessante osservare come il processo di innovazione tecnico-scientifica (IT) e quello dei prodotti in commercio (IC) abbiano due andamenti differenti, non paralleli, e soprattutto nella fase finale tendano ad avvicinarsi. La diffusione dei prodotti e le richieste da parte degli utenti di nuove prestazioni e di nuovi telefonini comporta infatti un inevitabile sviluppo degli artefatti e, contemporaneamente, anche delle innovazioni tecnico-scientifiche. Per questo, l'andamento esponenziale dei prodotti in commercio influenza anche lo sviluppo delle innovazioni tecnico-scientifiche che si intensifica diventando anch'essa di tipo esponenziale nella parte finale.

2.4.2 Blackberry, HTC e Apple iPhone

Analizzando lo sviluppo tecnico-scientifico in relazione con i prodotti Blackberry, HTC e Apple *iPhone* è possibile osservare come i tre marchi abbiano dei processi di sviluppo differenti dovuti, in particolare, alle finalità strategico-commerciali dei prodotti (fig. 2.7). Dall'analisi dei tre brand, è possibile stabilire lo sviluppo dell'innovazione generale³ degli smartphone in relazione allo sviluppo tecnologico riguardante questo settore. Di seguito verranno analizzate le principali caratteristiche dei tre marchi sulla base delle considerazioni che si possono leggere dal grafico.

Nel caso dei Blackberry è evidente come lo sviluppo sia di tipo incrementale. Nella fase iniziale, questi modelli sono stati, tra i tre, i prodotti più innovativi del mercato e, nonostante sia sempre presente un processo di innovazione tecnologica tra un modello e l'altro, ad un certo punto questa leadership si è interrotta a discapito degli altri due marchi. Da un punto di vista dell'innovazione, questo abbassamento dell'aspetto innovativo dei prodotti Blackberry (in relazione ai concorrenti) è difficilmente ana-

³ Per dare una panoramica generale dello sviluppo degli smartphone sarebbe necessaria un'analisi che comprenda tutti i marchi che producono questa tipologia di prodotti. Nello specifico se ne sono considerati solo tre, per dare una panoramica delle tipologie e delle possibilità di sviluppi. Inoltre sono volutamente stati considerati solo i prodotti dal 2002 in poi e sono stati omessi alcuni modelli per semplificare la rappresentazione, considerato anche il fatto che, in questo caso, l'analisi non è di tipo analitico ma finalizzata a dare un panorama generale dello sviluppo dei prodotti.



2.7 Grafico del processo di innovazione degli smartphone (riferimenti: *Appendici* p. 110)

lizzabile se non si considerano anche varianti differenti da quella tecnologica. Da un punto di vista commerciale infatti i prodotti Blackberry sono stati progettati con finalità professionali, poiché si rivolgono principalmente ad un target di professionisti che li utilizzano per motivi lavorativi. Per questo lo sviluppo degli smartphone ha seguito un processo di sviluppo finalizzato ad ottimizzare l'usabilità, riducendo in molti casi la presenza di componenti innovativi (dal punto di vista tecnico) non funzionali alle finalità generali dello smartphone, come ad esempio display grandi e con tecnologie touchscreen.

A differenza dei Blackberry, i prodotti HTC hanno un andamento crescente costante che occupa differenti fasce di innovazione. Il marchio di Taiwan ha uno sviluppo di tipo incrementale che, dopo i primi modelli con un alto livello di innovazione, si potrebbe definire per linee parallele. La strategia commerciale di HTC è infatti quella di offrire un gran numero di prodotti per soddisfare i differenti target di riferimento. Nello specifico, l'azienda si propone di offrire una moltitudine di modelli che, dal punto di vista innovativo, presentano continui sviluppi differenziati per i differenti target. Graficamente si identificano quindi differenti linee di prodotti con differenti livelli di innovazione.

Un altro aspetto interessante dei prodotti HTC, ma anche di quelli Blackberry, è il fatto che tra l'uscita di un modello e quello successivo vi sia un tempo relativamente breve (circa sei mesi) per cui lo sviluppo è continuo e tende a seguire l'andamento del processo di innovazione.

Il caso dei telefoni *iPhone* presenta numerose differenze rispetto ai modelli precedentemente illustrati. Il primo modello della Apple, l'*iPhone 2G*, è stato commercializzato relativamente tardi (nel 2007) rispetto al processo di sviluppo degli altri due marchi e, a differenza degli altri due marchi non ha avuto uno sviluppo progressivo e incrementale ma è stato un modello che, per le sue caratteristiche, si è rivelato essere il più innovativo in quel momento. Se si considerano solamente i prodotti Apple, possiamo definire il primo *iPhone* al pari di un'invenzione, mentre nel panorama complessivo costituisce uno di quei prodotti che aumentano in modo radicale il processo di innovazione della tipologia di prodotti smartphone.

Analizzando i successivi *iPhone*, è evidente come questo fattore si ripeta per tutti i prodotti della Apple che apportano sempre, o quasi, degli incrementi innovativi radicali alla tipologia degli smartphone.

Questo processo di sviluppo messo in atto dal marchio californiano è dovuto a strategie di mercato ben precise. Apple, a differenza di HTC, commercializza un unico modello all'anno⁴, finalizzandolo ad un target che richiede un alto livello di innovazione. Apple mette così in atto una strategia commerciale che potremmo definire a "gradoni" (sulla base della rappresentazione grafica che si configura) rispetto a quella dei concorrenti che (graficamente) si identifica con dei "gradini". Per questo motivo, per essere concorrenziale, i prodotti *iPhone* devono avere un alto apporto tecnologico per diminuire al minimo le potenziali differenze con le case concorrenti (ad esempio HTC) che, presentando più prodotti in uno stesso intervallo di tempo, hanno la possibilità di apportare progressivamente le nuove innovazioni tecniche.

Da un punto di vista grafico, i prodotti HTC e Apple si potrebbero rappresentare come dei "gradini" o dei "gradoni" che stanno sulla stessa diagonale. Nella realtà, per essere concorrenziali, alla loro presentazione i prodotti *iPhone* devono sempre essere sopra il livello dell'andamento ottenuto dai prodotti HTC.

Aumentando radicalmente il livello tecnologico utilizzato, Apple obbliga, involontariamente, i concorrenti ad aumentare in breve tempo il livello innovativo dei propri prodotti, le ipotetiche diagonali diventano così delle parabole e, di conseguenza, aumenta anche il livello generale dell'innovazione. Risulta quindi interessante osservare, anche graficamente, come lo sviluppo di un prodotto comporti anche delle conseguenze nello sviluppo generale delle dei prodotti.

Più in generale, è possibile notare come il rapporto tra innovazione e prodotti (in

⁴ In tutte le analisi si sono considerati i prodotti in commercio fino alla presentazione di un nuovo prodotto analogo, anche se nella realtà i prodotti precedenti vengono commercializzati fino alla conclusione della produzione e all'esaurimento delle scorte.

questi casi commerciali) abbia differenti tipologie di sviluppo che, nella maggior parte dei casi, risultano essere condizionate da diversi fattori che, come è stato in parte analizzato, condizionano lo sviluppo di una specifica tipologia ma anche lo sviluppo dei processi innovativi tecnico-scientifici che, com'è ovvio, deve sempre essere superiore al livello dei prodotti in commercio.

2.4.3 I display, gli smartphone, i tablet e i TV display

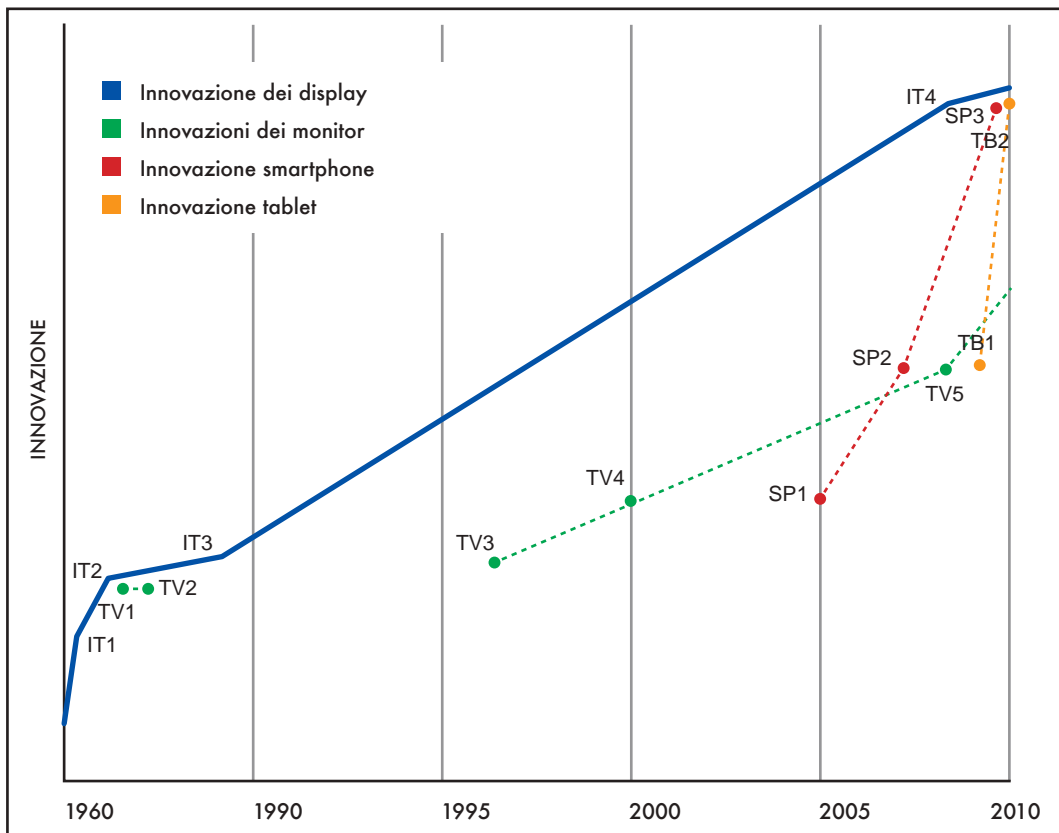
Dopo aver analizzato alcuni esempi di rapporto tra innovazione tecnico-scientifica e lo sviluppo di una tipologia di prodotti e tra tecnologia e un prodotto specifico, si passa ad analizzare un esempio di rapporto tra una specifica innovazione tecnologica e differenti prodotti. Nello specifico sono stati indagati i processi di innovazione di tre tipologie di prodotti (smartphone, tablet e i monitor⁵) in relazione al processo di sviluppo tecnologico dei display (fig. 2.8).

Lo sviluppo delle tre tipologie di prodotti è molto differente. I monitor sono stati tra i primi a utilizzare le tecnologie dei display, ciò nonostante sono anche i prodotti che hanno raggiunto un livello di innovazione inferiore rispetto a quelli analizzati. Al contrario i tablet, che sono prodotti più recenti, si collocano nella parte alta del grafico (vicino alla linea dell'innovazione tecnico-scientifica), impiegando sin dai primi modelli un alto livello tecnologico per i propri display.

Gli smartphone sono invece prodotti che hanno un processo di sviluppo più costante rispetto all'innovazione in quanto impiegano sempre display con un alto livello di innovativo.

È interessante osservare come, in generale, lo sviluppo di una tecnologia non comporti lo sviluppo di tutti i prodotti che la utilizzano, ma anzi spesso sono proprio i prodotti che da più tempo applicano una tecnologia ad avere più difficoltà a sostituirla o aggiornarla. Nel caso dei monitor, ad esempio, questo "rallentato tecnologico" è dato da fattori dimensionali ed economici. A differenza delle altre due tipologie di prodotti, infatti, i monitor hanno display di dimensioni più grandi e la scoperta di nuove tecnologie spesso non corrisponde alla possibilità di realizzare display di dimensioni tali da essere utilizzati per questi prodotti. Sulla base di questa riflessione, è dunque naturale un "rallentamento tecnologico" dei monitor rispetto a smartphone e display. Inoltre le grandi dimensioni influenzano anche l'aspetto economico dei prodotti, aumentandone proprio il "rallentamento", infatti la commercializzazione di monitor con nuove tecnologie è spesso condizionata dagli elevati costi dei prodotti, per questo, nonostante siano potenzialmente commercializzabili, i monitor hanno tempi di immissione nel mercato molto più lenti rispetto alle altre due tipologie di prodotti.

⁵ In questa analisi sono stati considerati indistintamente sia gli schermi per i personal computer sia i monitor TV successivi a quelli a tubo catodico.



2.8 Grafico del processo di innovazione dei display (riferimenti: *Appendici* p. 113)

Osservando il processo di sviluppo dei tablet nel grafico si può cogliere un altro dato interessante: questi prodotti, in commercio dal 1950, non hanno la necessità di ripercorrere un processo di sviluppo già intrapreso dai monitor e dagli smartphone, in quanto sono il risultato del trasferimento tecnologico ottenuto in altri settori. Nel caso specifico, i primi monitor dei tablet non erano altro che gli stessi utilizzati negli smartphone, seppure con le dovute variazioni.

Questo processo è il classico esempio di trasferimento tecnologico in cui i risultati ottenuti dallo sviluppo di una tecnologia e di una specifica tipologia di prodotti vengono riutilizzati per la realizzazione di nuovi o altri tipi di prodotti, in questo caso i tablet. Da analisi di questo tipo, in cui si analizzano più prodotti in relazione ad un singolo processo tecnologico, è facile individuare casi di questo tipo. Dopo tutto, anche se precedenti, i display dei primi smartphone non sono altro che il frutto del trasferimento tecnologico dei display utilizzati nei monitor.

Come abbiamo visto nei casi precedenti, lo sviluppo del processo innovativo aumenta se c'è una maggiore richiesta di prodotti. La presenza di più tipologie dunque incentiva lo sviluppo della tecnologia e anche i casi di trasferimento tecnologico e la produzione di nuove tipologie di prodotti non fanno altro che incrementare questo sviluppo.

2.5 Conclusioni

Dalle rappresentazioni grafiche è possibile individuare molti degli aspetti che condizionano lo sviluppo dei processi di innovazione tecnico-scientifica e di prodotto. Come è stato illustrato negli esempi, l'andamento dei due processi segue uno sviluppo di tipo incrementale che tende a un continuo innalzamento del livello di innovazione, sia dal punto di vista tecnico che dei prodotti. Inoltre, nonostante i grafici che rappresentano le innovazioni tecnico-scientifiche e i prodotti commerciali non siano quasi mai paralleli, i due andamenti sono legati da un'associazione che, seppur univoca, nella realtà è biunivoca.

2.5.1 La relazione tra gli elementi

In linea teorica, l'aumento delle innovazioni tecnico-scientifiche permettono un potenziale sviluppo dei prodotti aumentandone le possibilità progettuali; al contrario, la produzione di artefatti non è un elemento che produce nuova innovazione tecnico-scientifica ma uno strumento per l'impiego delle tecnologie. Dall'osservazione dei grafici è però evidente come questa relazione venga messa in discussione. L'aumento del livello innovativo impiegato nei prodotti comporta, infatti, un aumento delle ricerche e di nuove innovazioni in un settore specifico. Negli esempi presentati, i due processi (rappresentati dalle due linee "innovazione tecnico-scientifica" e "prodotti in commercio") tendono, con il tempo, ad avvicinarsi producendo così un aumento repentino del processo di sviluppo. La produzione di artefatti con un alto livello tecnologico intensifica infatti le ricerche riferite ad uno specifico ambito, aumentandone pertanto le scoperte e il livello di innovazione.

Se nel rapporto tra prodotti e tecnologia questa relazione è di tipo diretto, analizzando gli altri elementi del grafico è possibile osservare come, seppur indirettamente, tutti gli elementi concorrono allo sviluppo del processo di innovazione. I progetti, i prodotti sperimentali e i prototipi condizionano infatti l'andamento dei prodotti in commercio che, stimolati da queste prospettive future, sono obbligati ad aumentare il livello innovativo e la frequenza di commercializzazione dei nuovi prodotti che condizionano a loro volta l'innovazione tecnologica che si rinnoverà in tempi più brevi.

Nel complesso il sistema si regola quindi su un intreccio tra le parti in cui la variazione di un elemento comporta, direttamente o indirettamente, l'incremento degli altri e dell'intero sistema.

Schematizzando i differenti elementi rappresentati nei grafici e indicando quali sono gli elementi che vengono direttamente influenzati, è possibile riassumere le relazioni nel seguente modo:

INN. TECNICO-SCIENTIFICA > INN. IN COMMERCIO, PRODOTTI, PROTOTIPI
l'incremento tecnico scientifico aumenta le possibilità innovative dei prodotti commerciali, sperimentali o dei prototipi;

PRODOTTI IN COMMERCIO > INN. TECNICO-SCIENTIFICA

la commercializzazione di nuovi prodotti aumenta l'incremento dello sviluppo tecnico-scientifico;

PRODOTTI SPERIMENTALI E PROTOTIPI > PRODOTTI IN COMMERCIO

i prodotti sperimentali e i prototipi sono artefatti che potenzialmente possono essere successivamente inseriti nel mercato, incrementandone l'innovazione;

PROGETTI > INN. TECNICO-SCIENTIFICA, PROGETTI SPERIMENTALI

lo sviluppo tecnico scientifico a sviluppare nuove soluzioni in grado di renderli prototipabili.

Lo sviluppo innovativo è quindi condizionato da più elementi e l'apporto del progettista risulta uno degli elementi necessari ed essenziali per lo sviluppo di tutto il sistema.

2.5.2 Le differenti tipologie di prodotti

Lo sviluppo dei singoli elementi analizzati non è l'unico fattore che aumenta il processo di innovazione tecnico-scientifica e dei prodotti. Infatti, come già anticipato nell'esempio dei display, degli smartphone, dei tablet e dei monitor, la presenza di più tipologie di prodotti che utilizzano uno stesso processo di innovazione influiscono sul suo incremento. Quindi il passaggio tecnologico, è un processo progettuale abitualmente utilizzato dai designer, è indirettamente uno degli elementi chiave nello sviluppo di una tecnologia. In fine, da un punto di vista grafico, pure la presenza di più artefatti (intesi sia come prodotti in commercio, sperimentali, prototipi e progetti) è uno degli elementi fondamentali per lo sviluppo di una tecnologia.

Nell'analisi dello sviluppo dei display la necessità di realizzare dispositivi che utilizzano schermi piatti e a colori per gli smartphone e i tablet ha avviato un processo di sviluppo tale da realizzare monitor senza più il tubo catodico, trasformandone così anche le dimensioni. Con questo non si vuol sostenere che senza l'invenzione degli smartphone e dei tablet i monitor sarebbero ancora realizzati con tecnologie a tubo catodico, ma che la presenza di nuovi artefatti ne ha aumentata la richiesta, velocizzandone il processo di innovazione. Le nuove tipologie di prodotti hanno quindi avviato dei processi di sviluppo delle tecnologie che hanno prodotto lo sviluppo di nuove tecniche di proiezione delle immagini e delle prestazioni, intese come qualità delle immagini e dei consumi energetici, migliori rispetto alle soluzioni precedenti.

Parallelamente, lo sviluppo delle nuove tecnologie ha avviato dei processi di trasformazione dei prodotti che hanno assunto un nuovo aspetto formale rispetto agli artefatti precedenti. I monitor, che con il tubo catodico avevano le sembianze di un cubo, si sono trasformati dunque in prodotti in cui le due dimensioni dello schermo prevalgono rispetto a quelle della profondità. Questa nuova conformazione, oltre alle nuove possibilità progettuali, permette di utilizzare i monitor in nuovi ambiti applicativi con

modalità e funzioni del tutto inedite: da prodotti appoggiati su un piano i monitor diventano artefatti che possono essere facilmente appesi e, grazie a ingombri minimi, vengono impiegati anche per sostituire cartelloni pubblicitari e tabelloni informativi nei luoghi pubblici.

Lo sviluppo tecnologico avvia quindi processi di sviluppo dei prodotti che possono essere riferiti sia all'aspetto fisico-progettuale, ma anche alle funzionalità e alla sua usabilità.

2.5.3 Il passaggio tecnologico

Un altro aspetto che avvia dei processi di sviluppo è quello che viene definito il "passaggio tecnologico", vale a dire il passaggio a nuove tecnologie da parte di una tipologia di prodotti.

Le tecnologie impiegate per la realizzazione di un prodotto hanno, generalmente, delle funzioni ben precise nelle prestazioni degli artefatti. Tutte le tecnologie sono però messe in continua discussione; nello sviluppo di nuovi progetti infatti c'è il tentativo di proporre nuove soluzioni progettuali che, in alcuni casi, mettono proprio in discussione le precedenti scelte progettuali. In alcuni le nuove proposte non permettono di ottenere delle prestazioni migliorative nei prodotti, in altre ancora le nuove soluzioni riescono a mettere in discussione anche tecnologie ben consolidate nella storia progettuale di un artefatto.

In questo secondo caso il trasferimento tecnologico, vale a dire il passaggio da una tecnologia all'altra, permette di ottenere nuove prestazioni ma anche un aumento del processo di sviluppo delle due tecnologie messe in contrapposizione. In genere, una tecnologia applicata ad un prodotto può fornire nuove prestazioni o sostituire delle funzioni che precedentemente erano ottenute dall'utilizzo di una precedente. In questo modo, la sostituzione avvia dei processi di concorrenza tra le due tecnologie, che tendono ad affermarsi l'una sull'altra, e in questa fase di transizione si innescano una serie di processi di innovazione che portano ad un rapido sviluppo di entrambe. A seconda dei tipi di tecnologie si possono ottenere differenti processi di sviluppo che si riassumono in tre tipologie.

Nel primo caso, la nuova tecnologia non ha inizialmente il livello di innovazione della precedente ma, vedendone le ampie possibilità di sviluppo, viene applicata per raggiungere e superare il livello della vecchia.

Nel secondo, entrambe le tecnologie hanno uno stesso livello di innovazione e lo incrementano in modo simultaneo fino a quando una delle due non riesce più a mantenere il confronto con l'altra e quindi viene lentamente abbandonata, risultando meno innovativa.

Nel terzo caso, il livello di innovazione della nuova tecnologia, spesso frutto del risultato di un'invenzione o di un incremento radicale, è nettamente superiore rispetto alla precedente e ci sarà l'incremento repentino della vecchia tecnologia che tenterà di raggiungere nel più breve tempo possibile il livello della concorrente.

Il passaggio tecnologico applicato ai prodotti è dunque uno dei processi che più provoca e influenza lo sviluppo dell'innovazione tecnico-scientifica.

2.5.4 I prodotti, i nuovi prodotti e i sistemi di prodotti

L'applicazione di una nuova tecnologia in una tipologia di prodotti è un processo che inevitabilmente porta variazioni e processi di sviluppo anche nel panorama dei prodotti ad esso associato. Il passaggio tecnologico non influisce solo sulle caratteristiche fisiche o funzionali del prodotto sul quale viene utilizzato, ma generalmente innesca anche dei processi di trasformazione che riguardano anche i prodotti ad esso associato.

Da un punto di vista grafico, questa trasformazione non è facilmente osservabile dall'analisi di una singola rappresentazione ma lo è piuttosto dal confronto di più grafici, risultando evidente una corrispondenza simultanea nell'incremento dei diversi processi.

La telefonia mobile, ad esempio, ha avviato lo sviluppo di una serie di trasformazioni in artefatti già esistenti, di nuovi prodotti e la realizzazione di sistemi e di reti dedicati.

Analizzando una panoramica dei prodotti associati ai telefonini e agli smartphone, risulta evidente come si siano sviluppati una moltitudine di artefatti, come auricolari, caricabatterie e custodie, che precedentemente non esistevano. In alcuni casi, come quello delle custodie, sono oggetti che si possono definire "ausiliari", perché d'ausilio al prodotto stesso, e il loro sviluppo non comporta parallelamente delle innovazioni anche dal punto di vista tecnico-scientifico. In altri, come i caricabatterie e gli auricolari, l'associazione con il prodotto provoca la trasformazione di entrambi anche dal punto di vista tecnologico. Gli auricolari ad esempio sono stati dotati di tecnologie *bluetooth* proprio per poter dialogare più semplicemente con questi prodotti.

Proprio per la loro caratteristica mobilità, i nuovi telefoni hanno avviato dei processi di trasformazione anche tra i caricabatterie che, devono poter essere collegati a differenti fonti di alimentazioni, diventando così oggetti collegabili sia alle tradizionali prese elettriche ma anche agli accendisigari delle auto e ai personal computer permettendo quindi più modalità di ricarica.

In altri casi si sono sviluppati dei sistemi di prodotti nuovi finalizzati all'interazione con questi dispositivi. Le *docking station* sono, ad esempio, prodotti nati proprio dallo sviluppo di smartphone che permettono di riprodurre musica in un ambiente, amplificando quella che è la funzione "vivavoce". Questi prodotti, che di fatto sono dei riadattamenti moderni degli impianti HI-FI, devono il loro sviluppo proprio alle nuove possibilità d'uso degli smartphone.

Analizzando in modo più ampio il panorama degli artefatti associati alla telefonia mobile, si può notare come siano numerose queste relazioni e diventa chiaro come ogni nuova trasformazione o tipologia di prodotti ne influenza sempre delle altre e lo sviluppo avviene generalmente in modo parallelo a quello dei prodotti ad esso relazionati.

Inoltre, in questo caso, le innovazioni di prodotti che si sono sviluppate influenzano o

avviano anche la creazione di un nuovo sistema tecnico: la rete telematica.

Il principale problema nello sviluppo dei cellulari è stato proprio l'iniziale mancanza di una rete senza fili, i primi telefoni mobili venivano infatti collegati alla rete telefonica già esistente, ed è solo dopo la creazione della rete dedicate GSM (nel 1991) che lo sviluppo e la diffusione di questi prodotti hanno avuto un sostanziale incremento.

Come nel caso delle lampadine elettriche di Edison⁶, si fa riferimento a prodotti che funzionano solo se contestualizzati in un complesso sistema tecnico (*Large Technological System*) che, in entrambi i casi, non esistevano prima ed è stato necessario inventarli per permettere lo sviluppo di questi prodotti. Analizzando le reti GSM, ci si accorge infatti che lo stesso sistema di artefatti, dalle centrali ai ripetitori, può, ancora una volta, essere analizzato associando lo sviluppo dell'innovazione tecnico-scientifica a quello dei prodotti che ne compongono il sistema.

Nel caso della telefonia il nuovo sistema GSM modifica profondamente anche tutto il panorama sociale e culturale che lo circonda, influenzando a sua volta altri artefatti che avranno la possibilità di utilizzare questa nuova rete. Infatti, come nel caso della rete elettrica che era inizialmente utilizzata per l'illuminazione ed è poi diventata la fonte principale di energia, le reti mobili sono sempre più spesso utilizzate anche in prodotti che non riguardano solo la telefonia. Se pensiamo a tutti i sistemi domotici e gli artefatti che utilizzano le comunicazioni telematiche per fornire servizi e interagire con altri dispositivi, è evidente come lo sviluppo di una rete non può essere considerato in modo esclusivo ma va contestualizzata in un panorama di prodotti, ognuno dei quali ha un proprio sviluppo e un processo di innovazione specifico.

Ancora una volta un processo di innovazione influenza altri artefatti che ne influenzano degli altri in uno sviluppo a raggiera che, con modalità più o meno rapide o evidenti, rendono il panorama dei prodotti e delle innovazioni tecnico-scientifiche in continua evoluzione.

Per produrre innovazione risulta quindi fondamentale che ci sia un rapporto di scambio e "dialogo" tra i diversi processi perché solo così le innovazioni tecnologiche possono permettere lo sviluppo di nuovi prodotti i quali, a loro volta, ne influenzeranno degli altri che necessitano di ulteriori innovazioni tecnico-scientifiche in un processo in continuo sviluppo.

⁶ Vedi paragrafo 1.2 *La tecnologia e i prodotti* (p. 4)

3 Le nanotecnologie, applicazioni, storia e proprietà

I processi di innovazione tecnico-scientifica e di prodotto seguono dei meccanismi in cui lo sviluppo simultaneo di entrambi i settori comporta una crescita più rapida del processo complessivo. Uno degli elementi più importanti è il “dialogo” tra i diversi ambiti, che permette di relazionare le nuove conoscenze, con la possibilità di ottenere soluzioni che possano essere utilizzate come spunti in un processo in continua crescita. Solo in questo modo, lo sviluppo dell’innovazione può trovare nuovi ambiti e problematiche d’indagine, alimentando così una crescita sempre continua sia delle conoscenze tecniche che dei prodotti.

Se nei capitoli precedenti abbiamo analizzato alcuni esempi in cui il livello di sviluppo e di prodotti è attualmente avanzato, è ora interessante capire come queste teorie possano influenzare una tecnologia in fase di sviluppo, della quale non sono ancora presenti molte applicazioni o prodotti.

Per fare questo, si è deciso di indagare l’ambito delle nanotecnologie, così da comprenderne il funzionamento e individuare gli strumenti che possono mettere a confronto l’ambito tecnologico e quello di prodotto, permettendo così uno sviluppo dell’innovazione più rapido e completo.

3.1 I prodotti nanotecnologici

È utile premettere che nel 2011 sul mercato erano presenti più di 1300 prodotti che utilizzavano nanotecnologie e che, secondo alcune stime, nel 2015 saranno il 15% dei prodotti presenti sul mercato¹. Nonostante questa moltitudine, l’utilizzo di queste applicazioni è per lo più in artefatti già esistenti, in cui la nanotecnologia incrementa le prestazioni di una delle proprietà del prodotto o in prodotti come i cosmetici o le creme, in cui non vi è sviluppo progettuale ma solamente di tipo materico. Escludendo quest’ultima tipologia di oggetti, il panorama degli artefatti che utilizzano nanotecnologie è ampio e va da prodotti in cui il rivestimento nano dà nuove prestazioni, a quelli in cui ne incrementa alcune già presenti.

¹ Da un’indagine svolta del *Project on Emerging Nanotechnologies* risulta infatti che dal 2006 al 2008 i prodotti in commercio che fanno uso di nanotecnologie sono passati da 212 a 609 e nel 2011 sono diventati 1317 (tra questi non sono stati considerati cosmetici, semilavorati e componenti elettronici).



3.1 Pantaloni *4Season OG*, Outlier, 2011

Alla prima categoria appartengono, ad esempio e i pantaloni *4season OG Pants*², i calzini *260 Den*³ che, grazie ad un tessuto basato su particelle d'argento, hanno funzioni anti-batteriche e anti-odore, ma anche tipologie di prodotti come le carrozzine *Baby Carriage*⁴ e i peluche *Benny the Bear*⁵, che reagiscono a batteri, muffe e acari, mantenendo le superfici di questi prodotti sempre igienizzati.

Alla seconda categoria appartengono invece prodotti come *FX Cruiser SHO*⁶, il primo scafo che grazie alle nanotecnologie può ridurre il peso delle scocche fino al 25%, man-

² *4Season OG Pants*, dell'azienda Outlier, sono i pantaloni con un rivestimento nanotecnologico autopulente che impedisce al tessuto il formarsi di macchie e ne facilita la pulitura che va fatta utilizzando solamente acqua.

³ *260 Den*, dell'azienda Tsung-HAU Technology, sono i calzini composti da un tessuto nanotrattato a base di ioni d'argento che da funzioni antibatteche e antiodore al prodotto.

⁴ *Baby Carriage*, dell'azienda Silver Fox Co, è la carrozzina che sfrutta un trattamento nanotecnologico a base di argento che reagisce, eliminandoli, ai virus e ai batteri che si depositano sulla superficie trattata.

⁵ *Benny the Bear*, dell'azienda Pure Plushy, è il peluche con nanoparticelle d'argento che reagisce ai batteri, alle muffe e agli acari che si depositano sulla sua superficie.

⁶ *FX Cruiser SHO*, dell'azienda Yamaha Motor, è la moto d'acqua che utilizza uno scafo realizzato con una scocca lavorata nanotecnologicamente e per questo ultraleggera.



3.2 Moto d'acqua FX Cruiser SHO, Yamaha Motor, 2008



3.3 Piccozza Corsa Nanotech, CAMP™, 2009

tenendone la stessa resistenza. Allo stesso modo, la piccozza per arrampicata *Corsa Nanotech Ice Axe*⁷ usa una lega di acciaio nanotrattato che è del 60% più resistente rispetto a quello tradizionale, consentendone così maggiori performance.

In entrambi i casi, ma anche in quelli precedenti, nella progettazione di questi nuovi prodotti c'è la tendenza a riproporre artefatti già in commercio, a cui vengono applicati questi nuovi materiali, e non avviene quasi mai un processo di sviluppo in cui la nuova tecnologia sia determinante nella progettazione del prodotto.

Questo processo, se da un lato velocizza l'introduzione delle nuove tecnologie sul mercato, dall'altro ne implica uno sviluppo in cui manca la fase progettuale che, in questi casi, potrebbe portare nuove soluzioni di prodotti, di tipologie e di ambiti di applicazione. Lo sviluppo di nuovi prodotti in cui l'utilizzo di nanotecnologie è di tipo sostanziale, vale a dire in cui questa diventa l'elemento centrale del artefatto e delle sue funzioni, è, come visto nei capitoli precedenti, una fase che permette di incrementare lo sviluppo tecnico-scientifico grazie alle nuove possibilità, alle nuove soluzioni e ai nuovi possibili sviluppi.

⁷ *Corsa Nanotech Ice Axe*, dell'azienda CAMP™, è la piccozza per arrampicata con il manico in lega d'acciaio nanotrattato e particolarmente resistente.

3.2 Perché le nanotecnologie

L'esempio più utilizzato per comprendere la scala dimensionale di una nanotecnologia è quello che mette in rapporto la massa della terra con quella di una palla da basket e di quest'ultima con una dimensione di un atomo. Da questo paragone, risulta chiaro come le nanotecnologie siano un argomento che, apparentemente, non rientra nella progettazione di un prodotto. Al contrario, invece, la possibilità di operare in dimensioni ridotte permette di modificare sostanzialmente le proprietà di un materiale, le sue prestazioni e, in molti casi, anche di realizzare dei trattamenti che ne trasformano quasi totalmente le caratteristiche.

Quando si parla di nanotecnologie si fa riferimento ad una disciplina che solo negli ultimi anni ha iniziato ad essere oggetto di studio per chimici e ingegneri dei materiali, per questo sono ancora molti gli aspetti variabili e da indagare dal punto di vista dei materiali e delle applicazioni. Le tecnologie di produzione, ad esempio, sono in alcuni casi ancora sperimentali e la loro realizzazione avviene spesso in laboratorio, per cui non è possibile realizzarne grandi quantità né, in alcuni casi, è possibile renderli adatti a particolari finalità commerciali. In questo senso è interessante analizzare il rapporto tra questi materiali e i progetti, per individuare alcune possibilità progettuali e, soprattutto, per indagare quali possono essere i possibili strumenti in grado di aumentare il livello di innovazione di queste tecnologie.

Come ampiamente descritto in precedenza, analizzare il processo di innovazione tecnico-scientifico e di prodotti (sia che si intendano prodotti sperimentali o possibili progetti) e riuscire a creare delle affinità tra i due ambiti, comporta un inevitabile incremento di entrambi i processi di innovazione. In questa analisi saranno quindi evidenziate le tecnologie e i prodotti che consentono di individuare i settori e gli strumenti in grado di mettere in relazione i due processi, permettendone così un incremento simultaneo.

Proviamo quindi a descrivere un panorama generale di questa tecnologia e dei prodotti attualmente presenti sul mercato per capire che cosa sono e cosa potrebbero essere le nanotecnologie e le relative applicazioni.

3.3 La storia

Anche se la classificazione di scienza a livello nanometrico è stata definita per la prima volta nel 1959⁸, la definizione "nanotecnologia" è stata coniata nel 1974⁹ e uno dei pri-

⁸ Feynman, R. (1959), *There's plenty of room at the bottom*, American Physical Society meeting, California Institute of Technology, Pasadena, 29 dicembre

⁹ "Nano-technology" mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule. (Norio Taniguchi, 1974)



3.4 Coppa di Licurgo, British Museum, IV secolo d.C., Londra. La coppa appare verde se illuminata con luce diffusa e rossa se illuminata con luce diretta

mi e più importanti libri sul tema è stato pubblicato nel 1986¹⁰, i primi casi conosciuti di prodotti che utilizzano applicazioni nanotecnologiche risalgono già al X secolo a.C. in Mesopotamia.

A quel periodo, risalgono infatti i primi trattamenti utilizzati per colorare le ceramiche che, grazie a piccoli residui di pigmenti d'oro e d'argento, fornivano colorazioni differenti a seconda del rapporto tra il punto di vista dell'osservatore e la luce che illuminava queste ceramiche. Uno dei primi esempi, ancora esistenti, di questi trattamenti con pigmenti a base d'oro è la coppa di Licurgo¹¹, nella quale piccole particelle di materiali preziosi contenute nella polvere di Cassia, utilizzata per la realizzazione del vetro, permettono a questa coppa di essere di colore verde se illuminato con luce diffusa e di colore rosso se illuminato con luce diretta. La coppa, che all'epoca si pensava avesse poteri magici, sfrutta dunque le caratteristiche dei piccolissimi pigmenti d'oro

¹⁰ Drexler, K. E. (1986), *Engines of creation, The coming era of nanotechnology*, Anchor Press, New York

¹¹ La coppa, attualmente esposta al British Museum di Londra, risale al IX secolo d.C. ed è il più antico prodotto (analizzato con microscopio elettronico) che deve il suo effetto a residui della grandezza di qualche decina di nanometro.

che assumono un colore o l'altro a seconda di come vengono colpiti dai raggi di luce.

Ci sono numerosi altri casi, soprattutto nella storia dell'arte, di esempi in cui sono stati impiegati pigmenti di dimensioni nanotecnologiche, spesso ottenuti in superfici o in forni dove erano presenti piccoli residui di altri materiali che formavano legami che oggi definiremo nanotrattati. Le vetrate delle cattedrali gotiche, come quella di Nôtre-Dame a Parigi ad esempio, erano realizzate proprio con queste tecniche, che permettevano di ottenere dei vetri rossi particolarmente brillanti, grazie a particelle d'oro di grandezza di circa un centinaio di nanometri presenti nel vetro. Anche le ceramiche "a lustro", realizzate per la prima volta nel Quattrocento a Deruta, in Umbria, non sono altro che il risultato di particelle d'oro depositate nel momento della cottura sulla superficie di queste terre, che assumono così un aspetto lucido.

Ma nel passato le nanotecnologie non sono state utilizzate solo per le loro funzioni decorative: in tutti i periodi storici in cui la chimica ha avuto un ruolo rilevante, si presume vi siano state delle scoperte empiriche che, grazie a componenti o reazioni nanotecnologiche, hanno offerto effetti nuovi e inspiegabili, tali da diventare motivo d'indagine. Gli alchimisti, considerati da molti i precursori dei chimici moderni, erano coloro che, nel XII secolo in Europa, avevano l'obiettivo di trasformare le sostanze e sperimentavano come le composizioni di differenti materiali permettesse di crearne di nuovi. In realtà il loro obiettivo era quello di trasformare i metalli in oro, ma non è escluso che molti dei materiali realizzati fossero il frutto di composizioni con presenza di materiali a livello nanometrico che fornivano effetti particolari, nanotecnologici per l'appunto.

Passando a periodi più recenti, dagli anni Trenta alla metà del Novecento, grazie agli sviluppi in campo fotografico e, in particolare alle pellicole, vi sono state scoperte chimiche che si possono considerare il risultato di componenti nanotecnologici nelle sostanze utilizzate. Gli strati di sali d'argento sensibili alla luce delle prime pellicole fotografiche infatti non sono altro che miscele di composti, tra cui particelle d'argento di dimensioni nanometriche, che permettono alla pellicola di impressionarsi e di riprodurre così l'immagine.

Ma se i primi casi di nanotecnologie risalgono al X secolo a.C. ed esistono numerosi esempi di applicazioni nano nella storia perché la nanoscienza è nata solo alla fine del 1959?

La risposta va ricondotta alle possibilità di vedere e di manipolare le dimensioni nanometriche. Nonostante ancor breve, tutta la storia della nanoscienza e i suoi sviluppi sono stati determinati dalle scoperte di microscopi elettronici in grado di vedere l'infinitesimamente piccolo. Non a caso tra i momenti determinanti che caratterizzano la storia delle nanotecnologie ci sono l'invenzione dello *Scanning Tunneling Microscope*¹² che risale al 1981 e permette per la prima volta di vedere e manipolare gli atomi; la

¹² Gerd K. Binnig e Heinrich Rohrer, presso i laboratori di ricerca dell'IBM di Zurigo (1981).

creazione nel 1993 di un sistema di realtà virtuale¹³ da collegare allo *Scanning Tunneling Microscope* che consente di “vedere e toccare” gli atomi; e lo sviluppo del microscopio elettronico¹⁴ nel 2002, in grado di avere una risoluzione che permetteva di vedere dimensioni più piccole di un singolo atomo di idrogeno. I trattamenti precedentemente descritti al contrario sono risultati essere nanotecnologici solamente dopo un’analisi con questi sistemi di visualizzazione. La possibilità di vedere come sono composti i materiali a queste dimensioni ha permesso, nell’ultimo cinquantennio, di sviluppare anche nuove tecniche di produzione per creare materiali che, grazie a particolari trattamenti, hanno caratteristiche e prestazioni ben definite e, a seconda dei casi, si possono manipolare in base alle esigenze funzionali.

Successivamente allo sviluppo dei microscopi, sono quindi nate nuove tecniche produttive in grado di controllare trattamenti in dimensioni nanometrica, così da sviluppare nuove tipologie di trattamenti che, come vedremo, garantiscono di modificare in modo superficiale o massivo un materiale.

3.4 Le dimensioni

Per affrontare il tema delle nanotecnologie e il loro rapporto con la progettazione di prodotti, è necessario definire che cosa si intende quando si utilizzano i termini nano. Per definizione, quando si utilizza il termine *nano-* (simbolo *n*) si fa riferimento all’unità di misura del *Sistema Internazionale* che esprime il fattore 10^{-9} rispetto all’unità che si va a considerare, nel nostro caso i metri, quindi un miliardesimo di metro, un milionesimo di millimetro.

Generalmente quando si parla di queste tecnologie si fa molta confusione tra le tecnologie nano e micro o comunque si tende a generalizzare. Questo errore è dovuto ad alcuni motivi che vedremo in seguito, anche descrivendo i MEMS e i NEMS¹⁵, ma soprattutto è dovuto alla difficoltà, per i non esperti, di definire le differenze dimensionali tra le due tecnologie. Inoltre, anche il fatto che i componenti, soprattutto elettronici di dimensioni micro, contengano trattamenti o strutture nanotecnologicamente trattate, in molti casi può indurre in errore.

Nello specifico, secondo la definizione di Albert Franks del 1987¹⁶, le nanotecnologie sono “quell’area della tecnologia dove le dimensioni e le tolleranze tra i 0,1 nm e i 100 nm giocano un ruolo critico”. Da allora quando si parla di nanotecnologie si fa riferi-

¹³ Warren Robinett e R. Stanley Williams, rispettivamente delle Università della Nord Carolina e della California (1993).

¹⁴ Ricercatori IBM di Zurigo (2002).

¹⁵ Vedi paragrafo 3.7.2 *I MEMS e i NEMS* (p. 52).

¹⁶ Franks, A. (1987), *Nanotechnology*, in “Journal of Physics E: Scientific Instruments”, vol. 20, n.12

mento a questa grandezza dimensionale che, vista la tolleranza, comprende ordini di grandezza molto differenti tra loro. Di conseguenza per applicazioni superiori ai 100 nm (0,1 μm) si parla di dimensioni micro, quindi dai 0,1 μm ai 100 μm .

Se da un punto di vista teorico i numeri permettono di fare molta chiarezza sulle reali dimensioni di queste tecnologie, per capire anche da un punto di vista percettivo quali sono le differenze tra nano e micro è utile fare alcuni esempi pratici di differenti scale dimensionali. Se parliamo di una formica e di un elefante, nonostante le differenze, stiamo parlando di dimensioni che appartengono ad una stessa scala dimensionale che potrebbe essere i centimetri. Se invece parliamo di una città o addirittura di uno Stato stiamo facendo riferimento ad una scala dimensionale superiore. Allo stesso modo le nanotecnologie potrebbero essere paragonate a uno dei due animali, mentre le micro alla città o allo Stato. Generalizzare e fare riferimento ad applicazioni micro e nano è un po' come considerare tutte le dimensioni che stanno tra la formica e uno Stato come delle tolleranze di un'unica scala dimensionale. Tuttavia, nonostante le ridotte dimensioni parlare di micro e nano significa trattare due scale dimensionali che da molti punti di vista non hanno alcuna caratteristica comune e, soprattutto nel secondo caso, di una scala dimensionale che risulta difficile poter anche solo immaginare.

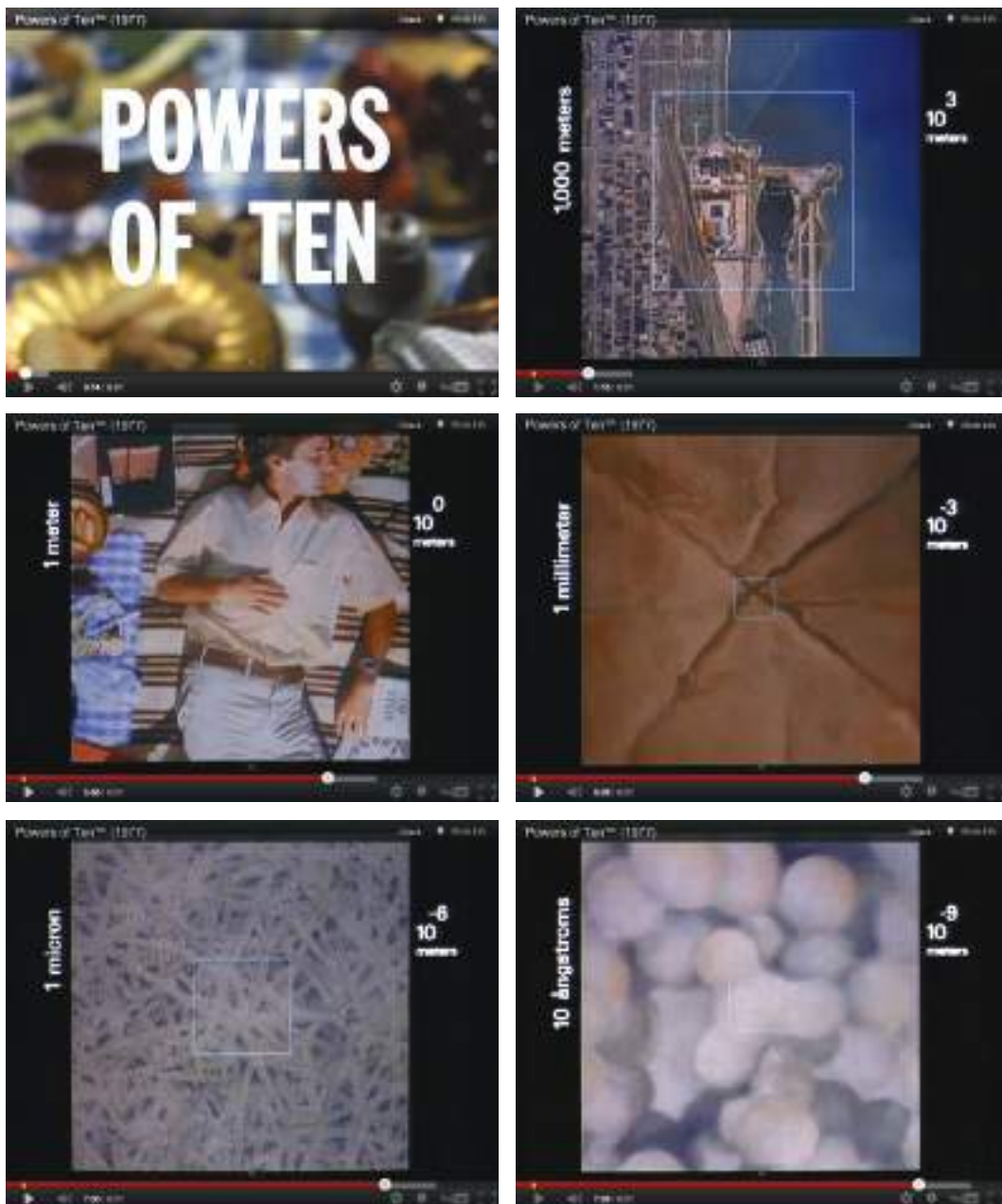
Sono molte le rappresentazioni grafiche e interattive che ci aiutano a comprendere quanto piccolo sia questo mondo. Una delle più conosciute è il video *Powers of ten*¹⁷ di Charles Eames e Ray Eames (del 1968 e ripubblicato nel 1977) nel quale viene rappresentato per passaggi decimali la scala metrica dai 10^{24} ai 10^{-16} e in cui le dimensioni nanometriche sono quindi quelle comprese tra i 10^{-7} e i 10^{-10} (le micrometriche tra i 10^{-4} e i 10^{-7}). Un altro interessante esempio è anche *Nanoreisen*¹⁸ una rappresentazione realizzata da VDI Technologiezentrum che, grazie ad una serie di immagini e schede in sequenza, permette di visualizzare in modo interattivo il passaggio dimensionale che i fratelli Eames avevano illustrato con un video. In questo caso, la scala considerata va dal metro al biliardesimo di metro (10^{-15} , un *femto*-metro) ed è possibile vedere la progressione in differenti tipologie di applicazioni: materiali nanotrattati, MEMS/NEMS e tessuti.

Riferendoci a dimensioni così ridotte, è naturale chiedersi se e come le applicazioni nanotecnologiche possano influenzare la progettazione di un prodotto. Come vedremo in seguito, questi processi condizionano inevitabilmente le scelte progettuali perchè le dimensioni ridotte comportano, in molti casi, trasformazioni sostanziali dei materiali e delle loro proprietà. Nei casi di applicazioni massive¹⁹ si agisce, ad esempio, sul materiale a livello molecolare, alterandone le prestazioni di ogni singola parte e ottenendo

¹⁷ *Powers of ten*, Charles Eames e Ray Eames (1968, 1977 ripubblicato)

¹⁸ *Nanoreisen*, www.nanoreisen.de, VDI Technologiezentrum e Ministero Federale dell'Istruzione e della ricerca tedesco (2009)

¹⁹ Vedi paragrafo 5.2 *I trattamenti superficiali e massivi* (p. 74)



3.4 *Powers of ten*, Charles Eames e Ray Eames (1977)

così risultati che possono variare anche solo a seconda delle quantità e dei tipi di trasformazioni applicati.

Il ruolo del progettista è quindi anche quello di conoscere le caratteristiche di questi materiali per sfruttarne le possibilità applicative.



3.4 *Nanoreisen*, www.nanoreisen.de, VDI Technologiezentrum (2009)

3.5 La multidisciplinarietà

Uno degli aspetti più complessi di questi materiali, oltre alle dimensioni, è la multidisciplinarietà delle nanotecnologie. Se dal punto di vista progettuale tale aspetto è ampiamente conosciuto e utilizzato quando si affronta un progetto, dal punto di vista tecnico e scientifico complica lo sviluppo delle ricerche in questo settore. Quando si parla di “nanoscienza” si fa, infatti, riferimento ad una disciplina che comprende differenti ambiti, come la scienza dei materiali, la fisica quantistica, la chimica e la biologia molecolare. A questo va inoltre aggiunto che le nanotecnologie possono essere applicate trasversalmente in diversi settori industriali, alcuni dei quali già in commercio come le applicazioni di materiali nanostrutturati, i tessuti antimacchia, le superfici antigraffio o autopulenti, i cosmetici contenenti nanopolveri, gli aerogel nanostrutturati

per l'isolamento termico. Tuttavia si prevede che nel prossimo decennio i prodotti con applicazioni nanotecnologiche saranno presenti in molti altri ambiti.

La multidisciplinarietà, che generalmente è considerata come un aspetto positivo per l'innovazione di un prodotto nel caso delle nanotecnologie, presenta però anche aspetti di tipo negativo. I differenti ambiti disciplinari che riguardano la nanoscienza complica una materia che necessita di molteplici figure professionali e che possono variare dagli ingegneri dei materiali ai chimici molecolari, a seconda del tipo di applicazione considerata. In questo senso, lo sviluppo tecnico-scientifico dell'ambito considerato vede la ricerca incrociata di più aspetti, comportando così la necessità di avere équipe multidisciplinari che, inevitabilmente, aumentano i costi e i tempi dell'innovazione. La collaborazione tra più figure professionali, con conoscenze e metodologie di lavoro differenti, richiede infatti tempi più lunghi per ottenere dei risultati, in quanto, almeno inizialmente, è necessaria una fase di organizzazione generale che permetta di ottimizzare le potenzialità del gruppo di lavoro, in queste équipe la comunicazione tra differenti ambiti infatti risulta fondamentale per lo sviluppo dell'innovazione. Come vedremo anche nel capitolo successivo, gli strumenti che permettono la diffusione della conoscenza consentono di incrementare il processo generale dell'innovazione. Le differenti figure professionali coinvolte nelle ricerche possono così conoscere i risultati, i possibili ambiti e i settori di sviluppo, siano essi tecnico-scientifici o di prodotti, aumentare le tipologie d'indagine dei diversi settori di ricerca.

3.6 I processi top down e bottom up

Nonostante la multidisciplinarietà delle nanoscienze, lo sviluppo di materiali nanotecnologici avviene sempre sulla base di due possibili processi tra loro contrapposti: i *top down* e i *bottom up*. Conoscere questi due andamenti permette, in parte, di capire come funzionano le nanotecnologie, ma soprattutto di prevedere i possibili processi di sviluppo tecnico-scientifico di una singola applicazione.

Dal un punto di vista dell'ingegneria dei materiali, *bottom up* fa riferimento a processi in cui delle particelle di dimensioni molecolari o atomiche vengono composte per formare un materiale nanostrutturato. Al contrario i processi *top down* si sviluppano partendo da blocchi di materiale che, grazie a lavorazioni a tipo litografico²⁰ o riducendo con metodi fisici le dimensioni, permettono la realizzazione di nanostrutture. Questo secondo processo è quello più utilizzato per creare i materiali nanostrutturati che in alcuni casi possono essere impiegati per realizzare componenti elettronici come i MEMS e i NEMS, mentre in altri utilizzati per modificare le proprietà di materiali già esistenti.

²⁰ La litografia è la tecnica di produzione di strutture micro e nanoscopiche mediante un rivestimento fotoreattivo che viene inciso con fasci luminosi e che, una volta sviluppato, evidenzia o nasconde alcune parti della superficie per l'incisione e altri processi.

L'aspetto più interessante di questi due approcci produttivi è il fatto che gli stessi passaggi dal grande al piccolo e viceversa, sono stati utilizzati anche come processi di sviluppo per la ricerca di nuovi materiali ed applicazioni nanotecnologiche. Ne risulta che i processi *top down* sono i più utilizzati anche per la progettazione dei sistemi elettronici in cui i componenti, di dimensioni micrometriche, vengono sempre più ridimensionati ed affinati per diventare dei nanocomponenti.

Viceversa i processi *bottom up* sono utilizzati per riprodurre in dimensioni più grandi, ma sempre nanometriche, dei fenomeni presenti in natura che sono da sempre motivo di studio e di cui solo lo sviluppo dei microscopi elettronici ha permesso di capire il funzionamento. In questo modo processi naturali come l'effetto dei fiori di loto, la bioluminescenza delle lucciole e di alcune specie di pesci marini o l'abilità di attaccarsi alle superfici del gecko, riescono ad essere riprodotti artificialmente per realizzare applicazioni o materiali che funzionano in modo analogo.

Da un punto di vista progettuale queste tipologie di sviluppo sono interessanti per due aspetti: da un lato permettono di ipotizzare i possibili scenari futuri dello sviluppo di un'applicazione o le possibili nuove funzioni di questi materiali, dall'altro possono essere lo spunto per riprendere questi processi anche nella fase di sviluppo progettuale dei nuovi artefatti.

Se da un lato la "miniaturizzazione" consente di avere un maggiore livello di possibilità progettuali e formali²¹, nel caso di nanotecnologie che riproducono processi che imitano dei fenomeni naturali c'è, soprattutto quando questi vengono utilizzati per la prima volta, la necessità di innescare negli utilizzatori un processo evocativo che permette loro di associare il nuovo effetto ad uno che l'utente già conosce. Questo processo evocativo è spesso utilizzato per i prodotti che hanno funzioni o effetti del tutto nuovi. Nel caso di applicazioni che impiegano trattamenti superficiali di tipo idrofobico, questo effetto può essere facilmente spiegato considerando che la superficie si comporta come quella dei fiori di loto. Riconoscendone le proprietà specifiche, l'utente sarà più disposto ad utilizzare quel prodotto e la nuova tecnologia non verrà vista come una novità da scoprire ma come la riproduzione di un processo che l'utente già conosce.

In altri casi, in cui la nuova funzione non sia presente in natura, l'aspetto evocativo viene creato con la produzione graduale di artefatti che utilizzano una tecnologia. Questo fenomeno è ben conosciuto nell'ambito dei sistemi di prodotti, in cui spesso vengono prodotti giochi o gadget che hanno la funzione di anticipare artefatti più complessi che utilizzano un determinato processo o materiale. È il caso, ad esempio, delle console per i videogames, che dall'inizio degli anni Novanta²² hanno permesso una graduale predisposizione degli utenti nei confronti dei dispositivi elettronici, faci-

²¹ Nel caso dei *top down*, la possibilità di avere componenti più piccoli permette di gestire gli elementi di un prodotto in spazi più piccoli potendo avere più soluzioni formali per realizzare lo stesso artefatto.

²² Le prime console per giochi sono state introdotte nel mercato alla fine degli anni Settanta, primi anni Ottanta, ma la grande diffusione è stata soprattutto dal decennio successivo.

litando così anche la successiva diffusione dei personal computer. È possibile ritrovare questo processo di “diffusione” tecnologico anche per quanto riguarda le applicazioni nanotecnologiche.

Nel caso dei materiali fotoluminescenti²³ le prime applicazioni sono state giocattoli o gadget per decorare le pareti delle camere da letto dei più piccoli. Solo successivamente queste tecnologie sono state utilizzate anche nel settore della sicurezza per segnalare le vie di fuga all'interno degli ambienti nei momenti di *blackout*. L'accettazione e l'utilizzo di questa applicazione nel settore della sicurezza è, in parte, il frutto di uno sviluppo di un miglioramento tecnologico della stessa, in parte, è dovuto alla facilità con cui gli utenti riconoscono in questa tecnologia la stessa che veniva utilizzata nelle camere dei loro figli.

I processi *top down* e *botton up* sono quindi due processi di sviluppo interessanti sia da un punto di vista dell'innovazione tecnico scientifica ma anche di progettazione degli artefatti in quanto permettono, da un lato, di avere maggiori possibilità progettuali, e dall'altro di semplificare la diffusione delle nuove tecnologie.

3.7 I diversi tipi di nanotecnologie

I diversi processi di sviluppo delle nanotecnologie comportano inevitabilmente differenti tipologie produttive a seconda dei materiali e delle prestazioni che si desiderano ottenere. Essendo sempre riferite a lavorazioni di dimensioni molecolari o atomiche, la loro realizzazione è generalmente il risultato di processi atti a ottenere particolari composizioni chimiche. Nella maggior parte dei casi, quando si fa riferimento ai nanomateriali si intendono materiali tradizionali ai quali, per mezzo di alcuni trattamenti, vengono conferite nuove proprietà. Le tipologie di trattamento sono principalmente due: quelle che operano su tutto il materiale di applicazione (massive) e quelle superficiali, che premettono di creare degli strati nanotecnologici in grado, anche in questo caso, di incrementare le proprietà di un materiale o di aggiungerne delle nuove. A questi si aggiungono poi tutti i trattamenti che permettono di ottenere componenti elettroniche, i MEMS e i NEMS, con soluzioni in cui i nanotrattamenti hanno funzioni di reagenti o particolari proprietà adatte alla realizzazioni di componenti o sensori di tipo elettrico o elettronico.

3.7.1 I nanomateriali

I materiali nanotecnologici, siano essi applicati con trattamenti massivi o superficiali, a seconda della composizione formale assunta dagli atomi o dalle molecole, possono

²³ La fotoluminescenza è un processo in cui una sostanza assorbe fotoni (radiazione elettromagnetica) per poi riemetterli.

essere suddivisi in quattro tipologie (0-D, 1-D, 2-D e 3-D) che fanno riferimento alle dimensioni geometriche delle composizioni ottenute con processi produttivi specifici²⁴.

3.7.1.1 I nanomateriali 0-D

Con la tipologia 0-D si intendono agglomerati liberi di particelle (detti anche *nanoparticles*) che formano composizioni di elementi di dimensioni minori di 100 nm e, nel loro insieme, compongono agglomerati simili a polveri nano. In questi processi, grazie all'utilizzo di fasi gassose o liquida, è possibile ottenere particelle di tipo molecolare o atomico che possono successivamente essere ricomposte in altre geometrie e utilizzate per rivestimenti superficiali o per trattamenti massivi. Generalmente, in queste lavorazioni a fase gassosa si utilizzano miscele inerti che si depositano su una superficie e, reagendo con il materiale, si legano con essa per creare strati nanotrattati. Nelle lavorazioni a fase liquida si utilizzano invece le forze superficiali dei materiali per attivare delle reazioni in cui parte delle particelle utilizzate crea strutture su scala nanometrica. Attualmente esistono diversi tipi di processi per ottenere queste strutture, la maggior parte dei quali hanno applicazioni per lo più di tipo sperimentale o con produzioni di quantità ridotte. In molti casi, infatti, i processi avvengono sottovuoto e con dispersioni che possono essere a ultrasuoni, con metodi *sol-gel*²⁵ o con tecnologie di auto-assemblaggio.

3.7.1.2 I nanomateriali 1-D e 2-D

I nanomateriali 1-D e 2-D si riferiscono ad agglomerati molecolari o atomici che per composizione chimica sono riconducibili a filamenti, nel primo caso o a superfici bidimensionali, nel secondo.

Nella classificazione di entrambi, vengono considerate come dimensioni misurabili solamente lati superiori ai 100 nm. I materiali 1-D (detti anche *nanowires*, *nanorods* e *nanotubes* a seconda delle caratteristiche) sono quindi filamenti che hanno lunghezze nell'ordine delle microtecnologie, secondo la definizione di Albert Franks²⁶, e un diametro nanometrico. Allo stesso modo i nanomateriali 2-D (detti anche *nanocoatings* e *nanofilms*) sono quelli che hanno due dimensioni nell'ordine dei micro e la terza nanometrica. Così come un foglio di carta viene considerato bidimensionale per il suo spessore minimo, anche nei nanomateriali 2-D vengono considerate su scale riferite a

²⁴ Per approfondimenti sulle classificazioni e i processi di lavorazione dei nanomateriali vedi Ashby M. F., Ferreira P. J. S. G. e Schodek D. L. (2009).

²⁵ Il processo *sol-gel* costituisce uno dei principali metodi per la fabbricazione di materiali ceramici, tipicamente ossidi di metalli. Il processo prevede la sintesi di soluzioni colloidali (*sol*) che costituiscono i precursori per la successiva formazione di un gel attraverso reazioni di idrolisi e condensazione.

²⁶ Vedi paragrafo 3.4 *Le dimensioni* (p. 43)

un'unità di misura specifiche. È però importante non confondere i nanomateriali 2-D con i rivestimenti nanotecnologici. Quando si fa riferimento a trattamenti superficiali nanotecnologici si intendono, infatti, trattamenti composti da particelle nano-micro-metriche di forma bidimensionale sparse casualmente sulla superficie²⁷ del trattamento. Come nel caso dei materiali 0-D anche nei 1-D, 2-D la conformazione delle particelle nanometriche sono adatte a ottenere sia trattamenti di tipo massivo che superficiale, a seconda delle tipologie di trattati e delle prestazioni che si vogliono ottenere. Dal punto di vista produttivo, anche i processi 1-D e 2-D si basano su metodi a fase liquida o gassosa a cui seguono poi delle fasi di assemblaggio basate su legami di tipo anisotropo²⁸, per formare particelle cilindriche, per calcinazione²⁹, per ottenere i singoli nanofili o per catalizzazione³⁰ sfruttando un passaggio di corrente elettrica attraverso degli elettrodi. I principali processi di produzione 1-D e 2-D sono infatti i PED (*Pulsed Electro-Deposition*), i PVD (*Physical Vapor Deposition*), i CVD (*Chemical Vapor Deposition*) e il *Beating*.

3.7.1.3 I nanomateriali 3-D

Tra le quattro categorie i nanomateriali 3-D, realizzati dalla composizione di strati 2-D, dall'intreccio di filamenti 1-D o dall'agglomerato di componenti 0-D, sono gli agglomerati più grandi ma anche i più utilizzati in quanto, grazie alla possibilità di essere applicati in modo massivo ad altri materiali, possono essere successivamente lavorati con metodi di tipo tradizionale. Le leghe o materiali compositi a basi di alluminio, magnesio e titanio, sono stati tra i primi ad essere composti da questi nanocomponenti dato che nella loro fase realizzativa si creano delle reazioni grazie alle quali si formano questi tipi di particelle.

La produzione di nanomateriali 3-D può infatti avvenire attraverso tre tipologie di processi: i *top down* in cui dalla scala macro si passa a quella micro/nano³¹, i *bottom*

²⁷ Fare riferimento ad un trattamento superficiale riferendoci a particelle nanotecnologiche significa descrivere un'area che, nel rapporto tra le dimensioni, è riconducibile ad un volume nel quale all'interno possono essere sparse in modo casuale particelle (0-D), filamenti (1-D) o superfici (2-D) di dimensioni nanometriche.

²⁸ L'anisotropia è la proprietà per la quale un determinato materiale ha caratteristiche che dipendono dalla direzione lungo la quale vengono considerate.

²⁹ La calcinazione definisce un processo di riscaldamento ad alta temperatura protratto per il tempo necessario ad eliminare tutte le sostanze indesiderate da un composto chimico.

³⁰ La catalizzazione è un fenomeno chimico attraverso il quale la velocità di una reazione chimica subisce delle variazioni per l'intervento di una sostanza o una miscela di sostanze, detti catalizzatori.

³¹ Le lavorazioni più utilizzate per queste produzioni sono le *Rapid Solidification* ottenute con tecniche di drogaggio o a laser, e gli *Equiangle Extrusion* in cui il materiale viene deformato fino alla composizione di particolari legami molecolari.

up ottenuti da composizioni chimiche frutto di agglomerati molecolari o atomici (*nanocluster*)³² e metodologie intermedie, realizzate cioè da particelle 0-D, 1-D e 2-D che si compongono nelle più svariate tipologie di soluzioni.

3.7.2 I MEMS e i NEMS

Le sigle MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*) e NEMS (*Nano Electro-Mechanical Systems*) indicano tutti i dispositivi elettronici di dimensioni micro e nano realizzati per lo più da processi *bottom up*. Queste tecnologie che negli anni hanno avuto degli sviluppi di tipo esponenziale sono per lo più componenti elettrici, elettronici e sensori che, al loro interno, utilizzano materiali, trattamenti o reagenti di tipo nanotecnologico.

Dai primi dispositivi MEMS della storia, il primo transistor realizzato da John Bardeen risale al 1947 e il primo circuito integrato di silicio da Jack St. Clair Kilby nel 1958, i processi sono stati notevoli. Da allora questi dispositivi hanno avuto una diffusione tale che, ad oggi, tutti i prodotti meccanici o elettronici presenti nel mercato contengono MEMS o NEMS.

Dispositivi come i sensori di temperatura, i processori, i GPS, gli accelerometri, grazie alla facilità applicativa dovuta alle ridotte dimensioni e alla diminuzione dei loro costi sono stati gli elementi fondamentali dello sviluppo dei prodotti elettronici che quotidianamente utilizziamo.

Da un punto di vista progettuale, l'applicazione dei MEMS e NEMS nei prodotti è molto più semplice rispetto ai nanomateriali precedentemente descritti. In questi casi infatti non si fa riferimento a materiali ma a componenti, spesso integrati in schede magnetiche, che vengono applicati nei prodotti come uno dei tanti componenti elettronici che ne permettono il funzionamento.

Proprio per questo, vista la grande quantità di applicazioni già esistenti e le modalità applicative molto diverse rispetto a quelle dei nanomateriali precedentemente descritti, si è deciso di focalizzare l'ambito della ricerca proprio sui nanomateriali 0-D, 1-D, 2-D e 3-D, in quanto offrono maggiori possibilità progettuali e di innovazione dei prodotti.

3.8 Le nanotecnologie, prodotti e progettazione

A differenza di quanto si può credere, esistono differenti tipologie e ambiti di applicazione nanotecnologiche. I prodotti che utilizzano queste tecnologie sono per lo più artefatti che hanno le stesse forme, le stesse metodologie produttive e le stesse funzioni

³² Le lavorazioni di questa tipologia sono simili a quelle utilizzate per i materiali 0-D con la differenza che in questi casi viene aumentato lo sviluppo delle reazioni, e quindi le dimensioni dei singoli componenti, o la quantità di elementi chimici utilizzati nel processo.



3.5 Trattamento *Lignol® Teak Guard Marine*, Teak Guard, 2007 (sinistra)

3.6 Peluche *Benny the Bear*, Pure Plushy, 2009 (destra)

dei prodotti non nanotrattati. L'applicazione nano in tali casi fornisce dei vantaggi puramente tecnici e non c'è una progettazione di simili artefatti che preveda l'utilizzo di questi trattamenti in modo da sfruttarne al meglio le caratteristiche e, quando serve, raggiungerne i vincoli.

Se si analizzano alcuni prodotti come ad esempio il peluche *Benny the Bear*, o i trattamenti impermeabili e UV utilizzati per rivestire i legni teak delle prue delle navi, è evidente che attualmente queste nuove tecnologie non vengono applicate per ottenere delle innovazioni di prodotti, ma per fornire delle prestazioni migliori o nuove ad artefatti già esistenti.

Questo tipo di sviluppo permette, da un lato, l'utilizzo delle nuove tecnologie e, dall'altro, di iniziarne la diffusione commerciale. Dal punto di vista produttivo, questo tipo di applicazioni sono di tipo secondario in quanto realizzate in post-produzione, senza che ve ne sia una progettazione ad hoc.

Differente è invece il caso in cui un prodotto viene ideato in modo che la nanotecnologia ne sia una delle componenti fondamentali, come nel set di pentole in rame *Nanà*³³, realizzate con l'obiettivo di ottenere dei prodotti più performanti di quelle presenti nel mercato. Grazie ai trattamenti nanotecnologici queste pentole permettono di

³³ Il set di pentole *Nanà* è stato progettato all'interno dello start-up *Nanà Innovations s.r.l.* dal designer Ruggiero Canova, dall'economista Michele Bertola e dai ricercatori Marino Colasuonno (fisico) e Lorenzo Zotterel (scienziato dei materiali).



3.7 Set di pentole *Nanà*, Nanà Innovations s.r.l., 2010

avere un'ottima conducibilità termica nel fondo, di essere atossiche e di avere maniglie inglobate nella superficie grazie ad un trattamento, nella parte superiore, che blocca proprio la conducibilità.

La scelta di progettare delle pentole in rame è avvenuta per l'eccellente conducibilità termica di questo materiale che però da anni non viene quasi più utilizzato nelle cucine a causa della tossicità dell'ossido di rame e della difficoltà di manutenzione. Le pentole in rame attualmente in commercio necessitano infatti di un trattamento a base di stagno che va periodicamente applicato, in quanto viene lentamente corrosato e rimosso durante l'utilizzo. Per ovviare a questo problema, nelle pentole *Nanà* è stato applicato un trattamento nanotecnologico che impedisce in modo permanente la formazione dell'ossido e consentendo alla pentola di mantenere le sue qualità di conducibilità termica. Per fare questo, il prodotto ha la necessità di rispettare alcuni vincoli formali (soprattutto negli archi di curvatura utilizzati) e quindi di basare tutta la fase produttiva in modo da permettere l'applicazione dei nanotrattamenti in quella conclusiva.

Un secondo trattamento, che riduce quasi completamente la conduttività termica del materiale, ha invece permesso di ottenere le maniglie incavando la superficie della pentola, evitando così di afferrarle senza scottarsi anche quando la pentola è calda. Questa soluzione progettuale evita così, da un lato, di doverle saldare o inchiodare e, dall'altro, consente di poter impilare le pentole in modo che l'intero set riduca il suo ingombro alle dimensioni della pentola più grande.

A differenza dei casi precedenti, in *Nanà* l'applicazione nanotecnologica permette di ottenere un prodotto che, per forme e funzioni, è differente rispetto ai concorrenti e, proprio per questo, è possibile identificare nel prodotto lo sviluppo innovativo di cui si è trattato anche in precedenza.

È evidente quindi che lo sviluppo parallelo di ricerca tecnico-scientifica e di prodotto assume, in questi casi, un ruolo tanto più innovativo se le diverse fasi di sviluppo avvengono in modo collaborativo tra ricercatori, ingegneri e designer. Solo così il panorama dei prodotti potrà cambiare e permettere a queste applicazioni di diventare le tecnologie che, come molti si aspettano, rivoluzioneranno i prodotti e le loro modalità d'utilizzo.

4 Lo strumento di relazione tra ricerca e prodotti

Come analizzato nei capitoli precedenti, le nanotecnologie sono una tecnologia che da un lato ha il vantaggio di essere ancora inesplorata e dall'altro presenta molte proprietà, *in primis* le dimensioni, che la rendono complessa e altamente specifica. In un panorama di questo tipo la soluzione ottimale per incrementare il processo di innovazione è quindi quello di realizzare delle équipes in cui differenti figure professionali collaborino alla ricerca di nuovi materiali e allo sviluppo di nuove tipologie di prodotti.

4.1 La diffusione dei risultati

Nell'ambito nanotecnologico risulta difficile, o almeno lo è stato fino ad ora, riuscire a creare gruppi di lavoro eterogenei. Infatti i ricercatori necessitano di strutture altamente sofisticate, con macchinari spesso fragili a causa dei componenti di dimensioni nano e micrometriche contenuti al loro interno e con spazi dedicati che, in alcuni casi, devono essere anche asettici. A questo si aggiungono gli ancora alti costi di queste tecnologie e di conseguenza delle ricerche, che sono spesso volte a trovare soluzioni specifiche che, nella maggior parte dei casi sono definite dai finanziatori delle ricerche. Nel 2011, ad esempio, l'ente governativo nazionale hanno stanziato circa 7,7 miliardi di euro i finanziamenti¹ per queste tecnologie. I fondi, che per lo più sono stati destinati a settori come le energie rinnovabili e all'ambito medicale, non hanno però un programma specifico per quanto riguarda una diffusione unilaterale dei risultati che verranno per lo più divulgati tramite canali specifici come articoli scientifici o conferenze di settore. Questa diffusione diventa quindi uno dei vincoli che, soprattutto quando si parla di ricerca scientifica, contribuisce a "rallentare" il processo di innovazione in più tipologie di prodotti che, come visto in precedenza², è una delle componenti fondamentali per

¹ Dal 2000 sono circa 50 miliardi di euro i finanziamenti mondiali che i diversi governi nazionali e le aziende hanno stanziato per lo sviluppo delle nanotecnologie, solo nel 2011 sono stati stanziati 7,7 miliardi di fondi pubblici di cui: 1,8 in Cina; 1,59 in Russia; 1,44 negli Stati Uniti; 0,71 in Giappone; 2 in Europa così suddivisi: 500 milioni in Germania, 400 in Francia, 250 nel Regno Unito, 100 in Italia, 60 (+20 in prestiti) in Spagna, 70 in Olanda, 31,9 in Finlandia.

AA.VV. (2012), "Public funding of nanotechnology", ObservatoryNANO, http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/PublicFundingofNanotechnologies_March2012.pdf, 9 Aprile 2012

² Vedi paragrafo 2.5.2 *Le differenti tipologie di prodotti* (p. 32)

lo sviluppo di una nuova tecnologia. Infatti, in un settore come quello della fotoluminescenza, sviluppato in ambito medico per ottenere traccianti cellulari, il processo di innovazione può produrre materiali e trattamenti in grado di ottenere dei prodotti del tutto nuovi che, come nel caso di *Mobilight*³, danno origine a punti luce che non consumano energia, perché si caricano grazie all'esposizione al sole. In questo caso una delle tecnologie sviluppate in un ambito è stata utilizzata anche in altri permettendo così nuove necessità di sviluppo anche dal punto di vista tecnologico.

L'obiettivo è quindi quello di permettere una maggiore diffusione delle conoscenze così che le nuove scoperte scientifiche possano essere utilizzate per lo sviluppo di prodotti e viceversa che gli artefatti permettano lo sviluppo di nuovi ambiti o di tipologie di ricerche, andando a incrementare il processo d'innovazione globale.

4.2 Quale strumento

A questo punto la domanda che ci si pone è la seguente: qual è lo strumento più adatto per creare un efficace scambio di informazioni e conoscenze tra l'innovazione tecnico-scientifica, i ricercatori, e l'innovazione di prodotto, i progettisti?

Considerando le attuali fonti di comunicazione, sia in termini di aggiornabilità che di consultazione, da un'analisi condotta è risultato che la soluzione più efficace per contenere questo tipo di materiali e di informazioni è un database online. L'obiettivo è quindi quello di realizzare un database in cui i materiali e i progetti possano essere inseriti dagli stessi ricercatori e progettisti e che fornisca in modo plurilaterale le informazioni sui nuovi sviluppi delle ricerche, i nuovi prodotti e le proposte per lo sviluppo di questa materia.

4.3 I database

Lo sviluppo di una ricerca finalizzata alla realizzazione di un database di materiali nanotecnologici non può prescindere dallo studio dell'attuale stato dell'arte dei database in questo settore. Questa analisi permetterà di avere una panoramica delle alternative allo strumento che si andrà a realizzare, di individuare una lista di fonti attendibili che potranno essere utilizzate per ricavare parte dei contenuti che verranno poi inseriti nel database e per i successivi aggiornamenti. Un altro obiettivo di questa fase è stato definire i parametri e le modalità di rappresentazione e consultazione dei database, individuandone pregi e difetti. Sulla base di questa analisi si sono infatti definite sia la struttura che le modalità di consultazione del database che andremo poi a presentare.

Dall'analisi sviluppata sono risultati essere molteplici i prodotti in commercio che uti-

³ Vedi paragrafo 6.6.2 *Mobilight* (p. 98)

lizzano trattamenti e applicazioni nanotecnologiche, e sono presenti numerosi portali web che, con modalità e contenuti differenti, ne presentano lo stato dell'arte.

Per prima cosa sono quindi stati classificati i database secondo due tipologie di contenuti: applicazioni e prodotti nanotecnologici. Viste le sostanziali differenze tra le due tipologie si è deciso di svolgere due analisi comparate distinte e, solo in un secondo momento, individuare le caratteristiche comuni utili alla successiva realizzazione di un database con entrambe le funzioni.

Se da un punto di vista di organizzazione del database lo studio dello stato dell'arte ha avuto un ruolo importante sia per definire la struttura, sia per quanto riguarda i contenuti e l'identificazione delle successive fonti, è stato necessario integrare la ricerca con una lista di centri di ricerca, organizzazioni e università che, con differenti modalità divulgative, presentano anch'esse applicazioni nanotecnologiche di tipo commerciale.

Molti dei finanziamenti delle ricerche sviluppate in questi centri provengono infatti da aziende che, una volta ultimate, sfruttano le scoperte proprio a fini commerciali. Per questo, successivamente all'analisi dei database, è stata stilata anche una lista di portali, database di novità e articoli scientifici che riguardano la ricerca sui materiali nanotecnologici.

4.4 L'analisi dei database

Nella prima fase dell'analisi sono stati ricercati in modo generale tutte le fonti e i database che riguardano i prodotti e le applicazioni nanotecnologiche per poi, in un secondo momento, valutarne l'attendibilità, i contenuti e le modalità di divulgazione.

Uno degli obiettivi è stato quello di capire se, sulla base delle fonti attendibili individuate, c'è la possibilità di organizzare una struttura che si aggiorni in modo automatico, raccogliendo i dati dalle fonti segnalate.

Come vedremo in seguito, a causa delle differenti organizzazioni dei database dovuta alla grande varietà di materiali e delle specifiche tecniche che aziende e centri di ricerca rendono pubbliche, non sarà possibile ottenere degli aggiornamenti automatici del database, sarà anzi necessario realizzare una struttura flessibile che permetta l'inserimento di differenti tipologie di dati sulla base dei materiali che verranno presentati.

4.4.1 Come si è sviluppata l'analisi

Nella prima parte dello studio, è stata svolta un'analisi dei database riguardanti i materiali nanotecnologici. Per prima cosa, si è definita una lista di possibili fonti che trattano di questi materiali. Successivamente, si sono identificati i parametri che queste fonti devono soddisfare affinché i materiali contenuti possano essere utilizzati per la realizzazione di un database finalizzato anche all'utilizzo da parte di un progettista. Quindi, si è individuata una prima lista di fonti che comprende database che riguardano le nanotecnologie, i materiali e i prodotti che utilizzano queste applicazioni.



4.1 Schermata del database www.nanotechproject.org

4.4.1.1 Contesto

Nell'analisi sono state considerate le banche dati europee e internazionali che trattano materiali nanotecnologici e prodotti che sfruttano questi materiali. Vista la diversità dei due ambiti, si sono definite due tipologie di valutazione a seconda che il database trattasse di materiali o di prodotti. Solo in un caso il database è stato valutato secondo entrambe le tipologie perché presenta nello stesso supporto sia materiali che prodotti.

4.4.1.2 Vincoli considerati

Nell'analisi dei database si sono presi in considerazione solo le fonti che soddisfino il termine "database", vale a dire:

Insieme di dati memorizzati in un elaboratore insieme alla propria descrizione e alle procedure di accesso. Nei database si distingue fra organizzazione fisica dei dati (modo in cui vengono memorizzati) e organizzazione logica dei dati (modo in cui vengono descritti e collegati)⁴.

⁴ Rey, Guido Maria, "Banche dati e basi di dati in *Enciclopedia delle Scienze Sociali*.", Treccani, il portale del sapere, <http://www.treccani.it/enciclopedia/banche-dati-e-basi-di-dati>, 11 Gennaio 2010

Si sono quindi prese in considerazione solamente fonti che presentano le seguenti caratteristiche:

- un archivio di informazioni;
- un aggiornamento costante del database;
- un motore di ricerca;
- una classificazione tipologica del materiale contenuto.

Per questo motivo, sono state escluse da questa fase dell'analisi una serie di fonti che in molti casi forniscono informazioni utili e attendibili sia sui materiali che sui prodotti con applicazioni nanotecnologiche, come *magazine* online, raccoglitori di articoli scientifici, forum, o portali di aziende, per le quali è stata svolta un'analisi successiva che verrà illustrata in seguito.

4.4.2 Valutazione dei database

Nonostante l'analisi si sia articolata sulla base di due differenti metodi di valutazione per i materiali e i prodotti, in entrambi i casi è stata individuata una lista di informazioni generali funzionali per determinare l'ente che gestisce il database e le tempistiche degli aggiornamenti.

4.4.2.1 Dati generali

Come primo punto, sono stati identificati i dati dell'azienda dell'ente o delle persone fisiche che hanno realizzato e curano il database preso in considerazione. Ne sono quindi stati individuati il nome, il Paese, la città, l'indirizzo web e un riferimento e-mail (se questo non era presente è stato indicato il link del *form* di riferimento).

Sono stati identificati anche l'oggetto principale del database, la tipologia, le condizioni di accesso, la modularità e la rappresentatività precisata delle fonti.

4.4.2.2 Fonti come strumento organizzativo

Dall'analisi dei database, sono stati individuati quelli più significativi e ne sono state analizzate le relative fonti per capire quali siano i metodi più utilizzati nella ricerca e nella pubblicazione dei materiali. Grazie a questa parte dell'analisi, sono state identificate le modalità di navigazione dei singoli database fornendo così le indicazioni che risulteranno utili in fase di consultazione della fonte per gli aggiornamenti. Questa fase è servita anche per definire le differenti modalità di ricerca, individuandone pregi e difetti che verranno poi ripresi in fase di progettazione della struttura e dell'interfaccia del sistema a realizzare.

4.4.2.3 Classificazione delle fonti

Per ottimizzare l'analisi e schematizzare le caratteristiche dei database di nanotecnologie e applicazioni, è stato realizzato un modello di scheda che permette di classificare il tipo di fonte e individuarne i possibili contenuti.

L'obiettivo è stato quello di creare un modello che da un lato permette a tutti gli utenti di segnalare nuovi database e dall'altro la possibilità di avere uno strumento in grado di facilitare le modalità di aggiornamento del database.

Nello studio delle schede sono stati inseriti anche dati relativi alle tempistiche di aggiornamento e i formati di divulgazione dei dati, permettendo così una chiara anteprima delle modalità attraverso cui è possibile ottenere nuovi dati dai database. In questo modo sarà possibile permettere agli utenti che collaboreranno alla gestione del database di reperire nuove informazioni dalle fonti e, di conseguenza, permettere un aggiornamento continuo dei contenuti.

Le continue novità in ambito nanotecnologico richiederebbero infatti un aggiornamento costante dei dati, a questo va aggiunto che per le tipologie di utenti che consulteranno il database risulta strategico il fatto che gli stessi utenti siano anche quelli che contribuiscano all'inserimento delle informazioni e allo sviluppo del progetto.

Sia che si tratti di centri di ricerca, aziende, studenti o designer, l'ideale è che, oltre ai classici aggiornamenti effettuati dai gestori, le singole conoscenze degli utenti, siano esse nuove scoperte o progetti, vengano condivise con tutti i fruitori del database. Dopotutto, anche per quanto riguarda i progetti presentati dai designer sarà necessario individuare dei *format* che permetteranno l'inserimento di materiali che saranno poi consultabili da tutti.

4.4.2.4 Modello di scheda, dati generali

nome		
url		
	realizzazione	
	email	
	città	
	paese	
	url	
descrizione		
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base		
tipologie		
condizioni di accesso		
modularità		
rappresentatività precisata delle fonti		
anno d'inizio		
aggiornamento		

4.4.2.5 Modello di scheda, database di applicazioni

dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale		
tipo di materiale		
elementi base		
specifiche tecniche		
ambito di utilizzo		
riferimenti alle fonti		

4.4.2.6 Modello di scheda, database di progetti

dati specifici (prodotti)	valutazione	complementi
descrizione generale		
prestazioni		
ambito di utilizzo		
riferimenti alle fonti		
tipo di trattamento o applicazione		

4.4.3 Risultati dell'analisi

Le schede dell'analisi sono state allegate in *Appendici* (p. 115).

4.5 Osservazioni

Dall'analisi dei database è stato possibile ottenere numerose indicazioni sulla base delle quali sarà realizzata una struttura che permetta una consultazione efficace dei materiali nanotecnologici.

È importante evidenziare che nessuno dei database analizzati soddisfa gli obiettivi prefissati nella definizione iniziale del progetto. Non è mai presente una relazione tra un'applicazione e i prodotti in cui viene utilizzata o viceversa tra un prodotto e le specifiche applicazioni.

Tra le osservazioni generali sono inoltre evidenti la difficoltà di consultazione dei database da parte di utenti dei differenti ambiti. Nello specifico, i database di materiali si presentano sempre come strumenti per esperti di materiali e anche le modalità di ricerca in molti casi non ne aiutano la consultazione da parte di utenti come i progettisti che hanno delle conoscenze di base ma non sono propriamente degli addetti ai lavori. I database di materiali sono invece strumenti che presentano dei progetti in modo generico senza analizzare le effettive proprietà ottenute dalle applicazioni nanotecnologiche.

A seguire, verranno presentate una serie di considerazioni che, sui database analizzati, sono state la base dell'organizzazione del progetto sviluppato.

4.5.1 Le principali problematiche dei database

La maggior parte delle problematiche riscontrate nei database analizzati riguardano le fasi di ricerca e la presentazione delle caratteristiche dei materiali. Inoltre, i database analizzati hanno come finalità l'utente di differenti tipi, per lo più commerciali o con buona conoscenza tecnica di nanotecnologiche, pertanto sono presenti differenti modalità di consultazione e divulgazione dei dati.

4.5.2 Le modalità di ricerca

Osservando le modalità di ricerca è spesso presente la possibilità svolgere indagini sulla base di parole chiave, in questi casi ci si aspetta che l'utente abbia già chiare le finalità o le caratteristiche dei materiali che va a ricercare. In altri casi invece le ricerche verranno effettuate sulla base dei componenti chimici contenuti nell'applicazione, in questo caso le conoscenze di base dell'utente devono essere ancora più specifiche e, nonostante questo si riveli un buon sistema di ricerca, non si presta per utenti che, come nel caso previsto dagli obiettivi, spesso non hanno conoscenze in merito ai materiali che verranno presentati nel database.

Finalizzando il database per la progettazione è quindi necessario che la fase di ricerca sia il più possibile semplificata e che non sia solamente finalizzata alla ricerca di un materiale, ma che guidi l'utente permettendogli di scegliere tra opzioni che, come vedremo, si riveleranno essere le principali caratteristiche e possibilità applicative delle nanotecnologie. Da questa considerazione si è quindi deciso di sviluppare le ricerche per fasi permettendo anche ad un progettista che non conosce le applicazioni nanotecnologiche di ottenere dei risultati specifici in linea con i parametri richiesti.

4.5.3 La rappresentazione dei dati

Dell'analisi è emerso che non è mai presente una chiara classificazione e rappresentazione delle proprietà dei materiali. A differenza di quanto avviene nei "classici" database di materiali, in cui sono presenti delle schede con tutte le proprietà, per le applicazioni nanotecnologiche non sono mai presenti delle rappresentazioni di questo tipo. Come vedremo, questo tipo di soluzione è condizionata dalla varietà delle caratteristiche delle applicazioni e dal fatto che queste ultime sono sempre realizzate su materiali "tradizionali" e quindi la maggior parte delle proprietà sono riferite al materiale di base e non condizionate dalla nanotecnologia.

Nei casi analizzati non sono quindi mai presenti dei *format* standardizzati per la presentazione delle applicazioni. A causa dei fini commerciali di questi database nella fase conclusiva della ricerca sono presenti delle schede che presentano le modalità di acquisto dei materiali o delle applicazioni e, tutte le indicazioni tecniche, fanno riferimento alle pagine o ai *datasheet* dei materiali contenuti nel portale dell'azienda produttrice dell'applicazione.

Se da un lato questo tipo di divulgazione, che permette di avere informazioni e riferimenti sempre chiari e dettagliati, si rivela il sistema migliore per offrire indicazioni di tipo commerciale, non si adatta alla tipologia di utenti "progettisti". Infatti, le schede dei materiali presenti nei portali aziendali presentano i dati a seconda dei clienti tipo dell'azienda. Così un'azienda che produce pigmenti per realizzazioni di applicazioni nanotecnologiche superficiali fornirà tutte le indicazioni sulle caratteristiche delle polveri e della loro lavorabilità, ma non le prestazioni ottenute dall'applicazione nel nanotrattamento.

Nella realizzazione di un database di materiali nanotecnologici finalizzato ai progettisti è invece necessario, per quanto possibile, fornire i dati che riguardano le caratteristiche del nanotrattamento applicato ad uno specifico materiale. Per questo sarà necessario realizzare uno o più *format* di schede che contengano tutti i dati più funzionali per la progettazione: dalle caratteristiche tecniche alle possibilità di lavorabilità del materiale fino ai vincoli che riguardano l'applicazione e le modalità d'uso. Sarà comunque utile mantenere i riferimenti ai portali dei produttori in modo da avere indicazioni su eventuali sviluppi dell'applicazione, sulle possibilità di acquisto di reperibilità dei materiali.

4.5.4 La classificazione delle applicazioni

Un'altra diversità tra i database analizzati e i "tradizionali" database di materiali è la mancanza di una suddivisione delle applicazioni per tipologie. Infatti, non c'è mai una classificazione chiara (per proprietà o per funzioni) delle applicazioni, in alcuni casi ci sono delle suddivisioni per tipologie di applicazioni (superficiali e massive o elementi chimici contenuti) ma tutti i riferimenti sono sempre rivolti alle proprietà del materiale e non alle funzioni finali di quest'ultimo.

Questo tipo di approccio, che funziona per utenti che conoscono le caratteristiche delle nanotecnologie, non si presta alle tipologie di utenti a cui si vuole finalizzare il database. È quindi necessario definire una classificazione delle applicazioni che, come vedremo, non si basa solamente sulle caratteristiche delle applicazioni ma anche sulle loro finalità e, anche in questo caso, sulle prestazioni che offrono una volta applicate.

4.5.5 La rappresentazione dei progetti

Dall'analisi dei database di prodotti è risultato che l'organizzazione dei materiali è analoga a quelle dei "tradizionali" database. La classificazione, gli ambiti applicativi, le descrizioni e le informazioni generali sono tutte in linea con un modello di organizzazione ben consolidato in cui l'unico aspetto negativo riscontrato è stato, paradossalmente, l'associazione di questi prodotti con il tipo di applicazione nanotecnologica utilizzata. In nessuno dei casi analizzati, infatti, sono presenti i riferimenti al tipo di applicazione e alle prestazioni tecniche che la nanotecnologica ha portato al prodotto.

Nello sviluppo del database sarà quindi necessario organizzare una struttura che permetta di associare ad ogni prodotto l'applicazione utilizzata. In questo modo, anche se non verranno indicate le differenze prestazionali del prodotto con e senza applicazioni⁵, sarà possibile avere le indicazioni e le caratteristiche specifiche dell'applicazione utilizzata.

4.5.6 Problemi nel reperire i dati

Una delle difficoltà maggiori nella raccolta dei dati e dei prodotti che utilizzano nanotecnologie è dovuta al fatto che la loro applicazione nei prodotti viene raramente pubblicizzata o menzionata.

Una delle grandi questioni in merito alle nanotecnologie è il timore che queste siano o meno tossiche per l'uomo. Questa paura deriva dal fatto che uno dei materiali di dimensioni nanotecnologici più conosciuto alle grandi masse è il PM₁₀, le famose "polveri sottili", che determina il livello dell'inquinamento dell'aria delle nostre città. Queste polveri, a seconda delle loro dimensioni⁶, si depositano nell'organismo, provocando problemi respiratori e tumori. Per questo motivo, ma anche per il fatto che

⁵ A differenza di quanto avviene per i singoli materiali in cui è possibile determinare le proprietà del materiale di base e successivamente del materiale con l'applicazione, in questi casi, a causa delle numerose variabili che possono condizionare il progetto, non sarà possibile avere delle analisi comparative sulle prestazioni del prodotto con e senza l'applicazione nanotecnologica.

⁶ La nocività delle polveri sottili dipende dalle loro dimensioni e dalla loro capacità di raggiungere le diverse parti dell'apparato respiratorio: cavità orale e nasale (oltre i 7 μm), laringe (fino a 7 μm); trachea e bronchi primari (fino a 4,7 μm); bronchi secondari (fino a 3,3 μm); bronchi terminali (fino a 2,1 μm); alveoli polmonari (fino a 1,1 μm).

non esistano ad oggi studi che assicurino che queste tecnologie sono completamente atossiche per l'uomo, c'è una certa attenzione nel divulgare l'utilizzo di applicazioni nanotecnologiche da parte delle stesse aziende. Così nel campo dei cosmetici e delle protezioni solari, settori che per primi e in modo massiccio fanno uso di queste tecnologie, non viene mai pubblicizzato (o dichiarato chiaramente) l'utilizzo di trattamenti nanotecnologici nei prodotti.

In altri casi, l'utilizzo di questi trattamenti non viene citato perché sono gli stessi produttori a non essere a conoscenza che un determinato tipo di produzione è realizzato da componenti nanotrattati. È il caso, ad esempio, del Nylon 6, uno dei più utilizzati per gli imballaggi dei prodotti, o di materiali utilizzati soprattutto in ambito artistico come, tra i più celebri, il calice di Licurgo o le vetrate delle cattedrali medievali⁷.

4.6 L'analisi di altre fonti

In questa seconda fase dell'analisi, è stata sviluppata una ricerca sulle più autorevoli fonti che, con modalità differenti, presentano informazioni su i nuovi sviluppi riguardanti le applicazioni e i prodotti che utilizzano nanotecnologie.

A differenza dei database precedentemente illustrati, in questa fase si sono considerati i portali tematici online anche quando presentano tematiche che non riguardano solamente i materiali e le applicazioni. Si sono infatti volute raccogliere le più autorevoli fonti di notizie riguardanti le nanotecnologie, anche quando queste riguardano tematiche come le nuove linee di ricerca, le conferenze e le pubblicazioni scientifiche.

4.6.1 Come si è sviluppata l'analisi

Vista le differenti modalità divulgative e organizzative dei portali, si è deciso di organizzare un'analisi che fornisse le indicazioni generali sulle singole fonti per permettere una chiara panoramica complessiva e per facilitarne la consultazione.

4.6.1.1 Contesto

Considerando le differenti modalità divulgative e le informazioni presenti nei portali analizzati, questa fase ha lo scopo di fornire una lista di riferimenti all'interno dei quali si potranno trovare i riferimenti alle novità, alle applicazioni, e gli effettivi dati tecnici. Qualora si volessero utilizzare questi portali per gli aggiornamenti sarà necessario compiere degli approfondimenti tematici utilizzando le notizie dei portali come punto di partenza per la ricerca. Nella maggior parte dei casi, infatti, proprio per le strutture e le finalità dei portali non sarà possibile avere le informazioni necessarie ai fini di un com-

⁷ Vedi paragrafo 3.3 *La storia* (p. 40)



4.2 Schermata del portale www.nanotechproject.org

pleto aggiornamento del database, queste fonti dovranno quindi essere utilizzate come punti di partenza per la ricerca di nuove applicazioni. In altri casi invece le informazioni avranno sistemi di divulgazione (come nel caso degli articoli scientifici) che non permettono un reperimento automatico dei dati ma che richiedono invece conoscenze tecniche approfondite per riuscire a codificare i dati che poi dovranno essere inseriti nel database.

4.6.1.2 Vincoli considerati

Nell'analisi sono stati considerati solamente portali che presentano le seguenti caratteristiche:

- un archivio degli articoli o delle notizie;
- un aggiornamento costante (che non superi il mese);
- un motore di ricerca.

4.6.2 Valutazione dei portali

Questa seconda parte della ricerca non ha, come nel caso dei database, il fine di capire quali sono le modalità con cui le informazioni vengono presentate agli utenti, ma piuttosto l'obiettivo di fornire dei riferimenti per tutti coloro che, consultato il futuro

database, desiderino approfondire le tematiche associate alle nanotecnologie. Per questo, le schede presentate avranno unicamente lo scopo di fornire delle indicazioni sui contenuti presenti nei singoli portali.

4.6.2.1 Dati generali

Per ogni portale sono state identificate le informazioni generali dell'azienda, l'ente o le persone fisiche che l'hanno realizzato e ne curano la gestione. Per definire l'autorevolezza delle fonti si sono utilizzati questi dati confrontandoli con la quantità di notizie presenti nel portale, le tempistiche di aggiornamento e la presenza negli articoli delle fonti primarie⁸.

4.6.2.2 La classificazione delle fonti

Per sintetizzare i contenuti dei portali selezionati è stato realizzato un modello di scheda in cui sono indicate le principali tematiche dei portali e le modalità di divulgazione dei contenuti. Considerando la possibilità di realizzare una lista che può essere consultata anche dagli utenti del database, tra le opzioni è stato segnalato anche il tipo di utente a cui il portale si rivolge. Nello specifico:

- utente generico, che desidera approfondire le proprie conoscenze;
- tecnico, colui che desidera avere aggiornamenti costanti sulle novità;
- specializzato.

In generale, l'obiettivo è quello di dare una webgrafia specifica che possa essere uno strumento per gli utenti ma che fornisca anche le basi per sviluppare ricerche specifiche, utili per la raccolta di nuovi dati da utilizzare per gli aggiornamenti del database.

⁸ Per fonti primarie si intendono i riferimenti della fonte della notizia, nei portali generalmente un link.

4.6.2.3 Modello di scheda, dati generali

nome		
url		
	realizzazione	
	email	
	città	
	paese	
	url	
descrizione		
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base		
tipologie		
condizioni di accesso		
rappresentatività precisata delle fonti		
anno d'inizio		
aggiornamento		

4.6.3 Risultati dell'analisi

Le schede dell'analisi sono allegate in *Appendici* (p. 129).

5 Le caratteristiche dei materiali nanotecnologici

Nell'organizzazione di un database di materiali è necessario conoscerne le caratteristiche per poter ottenere uno strumento che sia il più possibile funzionale ed efficace alle ricerche delle informazioni da parte degli utenti. Come abbiamo potuto vedere, non esiste un unico ambito in cui si applicano i materiali nanotecnologici, ma anzi la realizzazione di un database di questi materiali risulterà essere una piattaforma in cui potenzialmente potrebbero essere inserite tutte le caratteristiche e i materiali conosciuti. In questo contesto, lo studio di un database di questi materiali non può non considerare la quantità di variabili che condizionano questi tipi di applicazioni e di materiali.

Trattando materiali di dimensioni nanometriche, sono molteplici le variabili e i fattori da tenere in considerazione se si desidera fornire una panoramica esaustiva delle possibilità di queste tecnologie. In linea generale, proviamo ad analizzare le variabili da considerare nell'organizzazione di un database che, a seconda dei casi, ne determinano l'organizzazione dei contenuti.

5.1 Le applicazioni come trattamenti

Le applicazioni nanotecnologiche sono per lo più trattamenti di sostanze chimiche che, attraverso l'applicazione su altri materiali, ne alterano le caratteristiche. Non è dunque possibile parlare di un materiale che, come del caso dei materiali polimerici, hanno delle proprie caratteristiche e possono essere lavorati per ottenere delle forme definite. È necessario invece considerare l'applicazione associata al materiale, in molti casi infatti lo stesso trattamento superficiale assume caratteristiche differenti se applicato a due materiali che tra loro si distinguono, ad esempio, solo per il colore.

Nello sviluppo di un database va dunque considerato come una delle peculiarità di questi materiali è il fatto di dover sempre fornire delle variabili di un materiale di base e non si è in presenza di trattamenti che hanno proprietà e caratteristiche proprie (non condizionate da ciò che le circonda).

Questa caratteristica si rivela essere una delle problematiche maggiori nell'organizzazione di un database. Infatti, non tutti i trattamenti nanotecnologici possono essere applicati in modo invariato ai differenti supporti e, al tempo stesso, i trattamenti potrebbero non essere compatibili con alcune delle lavorazioni del materiale di supporto.

L'organizzazione di un database deve quindi prevedere di poter mettere a confronto il materiale di supporto con quello nanotrattato e, in alcuni casi, di indicare quali sono le possibili lavorazioni che non alterano le prestazioni dell'applicazione nanotecnologica.

5.2 I trattamenti superficiali e massivi

Esistono differenti tipi di applicazioni nanotecnologiche che si possono suddividere in due macro categorie: le applicazioni massive e quelle superficiali. Delle prime fanno parte soprattutto nanomateriali 3-D¹, in cui il materiale nanotecnologico è applicato su tutta la struttura del materiale di applicazione che poi verrà lavorata a seconda delle esigenze. I nanocompositi o i nanotubi di carbonio sono alcuni esempi di questi tipi di applicazioni, in entrambi i casi le componenti nanotecnologiche vengono utilizzate per modificare tutta la struttura del materiale sul quale vengono applicate. Per fare un esempio, è un po' come se in cucina ad un impasto venisse aggiunto un ingrediente come lo zucchero che dà un sapore più dolce a tutto l'impasto. In modo analogo, questi trattamenti permettono di avere un materiale (l'impasto) a cui viene applicato il nanotrattamento (lo zucchero) che ne altera le proprietà in modo uniforme su tutto il volume della materia (l'impasto zuccherato).

I trattamenti superficiali, realizzati soprattutto con nanomateriali di tipo 1-D o 2-D², utilizzano invece processi di produzione particolari, spesso sottovuoto, che permettono di applicare uno o più strati di spessori nano o micro su una superficie per fornirle maggiori o nuove prestazioni. In questi casi, le applicazioni avvengono su componenti precedentemente prodotti con processi di produzione "tradizionali". Riprendendo l'esempio precedente, se nelle applicazioni massive lo zucchero veniva mescolato nell'impasto, in questo caso ne viene invece applicato un "velo" quando l'impasto è già stato cotto.

La maggior parte delle caratteristiche di queste applicazioni dipende dunque dal loro processo produttivo. L'uniformità delle proprietà sulla superficie è data dalla buona riuscita del trattamento superficiale, in alcuni casi, inoltre, è possibile realizzare dei trattamenti che permettono di avere rivestimenti non uniformi, ottenendo così delle prestazioni volutamente non omogenee su tutta la superficie del pezzo. Inoltre, va considerato che in questi casi fenomeni come l'abrasione e l'usura della superficie possono alterare in modo permanente le caratteristiche del rivestimento, modificandone così le proprietà.

Questa suddivisione dei materiali per tipologia di applicazione risulta necessaria per ottenere una classificazione esaustiva dato che, dal tipo di processo, è possibile definire i vincoli e le caratteristiche che, in fase di ideazione, condizionano i componenti, sia dal punto di vista formale, ma anche nelle modalità d'uso e nei processi di produzione.

Ai fini del database, risulta quindi necessario indicare il tipo di processo, potendo dare così per scontato tutta una serie di vincoli e caratteristiche che altrimenti dovrebbero essere indicate (in modo alla lunga ripetitivo) tra le proprietà.

¹ Vedi paragrafo 3.7.1.3 *I nanomateriali 3-D* (p. 51).

² Vedi paragrafo 3.7.1.2 *I nanomateriali 1-D e 2-D* (p. 50).

5.3 La variabile dimensione/prestazione

Le dimensioni ridotte, che da un lato permettono di avere materiali apparentemente uguali ma con caratteristiche differenti, si rivelano come una caratteristica che aumentano in modo esponenziale anche le possibilità di soluzioni dei nuovi materiali. Un nanotrattamento superficiale di biossido di titanio (TiO_2) realizzato, ad esempio, su una superficie metallica ne può aumentare la resistenza al graffio con caratteristiche che variano in base al tipo di processo con cui viene trattato ma anche allo spessore dello strato nanotecnologico. Come per i trattamenti superficiali più tradizionali, anche nel caso delle applicazioni nano il rapporto tra spessore e la prestazione non è di tipo diretto, raddoppiando lo spessore dell'applicazione non raddoppia quindi la proprietà ottenuta con il trattamento, anzi, nell'esempio appena riportato, passando da un trattamento di biossido di titanio di 0,1 nm ad uno di 0,15 nm, la resistenza al graffio potrebbe essere doppia.

A questo va aggiunto che in alcuni casi è possibile realizzare più strati superficiali utilizzando differenti nanotrattamenti per fornire ad un materiale con più caratteristiche. Le possibili soluzioni si moltiplicano quindi in modo smisurato e per ordinarle in un database risulta necessario che (almeno in parte) siano organizzate sulla base delle proprietà delle applicazioni nanotecnologiche.

5.4 L'incremento delle prestazioni e le nuove prestazioni

Considerando le tipologie di utenti, le finalità del database e le potenziali proprietà delle applicazioni nanotecnologiche, prima di classificare i materiali per le caratteristiche è utile suddividerli a seconda del tipo di prestazione offerta dalla nuova applicazione.

Nello specifico, è possibile categorizzare i nanotrattamenti suddividendoli tra applicazioni che permettono di incrementare delle proprietà già proprie del materiale su cui vengono applicati e quelle che permettono di ottenere delle nuove prestazioni rispetto al materiale di base.

Nel primo caso, si ottengono materiali che per lavorazioni e modalità d'uso sono molto simili ai materiali in cui avvengono le applicazioni nanotecnologiche. Ad esempio, nel caso di un prodotto che utilizza un polimero caricato con fibre di carbonio, sono presenti in commercio applicazioni nanotecnologiche che permettono di migliorare le prestazioni delle fibre, migliorandone la resistenza alla trazione. L'utilizzo del materiale trattato, dal punto di vista produttivo e progettuale, non presenta molte differenze se confrontato al materiale senza trattamento nanotecnologico, le modalità di produzione e realizzazione dei pezzi sono infatti le stesse.

Diversamente, un rivestimento autopulente è un'applicazione che, dal punto di vista produttivo e progettuale, necessita delle condizioni specifiche per funzionare al meglio. L'utilizzo di un trattamento autopulente a base di biossido di titanio fotocatalitico (TiO_2) in un artefatto comporta infatti la conoscenza (seppur approssimativa) sia

delle caratteristiche produttivo-applicative del nanotrattamento sia del funzionamento dell'applicazione. Nello specifico le particelle fotocatalitiche funzionano se stimolate dalla luce, sia essa solare o artificiale, ed è in questo frangente che i raggi luminosi sollecitano le particelle di biossido che emettono cariche elettronegative, permettendo l'ossidazione (la fotocatalisi) delle sostanze organiche, e non, che si trovano sulla superficie.

I due tipi di applicazioni (quelle che incrementano le proprietà e quelle che ne aggiungono di nuove) presentano quindi prestazioni e caratteristiche molto differenti loro, risulta quindi utile che, nell'organizzazione del database, vi sia una distinzione netta tra le due tipologie di applicazioni.

5.5 I processi di produzione

A seconda che si realizzino trattamenti superficiali o massivi variano anche le modalità di applicazione delle nanotecnologie. Come in parte anticipato, la realizzazione di trattamenti superficiali viene applicata a prodotti o componenti finiti; diversamente, i trattamenti massivi vengono realizzati nella fase precedente alla produzione dei singoli pezzi. Dal punto di vista produttivo e progettuale, i due tipi di trattamenti presentano molte differenze. La progettazione di prodotti con applicazioni massive non comporta sostanziali variazioni dal punto di vista formale o produttivo rispetto ai materiali su cui viene applicato.

Diversamente, i trattamenti superficiali hanno la necessità di essere trattati seguendo alcune linee guida già dalla fase di progettazione. A seconda del tipo di processo utilizzato, ci sono proprietà formali che meglio si adattano al tipo di trattamento. Questi sono sostanzialmente dei rivestimenti superficiali e, come avviene anche per i non nanotecnologici, presentano tutti i vantaggi e gli svantaggi dei tradizionali rivestimenti.

Per fare un esempio, questi trattamenti si possono paragonare all'applicazione di un colore su una superficie. Se la superficie è liscia e piatta non ci sono grossi problemi a ricoprirla in modo uniforme; se invece la superficie è curva, ruvida e sono presenti insenature o elementi che ne coprono delle parti, sarà difficile ottenere una stesura uniforme evitando i depositi di colore.

Allo stesso modo, con rapporti dimensionali differenti, la stesura di un nanotrattamento superficiale può presentare delle caratteristiche differenti a seconda della forma, della porosità e del materiale sul quale viene applicato. Dopotutto, come nel caso del colore, la non uniformità del trattamento comporta la presenza di variazioni cromatiche in un caso e di differenti proprietà del materiale nell'altro.

In fase di progettazione quindi è necessario conoscere le modalità di produzione e le caratteristiche dei differenti processi applicativi per permettere la realizzazione di componenti che, sin dalla progettazione, si prestano al tipo di trattamento a cui verranno sottoposti e alle prestazioni che si vogliono ottenere.

5.6 Le caratteristiche primarie

La grande varietà di applicazioni e soluzioni nanotecnologiche rende difficile classificare i nuovi materiali secondo degli standard che siano esaustivi per tutte le tipologie di materiali ed applicazioni.

Ecco perché, a differenza di quello che può accadere per altri tipo di database, nello sviluppo di un database di materiali nanotecnologici è necessario che la struttura sia, per quanto possibile, flessibile così da poter descrivere in modo dettagliato anche trattamenti con caratteristiche e applicazioni molto differenti tra di loro.

Nel caso specifico, fornire dei dati standardizzati comuni per tutti i materiali del database comporta in alcuni casi l'omissione di informazioni o la presenza di dati che, dal punto di vista progettuale, risultano superflui.

Il peso di un materiale che si applica con trattamenti superficiali di spessori che si aggirano a misure nell'ordine dei nanometri può essere spesso ininfluenza nella progettazione di un artefatto. La differenza di peso prodotta dall'applicazione non inciderà in modo rilevante sulle caratteristiche dell'artefatto; al contrario le caratteristiche specifiche dell'applicazione avranno un ruolo cruciale in fase progettuale sul prodotto che si progetterà e produrrà.

Nel caso di un trattamento fotoluminescente, ad esempio, un dato come la luminanza (che indica la quantità di luce che una determinata superficie riesce a riflettere) risulta essere il dato fondamentale da considerare se si desidera progettare un prodotto utilizzando queste applicazioni.

6 L'organizzazione del database

Il database è stato sviluppato seguendo due differenti approcci di organizzazione dei contenuti, da un lato basati sulle caratteristiche delle applicazioni nanotecnologiche e dall'altro sull'organizzazione dei progetti che sfruttano queste applicazioni.

In entrambi i casi è stato necessario considerare quali saranno gli utenti del database: da un lato i progettisti alla ricerca di nuove tecnologie e dall'altro ricercatori e ingegneri dei materiali interessati a conoscere quali potrebbero essere le possibili applicazioni dei materiali che stanno sviluppando.

Nell'organizzare la struttura va tenuto in considerazione che saranno gli stessi utenti, se non tutti una parte di loro, che inseriranno parte dei contenuti tenendo aggiornato il database. Come vedremo, sia per quanto riguarda i progetti che per i nuovi materiali sarà necessario che, quando possibile, siano i diretti interessati (ricercatori, ingegneri e designer) a presentare gli sviluppi delle proprie ricerche.

6.1 La struttura generale

Per definire una struttura che permetta di ordinare tutti i prodotti e le applicazioni nanotecnologiche è stato necessario organizzare un'architettura di informazioni suddivise per categorie e sottocategorie. La prima suddivisione presente nel database è stata quella tra applicazioni e prodotti che utilizzano questi trattamenti. Per queste due tipologie di informazioni si sono strutturati due differenti diagrammi in cui l'uno non prescinde dall'altro. Considerate le tipologie di informazioni si è preferito suddividere il database in due parti all'interno delle quali vi saranno dei riferimenti incrociati che permetteranno di collegare i contenuti di un diagramma con quelli dell'altro. In questo modo, le applicazioni e i prodotti saranno collegati tra loro con dei riferimenti che permetteranno di passare da una tipologia all'altra senza che, in fase di organizzazione e di inserimento delle informazioni, vi siano ripetizioni dei contenuti.

Secondo questa struttura, l'inserimento di un prodotto e della sua applicazione si svilupperà in due fasi permettendo di avere distintamente l'uno (il prodotto) e l'altro (l'applicazione) collegati da un riferimento incrociato. In questo modo, si potrà avere che ad un'applicazione facciano riferimenti più prodotti che ne utilizzano le proprietà, o ad un prodotto facciano riferimento più applicazioni se i trattamenti nanotecnologici utilizzati sono più d'uno. Questa doppia strutturazione delle informazioni e la successiva organizzazione per categorie e sottocategorie permettono anche di semplificare la gestione del database sia in fase di consultazione che nell'inserimento delle informazioni.

6.1.1 I prodotti e i progetti

L'organizzazione dei prodotti e dei progetti sarà molto simile a quella che avviene in gran parte dei database riguardanti questo argomento. Una prima suddivisione è la classificazione per tipo di progetto, in cui saranno presenti le seguenti categorie: in commercio (prodotti), *concept* (progetti che non hanno delle previsioni di commercializzazione) e in fase di sviluppo (progetti sviluppati con finalità commerciali ma non ancora sul mercato) in cui verrà indicato anche il time to market.

Un'altra classificazione parallela sarà quella riferita al settore di applicazione¹, questa classificazione farà riferimento alla funzione del prodotto e non al tipo di applicazione nanotecnologica utilizzato. Per fare un esempio, la classificazione di un fanale per una bicicletta farà parte, tra le altre, della categoria *illuminazione* anche se il tipo di applicazione nanotecnologica riguarda il materiale con cui è realizzato e non ha funzioni luminose.

In questo modo, è possibile effettuare ricerche dei prodotti per settori e l'organizzazione del database non avverrà solamente in funzione delle applicazioni, ma sarà possibile vedere come differenti applicazioni possono essere impiegate in un ambito.

6.1.2 Le applicazioni

L'organizzazione delle applicazioni nanotecnologiche segue una suddivisione per categorie e sottocategorie. In questo modo, l'appartenenza di un'applicazione ad una sottocategoria ne comporterà automaticamente l'assegnazione anche alla categoria in cui è contenuta.

Per quanto riguarda le applicazioni, la suddivisione delle categorie sarà basata sulle proprietà dei materiali nanotecnologici precedentemente presentate². È stato scelto questo tipo di organizzazione perché si presta allo sviluppo delle ricerche che, come vedremo in seguito, sarà per fasi, permettendo una scrematura delle informazioni per passaggi successivi. Contemporaneamente, l'assegnazione automatica delle categorie permette, in fase di inserimento dei dati, una corretta organizzazione dei contenuti, evitando errori nell'inserimento dei materiali e quindi facilitandone la successiva fase di ricerca. Semplificare la struttura del database rendendo automatica l'assegnazione di alcune categorie si rivelerà un elemento importante nell'organizzazione dei dati soprattutto se si considera che in molti casi, sia per l'inserimento dei prodotti ma anche per quello dei materiali, saranno gli stessi utenti del database ad aggiornare le informazioni. Le applicazioni saranno quindi suddivise secondo due classificazioni riferite

¹ La classificazione presentata è una selezione delle categorie che, sulla base delle più frequenti applicazioni, racchiude tutti gli ambiti applicativi dei prodotti con trattamenti nanotecnologici.

² Vedi capitolo 5 *Le caratteristiche dei materiali nanotecnologici* (p. 73).

alla proprietà del trattamento e al materiale sul quale viene applicato. Le proprietà si suddivideranno in:

- incremento di proprietà;
- aggiunta di proprietà.

Ad entrambe le tipologie seguirà una sottoclassificazione riferita alla proprietà alterata dall'applicazione nanotecnologica, ad esempio: proprietà fisiche, proprietà chimiche, proprietà meccaniche, ecc... ad un terzo livello, all'interno di ogni sottocategorie saranno presenti le proprietà specifiche come ad esempio il peso specifico, le varie resistenze, la conducibilità termica ed elettrica, la durezza, ecc...

Secondo questa suddivisione, in fase di inserimento dei dati sarà possibile indicare se l'applicazione "incrementa" o "aggiunge" una proprietà e indicarne il valore per ottenere la corretta collocazione dell'applicazione nello schema del database. Considerate le possibili proprietà delle applicazioni nanotecnologiche, il terzo livello, quello delle proprietà specifiche, dovrebbe contenere tutte le proprietà dei materiali conosciute. In realtà, per evitare di avere troppe sottocategorie inutilizzate, si è optato per l'utilizzo di un livello di tipo aperto in cui le proprietà che non sono già presenti ma verranno aggiunte, quando necessario, contemporaneamente all'inserimento dei dati. In particolare, nel caso delle applicazioni che aggiungono nuove proprietà, potrebbero essere necessarie indicazioni specifiche riferite al funzionamento del trattamento. Nel caso dei materiali fotoluminescenti, ad esempio, la luminanza indicata in candele su metro quadrato (cd/m^2) permette di identificare quale sia la quantità di luce riprodotta da queste applicazioni³.

Parallelamente, la suddivisione delle applicazioni avviene anche a seconda del materiale di applicazione. In questo caso, saranno presenti le categorie come: metalli, leghe, ceramiche, polimeri, ecc... all'interno di ogni categoria, saranno presenti i singoli materiali che, come nel caso delle proprietà specifiche, potranno essere aggiunte a seconda delle necessità richieste dai contenuti inseriti nel database.

Ogni applicazione farà quindi parte di una o più categorie riferite alle proprietà e di una o più categorie riferite ai materiali di applicazione. In questo modo, la ricerca incrociata per categorie permetterà di individuare solo i materiali che rispondono a determinati parametri.

Oltre all'appartenenza alle varie categorie, ogni trattamento avrà anche delle ulteriori informazioni che, seppur non classificate, faranno parte della "scheda dell'applicazione". Informazioni come i componenti chimici del trattamento, lo spessore o la per-

³ Generalmente le caratteristiche principali delle fonti luminose sono il flusso (lumen) e l'efficienza luminosa (lumen/Watt), ma entrambe le proprietà fanno riferimento alla quantità di luce in relazione al consumo dell'apparecchio luminoso. Nel caso dei materiali, non c'è una produzione di luce ma una riflessione di raggi che vengono catturati e riflessi in un momento successivo. L'utilizzo della luminanza, che in questi casi è spesso indicata con l'unità in migliaia (mcd/m^2), permette di fornire il dato corretto riferito al materiale, nonostante sia una caratteristica che non è quasi mai utilizzata per descrivere le tradizionali fonti luminose.

centuale dell'applicazione, il costo, i tipi di trattamenti, ecc... sono stati considerati come dati secondari, nel senso che non sarà su questi che si baserà l'organizzazione del database e soprattutto della ricerca. Con questo non significa che informazioni come il costo siano da considerare di secondaria importanza, anzi, il costo è un parametro che va considerato sin dalla fase iniziale della progettuale. Lo sviluppo di una ricerca delle applicazioni che segue unicamente il parametro del costo, tuttavia, porterebbe a risultati con finalità e modalità molto differenti tra loro, offrendo all'utente delle soluzioni non finalizzate a degli obiettivi precisi riducendo la possibilità di avere dei risultati con degli effettivi metri di paragone.

6.1.3 I centri di ricerca, gli enti e le aziende

Parallelamente alla classificazione dei prodotti e delle applicazioni, è stato necessario inserire anche una classificazione definita "riferimenti" di cui fanno parte centri di ricerca, enti, aziende, progettisti che sviluppano e producono i materiali indicati nel database. Come nel caso delle applicazioni e dei prodotti, in cui un particolare trattamento viene associato in modo trasversale a più progetti, anche in questo caso un singolo riferimento può essere associato ad un'applicazione, ad un prodotto o ad entrambi, a seconda del ruolo che ha avuto nello sviluppo.

In questo modo, sarà possibile ottenere in modo rapido tutti i riferimenti dei soggetti che, in modi differenti, hanno sviluppato i contenuti del database.

Questo tipo di organizzazione è stato studiato per ottimizzare le ricerche da parte dei gestori del database dato che tra le possibilità di ricerca degli utenti il parametro "riferimenti" è stato considerato tra i parametri di tipo secondari.

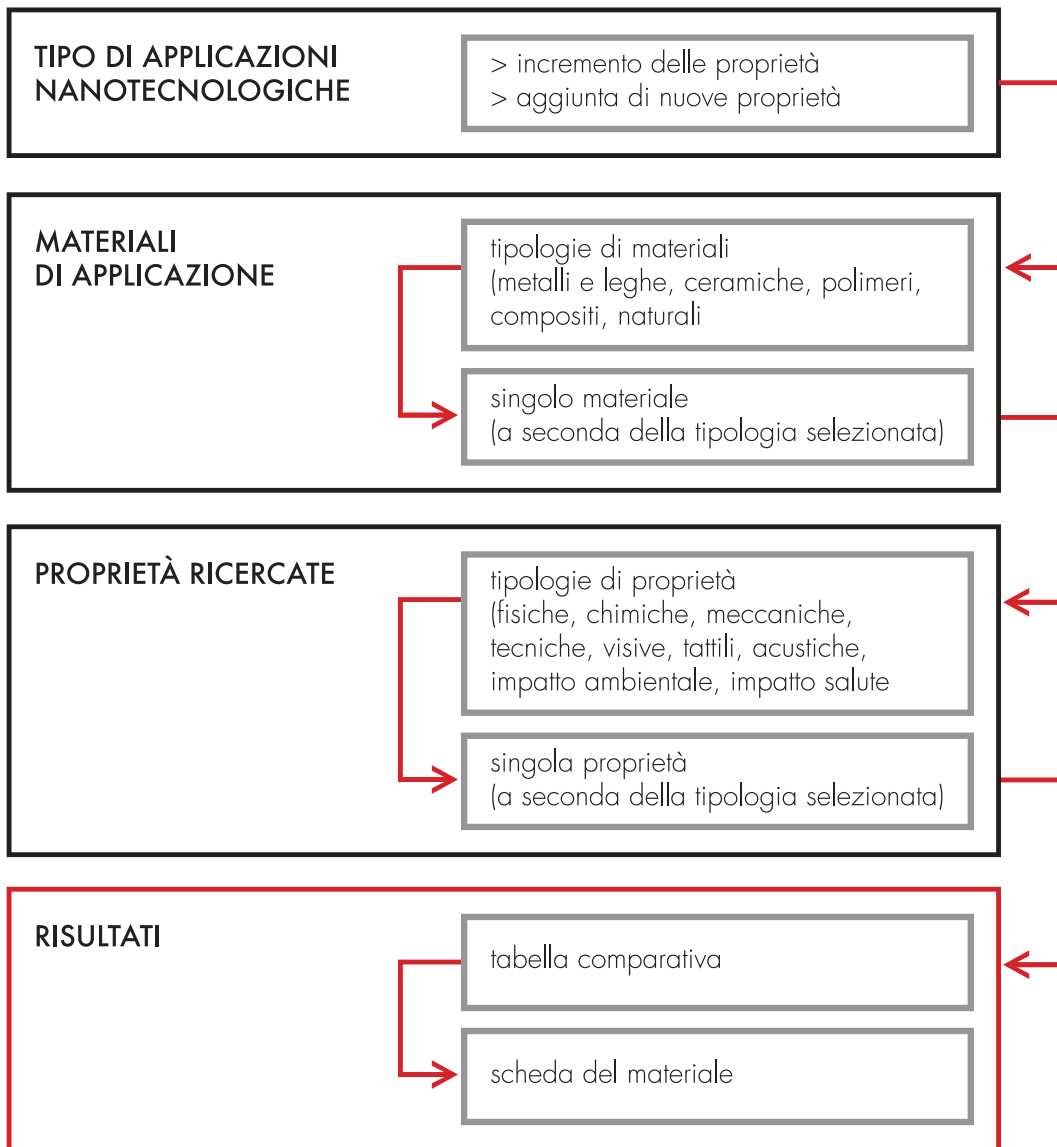
6.2 La ricerca dei materiali

Per quanto riguarda la ricerca dei materiali, è stato necessario organizzare un'architettura che, per quanto possibile, si basi sulle caratteristiche generali delle applicazioni nanotecnologiche.

Per facilitare e ottimizzare le modalità di ricerca e i risultati ottenuti, è stato utile optare per una struttura basata su tre fasi di ricerca delle applicazioni, organizzando uno strumento in grado di semplificare le modalità di ricerca e, al tempo stesso, di ottenere dei risultati che, nonostante la grande varietà delle applicazioni nanotecnologiche, siano sempre paragonabili tra loro e in linea con gli obiettivi richiesti (fig. 6.1).

Strutturando la ricerca per fasi, è inoltre possibile sviluppare delle modalità di ricerca che possono essere condotte anche da utenti che non hanno conoscenze specifiche sulle applicazioni nanotecnologiche. Grazie alla struttura sviluppata, un progettista che per la prima volta si trova a dover utilizzare dei materiali di questo tipo sarà in grado di compiere delle ricerche mirate e di avere dei risultati confrontabili tra loro.

Inoltre, dal punto di vista dell'organizzazione della strutturale e dei contenuti, avere



6.1 Schema dell'organizzazione della ricerca per fasi

più fasi di ricerca permette dei processi automatici di esclusione dei materiali che, passaggio dopo passaggio, offrono risultati mirati, evitando che nei risultati siano presenti materiali con caratteristiche e applicazioni differenti tra loro. Le tre fasi (la scelta della tipologia di applicazione, del materiale sul quale viene applicato il trattamento e la caratteristica tecnica che si desidera modificare) permettono quindi di proporre delle tematiche di ricerca accessibili a qualunque progettista e, contemporaneamente, evitano la presenza nei risultati di soluzioni che fanno riferimento a proprietà ed utilizzi differenti. Se invece la ricerca si fosse basata sulla presenza di un particolare componente chimico nell'applicazione (soluzione presente in alcuni dei database analizzati), la

consultazione del database avrebbe avuto due importanti ostacoli. Da un lato si sarebbe vincolato l'utilizzo dello strumento a progettisti con conoscenze di chimica; dall'altro alcuni elementi, come il titanio (Ti), avrebbero comportato dei risultati in cui sarebbero state presentati materiali segnalati per differenti proprietà, dalla resistenza alla corrosione, alle capacità termiche o fotocatalitiche, rendendo il confronto tra i risultati non immediato e dispersivo. Al contrario, la ricerca per fasi basate sulle caratteristiche dei nanotrattamenti è stata l'unica in grado di fornire dei risultati esaustivi e, come vedremo, di adattarsi alle numerose caratteristiche e differenze delle singole applicazioni.

A seguire, verranno presentate e analizzate le fasi, illustrandone le caratteristiche e le motivazioni per cui si è scelto questo tipo di approccio.

6.2.1 La scelta della tipologia di applicazione

La prima fase nella ricerca di un trattamento nanotecnologico è quella di individuare quali sono le proprietà che si vogliono modificare o ottenere dall'applicazione ricercata. Come abbiamo visto, le nanotecnologie possono apportare due tipi di variazioni ai materiali, variandone le caratteristiche proprie o ottenendo materiali con nuove caratteristiche, come nel caso, ad esempio, delle applicazioni autopulenti.

Questa prima scelta permette di suddividere le applicazioni in due tipologie ("incremento delle proprietà" e "aggiunta di nuove proprietà") che, anche dal punto di vista progettuale, presentano molte differenze tra loro. Questa prima selezione permette infatti di fare una scelta chiara su quello che dovrà essere il ruolo delle nanotecnologie nel prodotto. Scegliendo l'opzione "incremento delle proprietà" sarà possibile visualizzare trattamenti a materiali che, da un punto di vista progettuale, avranno processi di lavorazione e utilizzo analoghi a quelli del materiale sul quale vengono applicati. Al contrario, l'opzione "aggiunta di nuove proprietà" presenterà applicazioni che hanno caratteristiche produttive e modalità d'uso differenti rispetto a quelle tradizionali.

Dal punto di vista progettuale, con questa prima scelta si definisce anche il ruolo delle nanotecnologie nel progetto. La prima opzione permette infatti di avere delle potenzialità che modificano i materiali senza stravolgerne le funzioni. Prendendo come esempio la progettazione di un telaio per una bici da corsa, con questa opzione il designer potrà ricercare tutte le applicazioni nanotecnologiche che, agendo sulle fibre di carbonio, ne alterano le varie resistenze. In questo modo, il progettista avrà la possibilità di scegliere tra le possibili applicazioni individuando quella che per proprietà e caratteristiche tecniche si adatta alla forma progettata, o, al contrario, potrà progettare nuovi telai proprio sulla base delle caratteristiche ottenute dall'applicazione delle nanotecnologie.

Con la ricerca di "aggiunta di nuove proprietà" è invece possibile avere la panoramica delle nuove caratteristiche che si possono applicare ad un materiale. Nella progettazione di un telaio in fibra di carbonio sarà possibile avere una panoramica sui trattamenti autopulenti o fotoluminescenti applicabili al materiale, offrendo così al designer delle possibilità progettuali del tutto nuove. In questi casi infatti il trattamento viene utilizzato sia per le sue proprietà, ma anche come elemento strategico nello sviluppo del pro-



- 6.2 Telaio, *928 Carbon / SL Record*, Bianchi, realizzato con nanofibre di carbonio unidirezionali per migliorare la rigidità e aumentare la leggerezza (sopra)
6.3 Bicicletta rivestita di materiale fotoluminescente (sotto)

getto e della sua commercializzazione. Il telaio che non si sporca (perché autopulente) o visibile al buio (perché rivestito di materiale fotoluminescente) è un prodotto innovativo per le sue funzioni e si rapporterà in modo differente rispetto ai prodotti già presenti sul mercato. Dal un punto di vista progettuale, l'utilizzo di questi trattamenti presenta

delle necessità produttive e funzionali (nei casi citati nel capitolo 5.4⁴ la necessità di essere sottoposti a fonti di illuminazione per attivarsi) che in molti casi determinano anche parte delle caratteristiche formali del prodotto. Quindi, è necessario che l'utilizzo di questi trattamenti venga ipotizzato sin dalla fase progettuale, per evitare di realizzare un prodotto che, se trattato a posteriori, non permette di sfruttare appieno le proprietà delle applicazioni nanotecnologiche.

6.2.2 La scelta per materiali

Il secondo livello di scelta è quello di definire il materiale sul quale deve essere applicato il nanotrattamento. La suddivisione dei materiali è stata organizzata in due fasi: prima, per famiglie di materiali e, successivamente, per materiali specifici.

Il primo livello si suddivide nelle seguenti tipologie:

- metallici e leghe;
- ceramici;
- polimerici;
- compositi;
- naturali;
- tutti i materiali.

Nella fase successiva, saranno poi presentati per tipologie solo i materiali menzionati nel database per permettere agli utenti di svolgere delle ricerche che forniscano sempre dei risultati tra le soluzioni contenute nello strumento. In questo modo, si è voluto evitare ciò che accade in alcuni database, anche tra quelli analizzati, in cui sono presenti delle liste di opzioni che permettono di sviluppare ricerche incrociate che, in alcuni casi, non presentano delle soluzioni concrete. Sviluppando la ricerca per fasi è invece possibile organizzare ogni passaggio sulla base delle ricerche precedentemente svolte, escludendo in modo automatico le opzioni che non porterebbero dei risultati.

Questo metodo, che richiede più tempo all'utente per svolgere la ricerca, offre la possibilità di avere sempre delle proposte sulla base dei materiali che sono presenti nel database. In una struttura di questo tipo l'utente che nella prima fase ha selezionato "incremento delle proprietà" potrebbe, in una seconda fase, non avere l'opzione "materiali naturali" se non sono presenti applicazioni che incrementano le proprietà dei materiali naturali.

Inoltre, all'elenco delle categorie è stata aggiunta anche la possibilità di fare una selezione su "tutti i materiali", saltando quindi questo passaggio della ricerca. Questa opzione è stata introdotta per permettere ad un progettista che non ha una precisa idea dei materiali che utilizzerà nel progetto di poter comunque svolgere delle ricerche basate solamente sulle proprietà specifiche ottenute dalle applicazioni nanotecnologiche.

⁴ Vedi capitolo 5.4 *L'incremento delle prestazioni e le nuove prestazioni* (p. 75).



6.4 Schermata "scelta delle proprietà"

6.2.3 La scelta per proprietà

Il terzo livello di scelta è quello riferito alle proprietà (fig. 6.4). Come abbiamo visto in precedenza, la grande varietà di materiali e applicazioni rende difficile sviluppare una lista completa ed esaustiva che comprende tutte le possibili soluzioni e le specifiche tecniche offerte dai trattamenti nanotecnologici. Per questo motivo, si è optato per suddividere le proprietà in macro categorie. In questo modo, le proprietà specifiche verranno selezionate dall'utente in un secondo passaggio di selezione che, come detto, si articola sulla base della combinazione di ricerca svolta. Gli utenti che si troveranno a dover scegliere tra le opzioni presentate avranno la possibilità di scegliere una o più macro categorie (e/o proprietà specifiche) permettendo lo sviluppo di ricerche incrociate finalizzate al confronto delle applicazioni sulla base di più proprietà.

È quindi possibile eseguire ricerche che confrontano applicazioni sulla base di proprietà come, ad esempio, il peso specifico (proprietà fisiche > peso specifico) e la durezza (proprietà meccaniche > durezza) permettendo di avere tutti i prodotti che, sulla base dei parametri richiesti, presentano queste proprietà.

La suddivisione delle macro proprietà presenti nella prima schermata saranno quindi le seguenti:

- proprietà fisiche;
- proprietà chimiche;
- proprietà meccaniche;
- proprietà tecniche;
- proprietà visive;

- proprietà tattili;
- proprietà acustiche;
- impatto ambientale;
- impatto salute.

Questa suddivisione, ripresa dalle proprietà dei materiali presentata in più pubblicazioni da Mike Ashby⁵, prevede anche due sezioni (“impatto ambientale” e “impatto per la salute”) che sono state inserite soprattutto in prospettiva futura, ad oggi vi sono infatti importanti dibattiti irrisolti su queste due tematiche associate alle nanotecnologie.

Dal punto di vista dell’impatto ambientale, queste applicazioni sono ottenute per lo più da drogaggi che generalmente non superano il 5% del peso del materiale di applicazione. Per questo si tende erroneamente a considerare le componenti nanotecnologiche ininfluenti nel *life circle* di un materiale o di un prodotto. In realtà, vi sono studi⁶ che mettono in discussione questo approccio, ponendo l’attenzione sulle reazioni che questi trattamenti innescano quando vengono a contatto con materiali che non sono quelli di applicazione. In questa prospettiva, risulta difficile determinare in modo assoluto quale sia l’impatto di un materiale, ma sarebbe necessario uno studio specifico riferito all’utilizzo del singolo progetto.

Anche per quanto riguardano i rischi per la salute, sono molte le ricerche che analizzano questo aspetto e, nonostante non siano mai emersi risultati univoci sulla tossicità delle applicazioni, vi sono numerose perplessità che, in molti casi, potrebbero essere confermate o smentite solo nel tempo.

6.3 Le tabelle dei risultati

I risultati ottenuti dalle diverse ricerche sono sempre presentati in tabelle per proporre una visualizzazione che permetta l’immediato confronto dei materiali in relazione ai parametri ricercati (fig. 6.5). Sono quindi stati definiti i parametri che, a seconda del tipo di applicazione (“incremento delle proprietà” o “aggiungono di nuove proprietà”), permette di visualizzare le caratteristiche specifiche e alcuni parametri generali comuni per tutte le applicazioni.

Parametri come il costo, la quantità e qualità disponibili⁷, i produttori, gli sviluppa-

⁵ Ashby, M. F., Ferreira, P. J. S. G. e Schodek, D. L. (2009), *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design, An Introduction for Engineers and Architects*, Butterworth-Heinemann, Burlington. p.44

⁶ Frater, L., Stokes, E., Lee, R., e Oriola, T. (2006), *An overview of the framework of current regulation affecting the development and marketing of nanomaterials*, A report for the DTI, Cardiff University

⁷ Questa opzione indica le caratteristiche produttive e commerciali dell’applicazione. Nello specifico vengono indicate le possibili quantità realizzative, la qualità che queste applicazioni avranno in relazione ai dati forniti e i vincoli di produzione. Nel caso, ad esempio, di trattamenti realizzati sottovuoto verranno indicate le dimensioni massime dei pezzi che potranno essere inserite nelle *vacuum chamber* (la camera di vuoto).

The screenshot shows the NanoDatabase application interface. The main content is a table titled "PROPRIETÀ DELLE PROPRIETÀ" (Properties of Properties). The table has several columns, including "MATERIALE", "MATERIALE NANO", "MATERIALE CHIMICO", "MATERIALE TRATTAMENTO", "MATERIALE SPESORE/PERCENTUALE", and "MATERIALE TIPO". The table contains several rows of data, including materials like "PA (polipropilene)", "PA Nanocapsule", "PA High-Cycle", and "PA 20% Fibra".

MATERIALE	MATERIALE NANO	MATERIALE CHIMICO	MATERIALE TRATTAMENTO	MATERIALE SPESORE/PERCENTUALE	MATERIALE TIPO
PA (polipropilene)		100			
PA (polipropilene)	Nanocapsule	100	CHCl3	3% + 20%	resistiva
PA (polipropilene)	High-Cycle	100	CHCl3	3%	resistiva
PA (polipropilene)	20% Fibra	100	CHCl3	3%	resistiva

6.5 Schermata "tabella incremento delle proprietà"

tori, i progetti e i prodotti sono informazioni che saranno sempre presenti in queste tabelle, permettendo ai progettisti di avere una visione d'insieme delle applicazioni presentate.

6.3.1 La tabella "incremento delle proprietà"

Nelle tabelle delle applicazioni che incrementano le proprietà di materiali saranno inoltre presenti i seguenti parametri:

- materiale;
- materiale nano;
- chimica;
- tipo di trattamento;
- spessore/percentuale.

In questo modo, sarà possibile avere un panoramica completa delle proposte presenti nel database ordinate a seconda della specifica tecnica ricercata. Verrà infatti presentata la proprietà (o le proprietà nel caso ne siano state scelte più d'una) del materiale di base e, a seguire, l'elenco delle variazioni a seconda del tipo di applicazione.

6.3.1.1 Alcune osservazioni

Alcuni parametri premettono spesso di avere delle informazioni progettuali in più rispetto a quelle indicate dal valore numerico o dal dato segnalato. I parametri "chimica" e "spessore/percentuale", ad esempio, permettono di indicare se le applicazioni sono il

risultato di dosaggi o di tipologie di applicazioni differenti che consentono di migliorare la stessa proprietà specifica.

Dalla colonna “spessore/percentuale” è anche possibile capire se il risultato finale è il frutto di un’applicazione ottenuta da un trattamento superficiale o da uno massivo, a seconda che il valore sia indicato rispettivamente in nanometri o in percentuale. Dal parametro “tipo di trattamento” è possibile capire quali sono le possibilità progettuali del materiale e se vi sono dei vincoli formali legati all’applicazione che verrà impiegata.

Dal punto di vista progettuale, queste indicazioni permettono al progettista di stabilire in quale fase produttiva sarà necessario intervenire per ottenere l’applicazione e quali potrebbero essere alcuni vincoli legati ad essa. Nel caso delle applicazioni superficiali, ad esempio, sarà necessario considerare che l’usura o l’abrasione dello strato comporteranno l’annullamento delle proprietà dell’applicazione sul materiale.

6.3.2 La tabella “aggiunta di nuove proprietà”

La tabella relativa all’aggiunta di nuove proprietà non ha l’obiettivo di presentare dei confronti tra il materiale di base e le applicazioni (fig. 6.6). In questi casi infatti le proprietà specifiche sono caratteristiche esclusive dell’applicazione, motivo per cui sarà necessario presentare i dati riferiti ai tipi di trattamenti e, soprattutto, i materiali sulle quali possono essere realizzate.

Anche nella composizione di queste tabelle saranno presenti informazioni come la composizione chimica, la percentuale, lo spessore e il tipo di trattamento dell’applicazione che, come abbiamo visto, forniscono dei parametri utili a definire quello che deve essere, in fase progettuale, l’approccio del progettista nei confronti di questi materiali.

A differenza della tabella delle applicazioni che incrementano le proprietà dalla quale è possibile ottenere tutte le indicazioni di base necessarie per sviluppare un nuovo progetto, in questo caso non è stato possibile rendere schematicamente tutte le variabili necessarie all’utilizzo di queste applicazioni e quindi allo sviluppo di un progetto.

Trattando materiali che spesso per funzionare hanno la necessità di essere sollecitati, come nel caso degli autopulenti o dei fotoluminescenti in cui l’azione della luce nei primi avvia il processo di pulizia e nei secondi viene immagazzinata per poi essere rilasciata, per ipotizzare l’utilizzo di una di queste applicazioni sarà necessario consultare anche la scheda tecnica in cui verrà illustrato il funzionamento di ogni trattamento.

La tabella fornirà dunque una panoramica esaustiva delle possibilità progettuali delle applicazioni, ma non ha l’obiettivo di essere uno strumento in grado di fornire i dati in modo esaustivo.

I parametri raccolti nella tabella “aggiunta di nuove proprietà” saranno dunque i seguenti:

- materiale;
- applicazione;
- processo;
- materiale di applicazione;

The screenshot shows the NanoDatabase web application. The main content area displays a table with the following data:

MATERIALE	PROPRIETÀ	APPLICAZIONE	PRODOTTORE	DATA DI CREAZIONE	VERSIONE	STATO
Una famiglia di materiali	100 - 200	1000000000	1000	1000000000	1	1000000000
Alcuni	100 - 100	1000000000	1000	1000000000	1	1000000000
Materiali	100 - 200	1000000000	1000	1000000000	1	1000000000

The interface also includes a search bar, a list of filters, and a sidebar with navigation options.

6.6 Schermata “tabella aggiunta di proprietà”

- percentuale/spessore;
- chimica.

6.3.2.1 Alcune osservazioni

La scelta di considerare la tabella “aggiuntano di nuove proprietà” non indicando tutte le specifiche e quindi utilizzabile come strumento utile per avere una panoramica generale, è dovuta al fatto che queste applicazioni spesso presentano molte variabili che, oltre a quelle già descritte, ne vincolano le prestazioni.

Riprendendo l'esempio dei materiali fotoluminescenti e in particolare quando sono utilizzati in modo massivo in un polimero, le proprietà illuminotecniche subiscono delle ulteriori variazioni a seconda delle proprietà del polimero. L'applicazione su una base trasparente permette infatti un maggior passaggio della luce. I pigmenti contenuti nel materiale potranno quindi assorbire meglio la luce e, successivamente, anche il rilascio dei raggi sarà più visibile. Al contrario, l'utilizzo di polimeri opachi e colorati altera inevitabilmente le caratteristiche dell'applicazione. Anche per questi motivi si è deciso di rimandare alle schede tecniche la descrizione completa delle possibili variabili che, per essere applicati, necessiteranno anche di uno studio specifico in fase di progettazione.

6.3.3 Alcune informazioni generali

Nello sviluppo delle due tipologie di tabelle si è deciso di ordinare i dati a seconda

della proprietà specifica selezionata in fase di ricerca. Nell'architettura si è previsto che questo ordine possa essere cambiato dall'utente sulla base delle colonne della tabella.

6.4 Le schede tecniche

La fase finale della ricerca riporta la presentazione di una scheda tecnica dettagliata per singolo materiale. Oltre alle caratteristiche tecniche, le schede contengono anche una descrizione del materiale e del suo funzionamento e di tutte le sue proprietà. Saranno anche presenti delle note che in modo schematico danno le indicazioni e le avvertenze sull'utilizzo del materiale, facilitandone così l'applicazione in un possibile progetto.

Per rendere più efficace la descrizione delle proprietà, saranno contenute nella scheda delle tabelle che illustrano le principali caratteristiche del materiale e/o il suo funzionamento (fig. 6.7).

6.4.1 La scheda "incremento delle proprietà"

Nello specifico per i materiali che "incrementano le proprietà" sarà possibile avere dei grafici che paragonano il materiale di base con quello nanotrattato sulla base di due valori selezionati dall'utente. Qualora si desiderasse vedere il rapporto peso specifico e durezza sarà necessario selezionare i due parametri per visualizzare un grafico il cui i due valori sono indicati uno in ascissa e l'altro in ordinata potendo così vedere il posizionamento del applicazione in relazione al materiale di base.

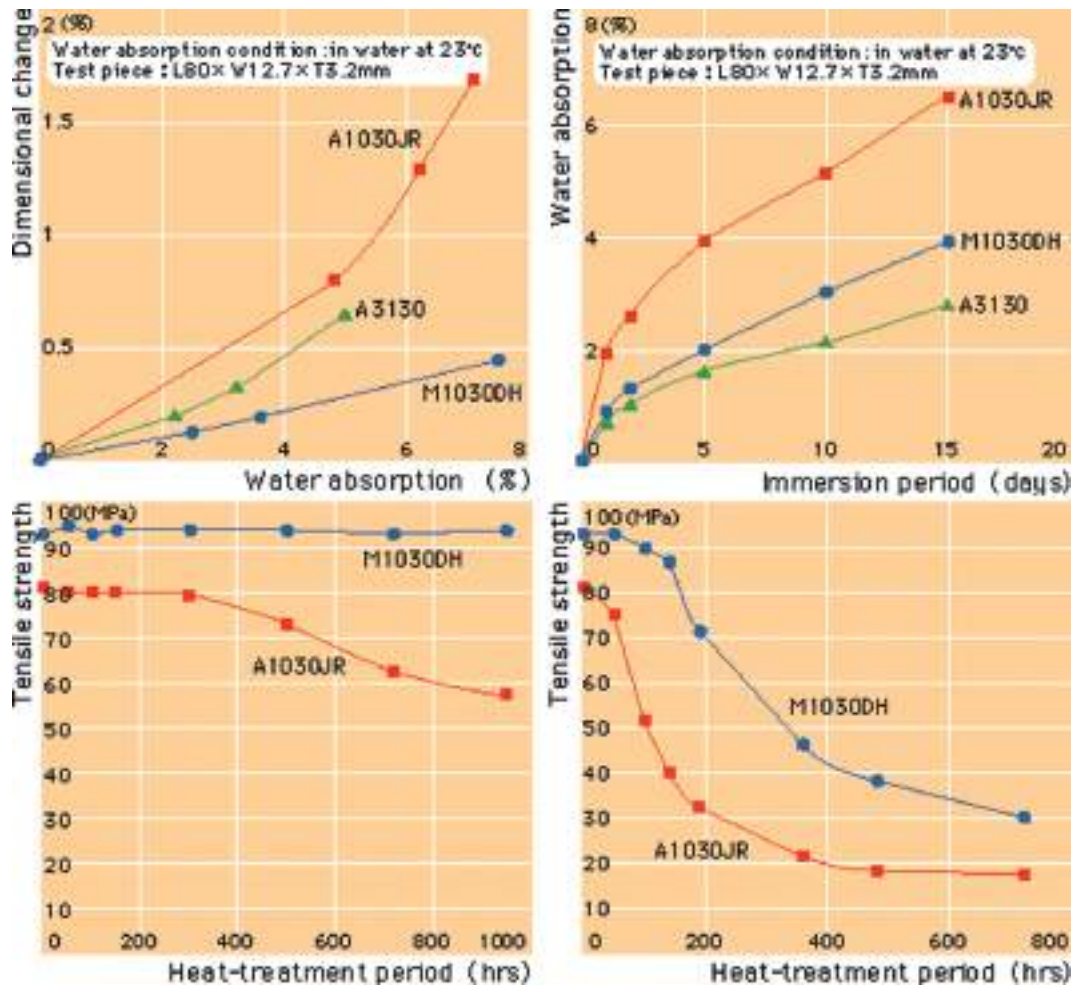
6.4.1.1 L'opzione "confronta"

Per ogni proprietà è anche presente un riferimento chiamato "confronta" che permetterà di visualizzare una lista di materiali e applicazioni che hanno, come dato selezionato, lo stesso valore $\pm\Delta^8$ (definito a seconda dei singoli casi). In questo modo si è voluto proporre un tipo di visualizzazione che permetta di avere dei riferimenti (anche intuitivi) delle prestazioni del materiale.

Selezionando il "confronta" riferito al peso specifico di un materiale che ha come valore $0,8 \text{ kg/dm}^3$ (ad esempio) verrà visualizzata una tabella che presenta tra i vari materiali anche numerosi tipi di legno che hanno peso specifico analogo.

Al contrario selezionando il "confronta" riferito alla durezza in cui il valore è 30 Kg/mm^2 verrà visualizzata una tabella che presenta tra gli altri numerose leghe di alluminio, ma non saranno presenti tipi di legno in quanto questi materiali hanno una durezza che varia tra i 2 e i 6 Kg/mm^2 .

⁸ Con il simbolo Δ si intende un valore numerico che sommato e sottratto al dato di interesse permette di avere un intervallo di valori che lo comprendono.



6.7 Grafici presenti nella scheda tecnica "incremento delle proprietà", illustrano le differenze prestazionali tra il materiale nanotrattato (M1030DH, linea blu) e quello di base (A1030JR, linea rossa)

6.4.2 La scheda "aggiunta di nuove proprietà"

Nel caso dei materiali che "aggiungono nuove proprietà", le schede saranno analoghe a quelle dei incrementi con l'unica differenza che, non essendo possibile realizzare dei confronti con le caratteristiche del materiale di base, saranno presenti dei diagrammi che ne riassumono le proprietà specifiche.

6.4.3 Alcune osservazioni

Al contrario della maggior parte dei database analizzati, che non presentano delle schede tecniche per i singoli prodotti ma che rimandano a quelle dei produttori, si è scelto



6.8 Schermata “scheda prodotto”

di utilizzare questo strumento come fase fondamentale della consultazione dei materiali permettendo così una visualizzazione standardizzata delle proprietà e dei confronti specifici tra i materiali.

Nella consultazione di questo strumento è però necessario tenere in considerazione che, come già detto, le caratteristiche tecniche presentate non saranno sempre le stesse e i materiali saranno facilmente confrontabili solo per uguale tipologia.

6.5 La ricerca dei progetti

Le ricerche svolte per la parte riferita ai prodotti e ai progetti saranno di tipo più classico rispetto a quelle delle applicazioni. Come già visto nella descrizione della struttura, tra le caratteristiche indicate nelle schede dei progetti ci sono i “settori applicativi” e il “tipo di progetto”. Le ricerche si basano su queste due caratteristiche o con modalità di tipo aperto in cui la ricerca verrà svolta sulla base di una parola, indicata dall’utente, contenuta all’interno della scheda del prodotto o del progetto.

6.5.1 La scelta dei settori e dei tipi di progetti

Nell’organizzazione del database sono stati individuati i possibili settori applicativi riferiti alle nanotecnologie nel dettaglio:

- edilizia;
- allestimenti;

- packaging;
- *furniture*;
- abbigliamento;
- comunicazione visiva;
- illuminazione;
- trasporti;
- medicale/salute;
- sport;
- arredamento per esterni;
- energie rinnovabili;
- gestioni di energia;
- gestioni di energia elettrica;
- settori sperimentali.

Queste categorie non saranno esclusive, vale a dire che un prodotto potrà appartenere a più settori. Di tipo esclusivo è invece la classificazione “tipo di progetto”. In questo caso sarà indicato lo stato dell’arte del progetto secondo la classificazione:

- in commercio;
- *concept*;
- in sviluppo (e il time to market);
- sperimentale (e il time to market).

Grazie a questa classificazione sarà possibile individuare lo stato dell’arte del progetto o prodotto e, in alcuni casi, avere anche l’indicazione del “time to market” vale a dire di quando sarà (ipoteticamente) in commercializzato.

6.5.2 L’elenco dei progetti e la scheda tecnica

A seconda del tipo di progetto sarà dunque possibile avere le indicazioni su quelle che sono le proprietà e le potenzialità del progetto con la possibilità da parte dei progettisti di proporre delle soluzioni per cui, qualora l’applicazione permettesse di ottenere determinati sviluppi o risultati, sarebbe possibile ottenere (fig. 6.8).

6.6 Alcuni esempi di utilizzo

In precedenza sono spesso stati citati i materiali fotoluminescenti, ed è proprio in riferimento a questi che verrà presentato un esempio delle funzioni del database. È interessante affrontare il tema della fotoluminescenza in quanto questi materiali sono attualmente utilizzati come rivestimenti, con funzioni per lo più di tipo decorativo. I prodotti attualmente presenti sul mercato sono ad esempio i vestiti della collezione *The two faces* di Johan Ku e le scarpe *Chuck Taylor All-Star* di Converse che si illuminano di notte o installazioni artistiche come *PixelShade* o *Temporary Graffiti* dello studio londinese Random International.



6.9 Installazione *PixelShade*, Random Internationale, Parigi, 2006 (sinistra)

6.10 Collezione *The two faces*, Johan Ku, 2012 (destra)

Come è evidente osservando sia i prodotti che le loro funzioni, in questo settore non c'è un forte apporto innovativo né in fase progettuale né in quella di impiego della nuova tecnologia. Questi esempi non tengono infatti conto dei vantaggi e delle possibilità che l'applicazione del materiale comporta nel prodotto e nelle sue funzioni.

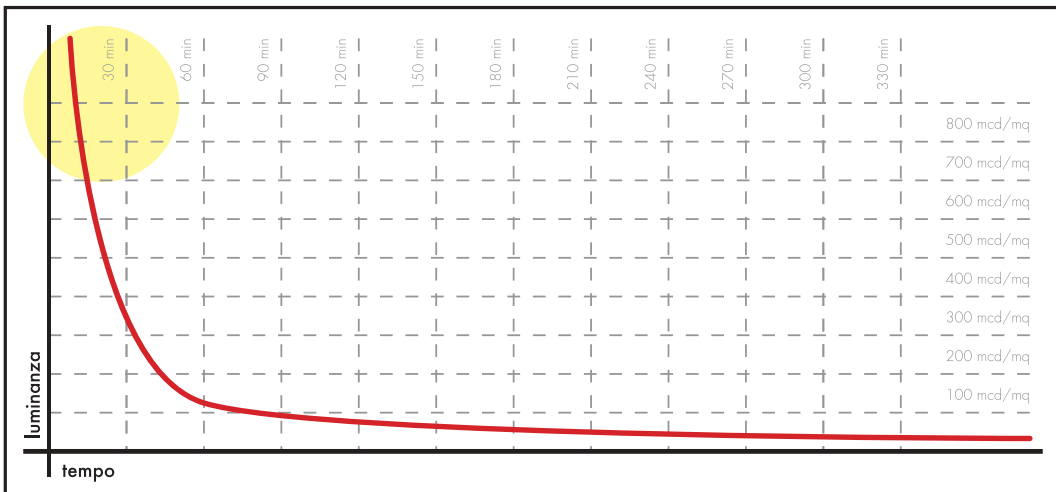
Diventa dunque interessante osservare come la relazione tra ricercatori e progettisti ottenuta grazie all'utilizzo del database possa dare un nuovo impulso a prodotti nuovi e che permettono anche di incrementare lo sviluppo di queste tecnologie.

Queste nuove applicazioni avranno infatti l'obiettivo di applicare la fotoluminescenza in situazioni in cui le funzioni di questi materiali hanno delle finalità ben precise.

6.6.1 La segnaletica fotoluminescente

Una delle interessanti applicazioni in cui attualmente viene utilizzata la fotoluminescenza è quella della segnaletica adibita alla sicurezza, pensata soprattutto per i casi di *blackout* in ambienti pubblici o di lavoro. Trattando un tema che da un punto di vista normativo può essere molto vincolante, è utile premettere che nelle leggi vigenti non ci sono indicazioni riferite all'uso di questi materiali, che dunque possono essere impiegati liberamente a tale scopo.

Rivestire la segnaletica che indica il percorso per raggiungere l'uscita in casi di *blackout*, ad esempio, consente di avere anche in caso di buio dei punti illuminati che non neces-



6.11 Segnaletica fotoluminescente in situazione di luce e di buio (sopra)

6.12 Rappresentazione grafica delle proprietà del materiale fotoluminescente e indicazione (in giallo) dell'area considerata per la progettazione della segnaletica (sotto)

sitano di alimentazione elettrica e che si accendono⁹ in automatico. Inoltre, pensando al contesto d'uso di questi prodotti, è evidente che l'efficienza luminosa di tali applicazioni deve essere molto intensa e svilupparsi in un periodo di tempo ridotto: la segnaletica deve infatti essere visibile dal momento del *blackout* fino a quello dell'evacuazione, che si presume sarà compiuta nel più breve tempo possibile.

⁹ In termine accendersi non è il più corretto quando si parla di materiali fotoluminescenti in quanto il rilascio dei raggi luminosi da parte di questi materiali è continuo anche se risultano visibili solamente in situazioni di buio, momenti in cui questi materiali sembrano appunto accendersi.

6.6.1.1 Il prodotto e il database

Se si considera la progettazione di questi prodotti combinato con l'utilizzo del database, è possibile trovare nelle schede di questi materiali tutti i dati necessari per la sua progettazione. In particolare, risulta interessante osservare la rappresentazione grafica (fig. 6.12) presente nelle "schede dei materiali" che, ottenuta dai dati delle proprietà, indica la quantità di luminanza di questi in relazione al tempo. Affrontando questo progetto e viste le finalità, sarà necessario considerare soprattutto l'area in alto a sinistra del grafico dato: maggiore sarà il livello di luminanza nei primi minuti e meglio il trattamento si adatterà alle esigenze del prodotto. Se da un lato quindi il database offre tutti gli strumenti per realizzare questo tipo di applicazione, dall'altro dà la possibilità al progettista di segnalare quali sono stati i dati utili per lo sviluppo del prodotto ai ricercatori che avranno indicazioni su nuove linee di ricerca tali per cui lo sviluppo porterà al diretto aumento delle potenzialità del prodotto.

6.6.2 Mobilight

Per quanto utile, l'applicazione della luminescenza in prodotti di segnaletica si rivela priva di un effettivo sviluppo del prodotto e per questo parzialmente limitata, non sviluppando nuove modalità d'uso in cui l'utilizzo del trattamento nano condiziona tutto quello del progetto.

Differente è invece il caso del sistema di illuminazione *Mobilight*¹⁰ il cui progetto è la realizzazione di un sistema di illuminazione per camper e roulotte. L'idea è stata quella di un prodotto che utilizza i punti luce presenti in questi ambienti per diventare di notte una fonte di illuminazione in grado di permettere gli spostamenti all'interno di ambienti così ristretti.

Nello specifico, il prodotto è un sistema che viene realizzato da più componenti posizionati nei punti luce, per lo più oblò, che consentono ad una rete fotoluminescente di rimanere esposta ai raggi del sole durante il periodo in cui è richiusa su se stessa e di emanare la luce raccolta quando il prodotto viene aperto al buio.

6.6.2.1 Le caratteristiche

Mobilight risulta interessante da diversi punti di vista perché permette di capire maggiormente l'importanza della progettazione nel processo di sviluppo innovativo. Innanzitutto il prodotto permette di avere una fonte luminosa che non utilizza energia elettrica, aspetto che, pensando al contesto d'uso, si rivela particolarmente importante. Inoltre, pur essendo posizionato sugli oblò, non impedisce il passaggio della luce grazie

¹⁰ *Mobilight* è un sistema di illuminazione fotoluminescente per camper e roulotte progetto realizzato da Francesco Codicè durante il laboratorio di progettazione dello Iuav (a.a. 2010/2011).



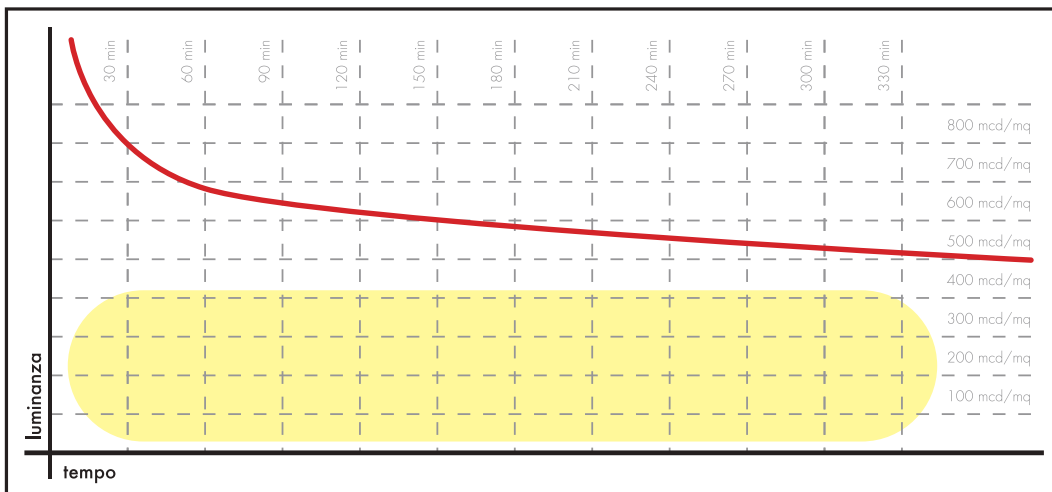
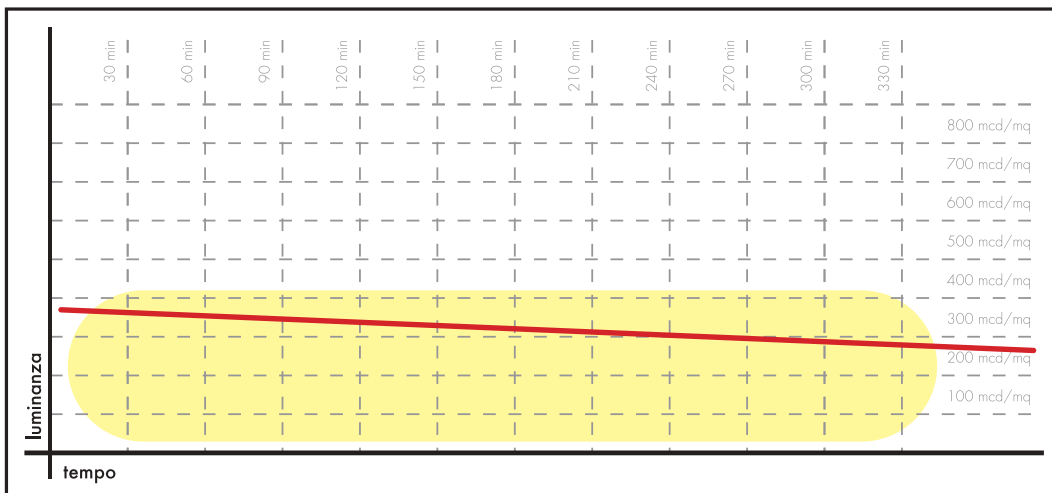
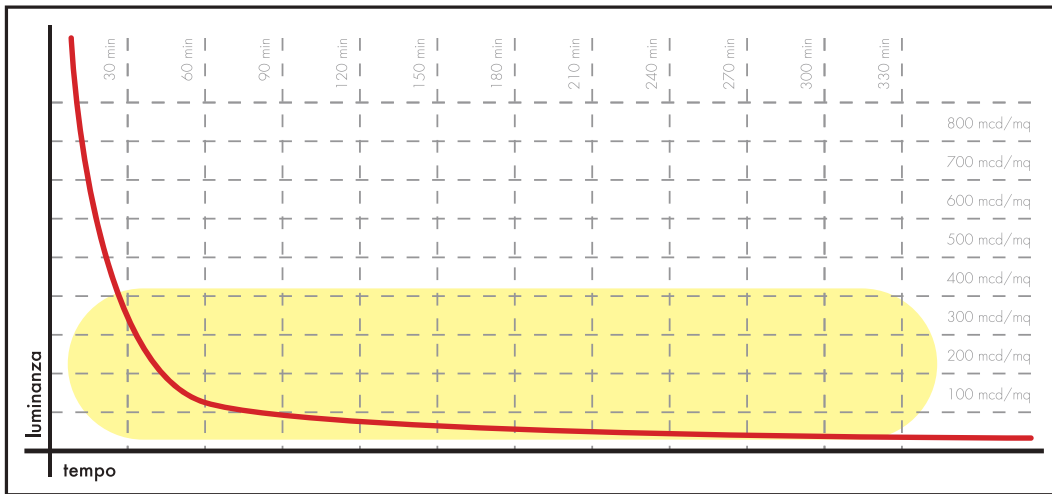
6.13 Sistema di illuminazione *Mobilight*, Francesco Codicè, laboratorio luav, 2010

all'utilizzo di una rete fotoluminescente che permette anche di avere una quantità maggiore di superficie¹¹ esposta al sole e quindi di caricarsi¹² meglio e, una volta esteso, di emettere una quantità di luce superiore. Da un punto di vista progettuale inoltre la conformazione di *Mobilight* rende più semplice ovviare ad alcuni dei vincoli di questi materiali. Ad esempio, la caratteristica di emettere raggi luminosi visibili solo in ambienti bui è stata risolta con l'utilizzo di un prodotto che può essere aperto totalmente, in parte o tenuto chiuso, in questo modo, anche se approssimativamente, si può modulare la quantità di luce prodotta.

Il contesto d'uso e le caratteristiche del progetto si rivelano quindi ottimali per l'ap-

¹¹ Se si considera che la rete è composta da elementi cilindrici la superficie intesa è quella ottenuta dalla somma di tutte le superfici di tutti i cilindri che la compongono.

¹² I materiali fotoluminescenti si "caricano" raccogliendo raggi luminosi che vengono poi rilasciati gradualmente nel tempo.

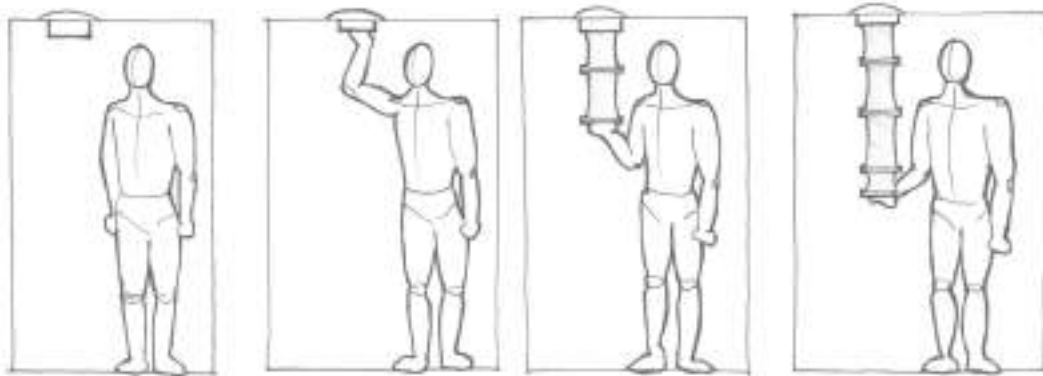


Rappresentazioni grafiche delle proprietà del materiale fotoluminescente:

6.14 Indicazione (in giallo) dell'area considerata per la progettazione di *Mobilight* (sopra)

6.15 Ideale svolgimento del grafico per l'applicazione in *Mobilight* (al centro)

6.16 Altro possibile sviluppo dell'intensità luminosa (sotto)



6.17 Sistema di illuminazione *Mobilight*, Francesco Codicè, laboratorio luav, 2010 (funzionamento)

plicazione dei materiali fotoluminescenti in questo settore, soprattutto se si considera che gli utenti, durante la notte, non necessitano di una fonte luminosa importante in termini di illuminazione (per quello rimangono le attuali fonti presenti nei camper o nelle roulotte) ma di un'intensità minima, tale da permettere agli utenti di percepire gli oggetti e gli spazi che li circondano.

6.6.2.2 Il prodotto e il database

Analizzando il progetto *Mobilight* in riferimento al database, e in particolare alle schede dei materiali fotoluminescenti in esso presenti, è evidente come, anche in questo caso, si possano trovare tutte le indicazioni necessarie per lo sviluppo del progetto.

A differenza della segnaletica, la progettazione di *Mobilight* deve considerare dei parametri diversi di diffusione della luce nel tempo e quindi delle differenti aree del grafico precedentemente indicato (fig. 6.14).

In questo caso infatti la condizione ideale è che la luminanza rimanga costante per un tempo di circa 12 ore, il massimo di buio in una giornata, in modo che sia possibile avere un'illuminazione più controllabile. Il grafico ideale sarà dunque quello con un andamento più costante (fig. 6.15), obiettivo a cui i ricercatori potrebbero aspirare.

Al contrario, uno sviluppo tecnologico che aumenta l'intensità generale di questi materiali (fig. 6.16) potrebbe essere riutilizzata dal designer modificando il prodotto e creando quindi dei livelli di apertura minori ma anche, nel caso in cui si voglia mantenere la stessa intensità luminosa, riducendo il materiale nanotrattato e quindi la quantità di superficie ricaricabile.

In vista dell'innovazione si rinnova quindi l'importanza della collaborazione tra ricercatori e designer grazie al database, strumento strategico per migliorare la cooperazione e lo sviluppo simultaneo di ricerca tecnico-scientifica e di prodotti.

Conclusioni

Come può un progettista produrre innovazione nel campo delle nanotecnologie?

Questa è stata la domanda che ha dato origine a tutta la ricerca e alla quale non è stato possibile dare una risposta univoca, pertanto sono state illustrate le dinamiche per cui, nello sviluppo dell'innovazione tecnologica, la realizzazione di nuovi prodotti risulta essere uno degli elementi che indubbiamente contribuiscono allo sviluppo dell'innovazione generale.

Dall'analisi dei due processi, sviluppati su grafici cartesiani basati sul rapporto tempo e livello di innovazione, sono stati individuati gli elementi fondamentali per cui i prodotti riescono a produrre innovazione.

Come si è visto, la realizzazione di più tipologie di prodotti che utilizzano una stessa tecnologia è uno degli elementi che più ne influenza lo sviluppo in quanto genera nuove necessità pratiche e dunque nuove tematiche di ricerca. Inoltre, lo sviluppo di un prodotto con una nuova tecnologia ne comporta l'applicazione anche negli artefatti che con esso si relazionano, aumentando così il panorama dei prodotti che paradossalmente tende a crescere in modo esponenziale, incrementando così anche i possibili indirizzi di ricerca.

Il ruolo del designer risulta dunque strategico in quanto è colui che meglio riesce a produrre il "passaggio tecnologico", in quanto ha la capacità di impiegare una soluzione o una tecnologia in differenti settori applicativi per trovare nuove soluzioni progettuali.

Se dunque il progettista è la figura professionale che meglio potrebbe, se così si può dire, "stimolare" lo sviluppo tecnologico, rimane da capire quali siano gli strumenti più adatti affinché questo processo possa avvenire.

Dato per scontato che la costituzione di gruppi di lavoro eterogenei in cui ricercatori e progettisti collaborano alla produzione di innovazione rimane la soluzione più auspicabile, si è individuato in un database online lo strumento che meglio permette di mettere in relazione le due tipologie di sviluppo. La sua aggiornabilità, la possibilità di eseguire ricerche, sia di tipo specifico che in modo più libero permettendo quindi un quadro generale della possibilità applicative, lo qualificano come lo strumento più adatto per sviluppare la ricerca.

La corretta organizzazione del database consente dunque di stabilire relazioni dirette tra prodotti e materiali, quindi tra ricerca tecnologica e applicazioni, ma anche di ottenere informazioni sui produttori, sui ricercatori e sui designer che operano in settori analoghi così da poter chiedere consulenze, creare nuovi gruppi di lavoro e aumentare le possibili modalità d'innovazione.

Se da un lato l'utilizzo da parte di differenti tipologie di utenti risulta essere un elemento centrale nello sviluppo del processo innovativo, dall'altro è stato necessario organizzare uno strumento che, basato sulle caratteristiche e le proprietà delle nanotecnologie, si rivelasse facilmente consultabile e con una qualità e quantità di informazioni in grado di soddisfare tutti i possibili utenti.

Riprendendo quindi la domanda iniziale, il progettista produce sempre innovazione nel momento in cui sviluppa nuovi prodotti, dato che le diverse applicazioni si traducono, in modi più o meno diretti, in nuovi indirizzi di sviluppo tecnologico.

All'affermazione di Wiener (1993) *ogni scienziato deve di tanto in tanto cambiare direzione e chiedersi non tanto: "Come posso risolvere questo problema?", bensì: "Ora che sono arrivato a un risultato, che problemi ho risolto?"* è possibile rispondere progettando nuovi prodotti, proponendo così nuove richieste e quindi nuovi processi di sviluppo.

Appendici

A seguire sono presentati i riferimenti delle figure del capitolo 2 *Lo sviluppo tecnico-scientifico e i prodotti* (p. 15) e i risultati delle analisi dei database e dei portali riferite ai paragrafi: 4.4.3 *Risultati dell'analisi* (p. 64) e 4.6.3 *Risultati dell'analisi* (p. 71).

Riferimenti figura 2.6 (p. 25)

rif.	anno	Innovazioni tecnico-scientifiche
IT1	1940	Si specializza l'uso delle microonde
IT2	1950	Le microonde vengono dedicate alla trasmissione di programmi radiofonici e televisivi
IT3	1960	Vengono commercializzati i primi transistor
IT4	1968	Alcuni canali di microonde furono assegnati alla telefonia mobile
IT5	1968	Sviluppo della rete cellulare della Bell Labs, AT&T che proposero un sistema basato sulla suddivisione del territorio in una serie di celle grossolanamente esagonali, ognuna con una stazione ricetrasmittente
IT6	1981	Negli Stati Uniti, la Federal Communication Commission, avviò la concessione delle licenze per la telefonia mobile
IT7	1991	In Europa venne lanciato il GSM, un sistema di telefonia mobile digitale che sostituirà i sistemi analogici presenti in ogni Paese
IT8	1997	Fu creata una seconda banda (1800MHz) e nacquero quindi i telefonini Dual Band
IT9	2005	L'operatore giapponese NTT DoCoMo è riuscito a testare lo streaming video di ben 32 filmati ad alta definizione su un nuovo terminale connesso ad un mini-network 4G
IT10	2005	Il Giappone è il primo paese ad introdurre la tecnologia 3G su scala commerciale
IT11	2010	Negli USA viene attivata la tecnologia 4G a livello commerciale

rif.	anno	Prodotti sperimentali
PS1	1910	Lars Magnus Ericsson e sua moglie Hilda inventarono quello che si può considerare il primo telefono mobile del mondo, consentiva solo chiamate in uscita ed era installato in auto
PS2	1973	L'ingegnere americano Martin Cooper, che lavora alla società di elettronica Motorola effettua per la prima volta una chiamata da un telefono cellulare
PS3	1992	Nacquero gli SMS. In principio furono ideati come sistema di comunicazione di servizio per gli operatori della telefonia mobile
PS4	2001	Handspring ha annunciato il Palm OS smartphone Treo, utilizzando una tastiera completa che combina la navigazione web senza fili, e-mail, calendario e rubrica, utilizzando applicazioni di terze parti che potevano essere scaricate e sincronizzate con un computer

rif.	anno	Prodotti in commercio
PCI	1950	A Stoccolma circolavano le prime automobili dotate di telefono. I primi utenti furono medici che facevano visite a domicilio
PC2	1955	Entra in funzione il cercapersone: un piccolo apparecchio che con un segnale acustico e un display avvisava che qualcuno stava chiamando
PC3	1979	In Giappone e negli Usa a Chicago furono avviati i primi servizi pubblici di telefonia mobile
PC4	1962	Nokia presenta il suo primo cellulare, il Nokia Mobira Senator. Il dispositivo assomiglia molto ad una radio portatile.
PC5	1983	Venne lanciato sul mercato il primo telefono cellulare: si trattava del Motorola DynaTac 8000X
PC6	1989	Motorola presenta il telefono cellulare personale Micro-TAC
PC7	1993	IBM commercializza il primo smartphone dalla BellSouth con il nome di Simon
PC8	1996	Motorola commercializza lo StarTAC il primo dispositivo a conchiglia
PC9	1996	Nokia commercializza Communicator il primo modello di smartphone della casa finlandese (il primo modello è il Nokia 9000)

PCIO	2002	RIM ha immesso sul mercato il primo modello di BlackBerry il primo smartphone ottimizzato per l'utilizzo wireless
PCI I	2004	Motorola commercializza lo RAZR v3 il primo cellulare ultra-sottile
PCI 2	2006	Il BlackBerry Pearl 8100 è la prima serie di telefoni con "push" delle e-mail e fotocamera digitale integrata e lettore multimediale
PCI 3	2007	Apple ha annunciato iPhone il primo smartphone multitouch e il touchscreen in grado di interagire con un computer senza l'ausilio della tastiera fisica e del mouse

fonti:

Attivissimo, P. (1996), *Il telefonino*, Apogeo, Milano, 1996

Sacco, A. (2007), *A brief history of the mobile phone* | *CIO blog*, CIO Blog, http://blogs.cio.com/al_sacco/a_brief_history_of_the_mobile_phone_1973_2007, 10 Ottobre 2010

Riferimenti figura 2.7 (p. 27)

rif.	anno	Innovazioni tecnico-scientifiche
IT1	2005	L'operatore giapponese NTT DoCoMo è riuscito a testare lo streaming video di ben 32 filmati ad alta definizione su un nuovo terminale connesso ad un mini-network 4G
IT2	2005	Il Giappone è il primo paese ad introdurre la tecnologia 3G su scala commerciale
IT3	2010	Negli USA viene attivata la tecnologia 4G a livello commerciale

rif.	anno	Prodotto Blackberry
BBO5	2005	BlackBerry 7100g
BBO6	2006	BlackBerry 7130g, BlackBerry 7130v, BlackBerry 8700g, BlackBerry 8703e, BlackBerry 8707v, BlackBerry Pearl 8100, BlackBerry 8800
BBO7	2007	BlackBerry 8707g, BlackBerry Curve 8300, BlackBerry Curve 8310, BlackBerry Pearl 8120, BlackBerry 8820
BBO8	2008	BlackBerry Bold 9000, BlackBerry Pearl 8110, BlackBerry Pearl 8220, BlackBerry Storm 9500
BBO9	2009	BlackBerry Bold 9700, BlackBerry Curve 8520, BlackBerry Curve 8900, BlackBerry Storm2 9520
BB10	2010	BlackBerry Bold 9780, BlackBerry Curve 3G 9300, BlackBerry Pearl 3G 9105, BlackBerry Torch 9800
BB11	2011	BlackBerry Bold 9900, BlackBerry Curve 9360, BlackBerry Porsche Design P9981, BlackBerry Torch 9810, BlackBerry Torch 9860

rif.	anno	Prodotto HTC
HTO2	2002	HTC Canary, HTC Wallaby
HTO3	2003	HTC Falcon, HTC Tanager

HTO4	2004	HTC Amadeus, HTC Blueangel, HTC Feeler, HTC Harrier, HTC Himalaya, HTC Magician, HTC Sonata, HTC Typhoon, HTC Voyager
HTO5	2005	HTC Alpine, HTC Apache, HTC Douton, HTC Faraday, HTC Galaxy, HTC Gemini, HTC Hurricane, HTC Tornado, HTC Universal
HTO6	2006	HTC Artemis, HTC Breeze, HTC Charmer, HTC Excalibur, HTC Herald, HTC Hermes, HTC Monet, HTC Oxygen, HTC Prophet, HTC Startrek, HTC Trinity, HTC Wizard
HTO7	2007	HTC Athena, HTC Atlas, HTC Cavalier, HTC Census, HTC Clio, HTC Elf, HTC Elfin, HTC Gene, HTC Iris, HTC Kaiser, HTC Libra, HTC Love, HTC Nike, HTC Panda, HTC Phoebus, HTC Sedna, HTC Titan, HTC Vogue, HTC Vox, HTC Wave, HTC Wings
HTO8	2008	HTC Blackstone, HTC Converse, HTC Diamond, HTC Dream, HTC Fuwa, HTC Herman, HTC Jade, HTC Neon, HTC Opal, HTC Pharos, HTC Polaris, HTC Quartz, HTC Raphael, HTC Rose, HTC Victor
HTO9	2009	HTC Barium, HTC Cedar, HTC Citrine, HTC Click, HTC DesireC2, HTC Hero, HTC Imagio, HTC Iolite, HTC Leo, HTC Maple, HTC Mega, HTC Qilin, HTC Rhodium, HTC Sapphire, HTC Tachi, HTC Topaz, HTC Tungsten, HTC Whitestone, HTC Willow
HTIO	2010	HTC Ace, HTC Bravo, HTC Buzz, HTC Espresso, HTC Glacier, HTC Gratia, HTC Incredible, HTC Legend, HTC Liberty7, HTC Mondrian, HTC Mozart, HTC Photon, HTC Pico, HTC Rome, HTC Schubert, HTC Spark, HTC Stallion, HTC Supersonic, HTC Vision
HTII	2011	HTC ChaCha, HTC Doubleshot, HTC Freestyle, HTC Gold, HTC Holiday, HTC Icon, HTC Lexikon, HTC Marvel, HTC Mecha, HTC Pyramid, HTC Rider, HTC Ruby, HTC Runnymede, HTC Saga, HTC Shooter, HTC ShooterU, HTC Speedy, HTC Vivo, HTC VivoW

rif.	anno	Prodotto Apple iPhone
IPO7	2007	iPhone 2G
IPO8	2008	iPhone 3G

IPO9	2009	iPhone 3GS
IP10	2010	iPhone 4
IP11	2011	iPhone 4S

fonti:

Attivissimo, P. (1996), *Il telefonino*, Apogeo, Milano

Sacco, A. (2007), *A brief history of the mobile phone* | *CIO blog*, CIO Blog, http://blogs.cio.com/al_sacco/a_brief_history_of_the_mobile_phone_1973_2007, 10 Ottobre 2010

AA.VV., *List of BlackBerry phones*, Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_BlackBerry_phones, 10 Ottobre 2010

AA.VV., *List of HTC phones*, Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTC_phones, 10 Ottobre 2010

AA.VV., *iPhone*, Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/iPhone>, 10 Ottobre 2010

Riferimenti figura 2.8 (p. 30)

rif.	anno	Innovazione tecnico-scientifica display
IT1	1964	Lo schermo al plasma è stato inventato nell'Università dell'Illinois all'Urbana-Champaign da Donald L. Bitzer, H. Gene Slottow, e dallo studente Robert Willson
IT2	1965	Il primo utilizzo dei cristalli liquidi per uno schermo fu opera di George Heilmeyer.
IT3	1987	I primi display LED furono presentati da Ching Tang e Steve Van Slyke
IT4	2008	Viene annunciata la nascita di un consorzio tra Sony, Toshiba e Matsushita per la produzione di schermi OLED

rif.	anno	Prodotti monitor
TV1	1969	Compaiono sul mercato i primi modelli sperimentali di schermi al plasma
TV2	1970	Interruzione della diffusione degli schermi al plasma dovuto al costo di quelli a tubo catodico
TV3	1997	Pioneer cominciò a vendere il primo televisore al plasma al pubblico
TV4	2000	La tecnologia LCD nata per i monitor dei personal computer viene adottata anche nella costruzione degli apparecchi televisivi
TV5	2008	Il primo televisore retroilluminato a LED compare sul mercato

rif.	anno	Prodotti smartphone
SP1	2005	Vengono commercializzati i primi smartphone con monitor LCD
SP2	2007	I primi smartphone retroilluminati con tecnologia LED compaiono sul mercato
SP3	2009	Vengono commercializzati smartphone con monitor OLED

rif.	anno	Prodotti tablet
TBI	2010	Compaiono sui mercato i primi tablet con monitor retroilluminati a LED
TB2	2011	I tablet adottano display OLED

fonti:

Attivissimo, P. (1996), *Il telefonino*, Apogeo, Milano

Sacco, A.(2007), *A brief history of the mobile phone* | *CIO blog*, CIO Blog, http://blogs.cio.com/al_sacco/a_brief_history_of_the_mobile_phone_1973_2007, 10 Ottobre 2010

AA.VV., *Storia della televisione*, Wikipedia, the free encyclopedia, http://it.wikipedia.org/wiki/Storia_della_tv, 10 Ottobre 2010

AA.VV., *Tablet computer*, Wikipedia, the free encyclopedia, http://it.wikipedia.org/wiki/Tablet_computer, 10 Ottobre 2010

Schede dell'analisi dei database (p. 64)

nome	MEMSnet®	
url	www.memsnet.org	
	realizzazione	MEMS and Nanotechnology Exchange
	email	engineering@mems-exchange.org
	città	Reston
	paese	USA, Virginia
	url	www.mems-exchange.org
descrizione	<p>Il MEMS and Nanotechnology Exchange è un'organizzazione statunitense che offre servizi di consulenza nei settori dei MEMS e delle nanotecnologie. Con finalità economiche, MEMS and Nanotechnology Exchange fornisce ai propri clienti consulenze sullo stato dell'arte e la fornitura di materiali realizzati nelle oltre 500 tra aziende, organizzazioni, start-up, istituti di ricerca e strutture governative che collaborano con l'organizzazione di consulenza. La MEMS and Nanotechnology Exchange fa parte della Corporation for National Research Initiatives (CNRI) ed è una delle organizzazioni che fanno parte della DARPA Microsystems Technology Office (il dipartimento della difesa degli Stati Uniti). Dal 1994 l'organizzazione ha istituito MEMSnet®, il portale/database che racchiude informazioni di prodotti e materiali generalmente utilizzati per la realizzazione di prodotti MEMS. Il database non contiene solamente informazioni sui materiali ma anche sua serie di notizie utili legate all'ambito nanotecnologico e dei MEMS; glossario, link utili, eventi, offerte di lavoro e altre news vengono aggiornati settimanalmente. Il database si basa su una struttura schematica e le tipologie di dati presentati fanno sempre riferimento alle caratteristiche che, caso per caso, interessano maggiormente i materiali e i prodotti descritti. Una nota interessante è che ad ogni dato corrisponde un riferimento (spesso bibliografico) dal quale è stato tratto.</p>	
dati generali	valutazione	complementi

oggetto di base	MEMS e materiali per applicazioni	
tipologie	portale/database	
condizioni di accesso	nessuna	
modularità	format costante	variano i dati a seconda delle caratteristiche del materiale
rappresentatività precisata delle fonti	rappresentatività precisata delle fonti	
anno d'inizio	precedente 2000	
aggiornamento	settimanale	le news vengono aggiornate settimanalmente, in alcuni periodi anche quotidianamente
dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale	nessuna	
tipo di materiale	materiali commerciali	
elementi base	variabili, indicate a seconda del tipo di applicazione	
specifiche tecniche	variabili, indicate a seconda del tipo di applicazione	
ambito di utilizzo	non specificato	trattando di MEMS alcune applicazioni hanno più tipologie di utilizzo, non necessariamente associabili al materiale
riferimenti alle fonti	fonti bibliografiche	riferimenti a capitoli e pagine da cui sono stati ripresi i dati

nome	Global Spec	
url	www.globalspec.com	
	realizzazione	Global Spec
	email	www.globalspec.com/ContactUs
	città	New York
	paese	USA, New York
	url	www.globalspec.com
descrizione	<p>Global Spec è una compagnia che offre servizi di consulenza ad aziende per aspetti che riguardano la progettazione, la produzione e diffusione dei prodotti commercializzati. Grazie ad un'ampia rete di aziende e istituti di ricerca Global Spec è uno dei più importanti agglomerato di informazioni per le aziende che si occupano di materiali.</p> <p>Il portale permette di effettuare ricerche su materiali nanotecnologici e non, rintracciandoli tra una serie di schede tecniche contenute nei portali degli stessi produttori. In questo modo i dati forniti risultano sempre affidabili. Inoltre, i materiali contenuti sono inseriti dalle stesse aziende che contribuiscono al mantenimento del portale.</p> <p>È inoltre possibile iscriversi gratuitamente a Global Spec, avendo così la possibilità di ricevere settimanalmente una newsletter informativa sui nuovi materiali inseriti nel database.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	MEMS, materiali e trattamenti	
tipologie	database	aggregatore di più fonti
condizioni di accesso	iscrizione gratuita per l'accesso ai dati	iscrivendosi alla newsletter si possono ricevere avvisi sugli aggiornamenti

modularità	le specifiche tecniche vengono indicate solo in alcuni casi	
rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti ai produttori e alle pagine del materiale	
anno d'inizio	precedente al 2000	
aggiornamento	bisettimanale/mensile	avviso tramite newsletter
dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale	descrizione chiara e concisa	
tipo di materiale	materiali commerciali	non sono presenti i prezzi ma è possibile richiedere preventivi
elementi base	generalmente indicati nel testo descrittivo	
specifiche tecniche	Indicati solo in alcuni casi	
ambito di utilizzo	non specificato	
riferimenti alle fonti	riferimenti ai portali dei produttori e alle pagine con le specifiche tecniche	

nome	NanoAmor	
url	www.nanoamor.com	
	realizzazione	Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.
	email	tech@nanoamor.com
	città	Houston
	paese	USA, Texas
	url	www.nanoamor.com
descrizione	<p>Nanostructured & Amorphous Materials Inc. (NanoAmor) è stata fondata nel 2001 e si occupa di nanoapplicazioni, occupandosi delle fasi di produzione, ricerca, sviluppo, fornitura e la commercializzazione dei materiali. NanoAmor lavora per le più importanti aziende e multinazionali commercializzando e sperimentando materiali che vanno da 1 a 100 nm: particelle nanospherical, nanotubi, nanofili, nanotubi, nanoflakes, nanodiscs, nanofilms e materiali massivi. Nel portale sono indicate le specifiche tecniche caratterizzanti di ogni prodotto, in molti casi sono indicate anche le specifiche in relazione alle percentuali di materiali nanotecnologici applicati o utilizzati. Sono allegati i test fatti sui materiali e in alcuni casi anche le certificazioni relative.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	applicazioni superficiali, leghe metalliche, piccoli conduttori, nanotubi e nanofibre	
tipologie	database	organizzato per la vendita
condizioni di accesso	nessuna	
modularità	format schematico con datasheet standardizzati	

rappresentatività precisata delle fonti	si fa sempre riferimento ai produttori	
anno d'inizio	2001	
aggiornamento	non specificato	
dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale	non è presente nessuna descrizione ma solo dati tecnici	
tipo di materiale	materiali commerciali	
elementi base	indicati	
specifiche tecniche	Indicati in datasheet standardizzati	
ambito di utilizzo	non indicato	
riferimenti alle fonti	riferimenti ai portali e alle pagine con le specifiche tecniche	

nome	NanoWerk	
url	www.nanowerk.com	
	realizzazione	Nanowerk LLC
	email	www.nanowerk.com/n_contact_us.html
	città	Honolulu
	paese	USA, Hawaii
	url	www.nanowerk.com
descrizione	<p>Nanowerk è un'organizzazione che offre servizi di consulenza alle aziende. Il portale offre inoltre una serie di servizi aggiuntivi, tutti gratuiti, finalizzati ad educare gli utenti sul tema delle nanotecnologie. Si possono trovare delle sezioni che spiegano che cosa sono questi materiali, la storia, un dizionario delle terminologie e la segnalazione dei periodici e degli eventi più interessanti in ambito nanotecnologico. Il database, che contiene oltre 2.200 nanomateriali di oltre 140 fornitori tra aziende e istituti di ricerca, è uno strumento in cui, a differenza di altri database, la suddivisione dei materiali viene fatta dando modo all'utente scegliere tra diverse tipologie di ricerca. I materiali possono essere selezionati sulla base della loro composizione chimica, delle dimensioni e delle tipologie di nanomateriali. I materiali segnalati fanno sempre riferimento ad aziende e, purtroppo, i reindirizzamenti non sempre rimandano alle schede tecniche.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali e trattamenti superficiali	
tipologie	database	aggregatore di più fonti web
condizioni di accesso	nessuna	
modularità	le specifiche tecniche vengono indicate solo in alcuni casi	

rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti ai produttori e alle pagine del materiale	in alcuni sono indicati lo spessore del trattamento, la fase o una specifica
anno d'inizio	2006	
aggiornamento	non è chiaro ogni quanto avvengano gli aggiornamenti	le news associate vengono aggiornate quotidianamente
dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale	non è presente alcuna descrizione	
tipo di materiale	materiali commerciali	
elementi base	almeno uno è sempre indicati	
specifiche tecniche	indicate solo in alcuni casi	
ambito di utilizzo	non specificato	
riferimenti alle fonti	si fa sempre riferimento ai produttori e alle pagine del materiale	

nome	Nanoproducts	
url	www.nanoproducts.de	
	realizzazione	Nanoproducts
	email	info@nanoproducts.de
	città	Heppenheim
	paese	Germania
	url	www.nanoproducts.de
descrizione	<p>Nanoproducts è un portale realizzato per la commercializzazione di prodotti con applicazioni nanotecnologiche e la diffusione di prodotti che utilizzano queste tecnologie. Il database Nanoproducts presenta la più grande varietà di prodotti nanotecnologici, e una gamma di applicazioni finalizzati ai campi dell'ingegneria dei processi di produzione, allo studio dei materiali e dei prodotti commerciali. L'organizzazione del database prevede che vi sia un confronto diretto tra utente e produttore, chiunque è interessato a ulteriori informazioni può infatti contattare direttamente i produttori che saranno in grado di fornire indicazioni tecniche e commerciali dettagliate.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali e trattamenti superficiali	
tipologie	database	aggregatore di più fonti web
condizioni di accesso	nessuna	
modularità	format testuale	
rappresentatività precisata delle fonti	si fa sempre riferimento ai produttori e alle pagine del materiale	
anno d'inizio	2003	

aggiornamento	non definito, il database si aggiorna con l'inserimento di materiale da parte degli utenti	settimanale o bisettimanale per le news
dati specifici (applicazioni)	valutazione	complementi
descrizione generale	è presente una descrizione di circa 500 battute	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
tipo di materiale	materiali commerciali	
elementi base	generalmente non indicati	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
specifiche tecniche	generalmente non indicati	
ambito di utilizzo	indicati solo in alcuni casi	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
riferimenti alle fonti	riferimento a produttori ma non sempre ai datasheet	
dati specifici (prodotti)	valutazione	complementi
descrizione generale	è presente una descrizione di circa 500 battute	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
prestazioni	indicate sommariamente i testi sono inseriti dagli utenti	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
ambito di utilizzo	indicato un contesto	i testi sono inseriti dagli utenti e non sempre sono esaustivi
riferimenti alle fonti	riferimento a produttori ma non sempre ai datasheet	
tipo di trattamento o applicazione	generalmente non indicato	

nome	NanoShop	
url	www.nanoshop.com	
	realizzazione	Nanovations Product Solutions
	email	info@nanoshop.com
	città	Frenchs Forest
	paese	Australia, New South Wales
	url	www.nanovations.com.au
descrizione	<p>Nanoshop è il portale di trattamenti e prodotti nanotecnologici. Nanoshop è lo strumento di ordinazione online per utenti che desiderano applicare, distribuire o utilizzare queste applicazioni. Con finalità di tipo commerciale, Nanoshop è uno dei più aggiornati database di trattamenti e applicazioni nanotecnologiche, in particolare, riferite all'architettura e agli interni. Le informazioni fornite sono spesso dettagliate (anche dal punto di vista tecnico) ma, non c'è infatti un format unico nella presentazione dei trattamenti e delle informazioni.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	prodotti con applicazioni nanotecnologiche	
tipologie	database aggregatore di più fonti web	funziona come un motore di ricerca
condizioni di accesso	nessuna	la registrazione di articoli comporta oneri
modularità	formato testuale	
rappresentatività precisata delle fonti	si fa sempre riferimento ai produttori e alle pagine del materiale	
anno d'inizio	2005	

aggiornamento	il database si aggiorna con l'inserimento di riferimenti da parte degli utenti	mensile per le newsletter
dati specifici (prodotti)	valutazione	complementi
descrizione generale	descrizione testuale tra le 500/1000 battute	i testi sono inseriti dagli utenti ma sempre esaustivi o quasi
prestazioni	indicate sommariamente	i testi sono inseriti dagli utenti e non hanno quasi mai specifiche
ambito di utilizzo	indicato un contesto	
riferimenti alle fonti	riferimento a produttori ma non sempre ai datasheet	
tipo di trattamento o applicazione	generalmente non definito	

nome	Project on Emerging Nanotechnologies	
url	www.nanotechproject.org	
	realizzazione	Woodrow Wilson International Center for Scholars, Pew Charitable Trusts
	email	www.nanotechproject.org/about/contact
	città	Washington
	paese	USA, Washington DC
	url	www.wilsoncenter.org, www.pewtrusts.org
descrizione	<p>Project on Emerging Nanotechnologies è una portale realizzato da ricercatori, industrie e il governo statunitense, finalizzato ad informare l'opinione pubblica sulle nuove tecnologie nanotecnologiche. L'obiettivo principale è quello di evidenziare il livello di sviluppo dei prodotti attualmente in commercio, garantendone la non tossicità ed evidenziando come i prodotti nanotecnologici siano, in realtà, ampiamente presenti nel panorama dei prodotti che quotidianamente utilizziamo. Con finalità divulgative, Project on Emerging Nanotechnologies è uno dei più aggiornati database di prodotti commerciali applicazioni nanotecnologiche. Le informazioni fornite sono generalmente citazioni delle descrizioni dei prodotti fornite dalle aziende, non c'è infatti un format unico nella presentazione dei prodotti.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	prodotti con applicazioni nanotecnologiche	
tipologie	portale/database	
condizioni di accesso	nessuna	
modularità	formato testuale	

rappresentatività precisata delle fonti	si fa sempre riferimento ai produttori e alle pagine del materiale	
anno d'inizio	2005	
aggiornamento	non definito	
dati specifici (prodotti)	valutazione	complementi
descrizione generale	descrizione testuale	citazioni non esaustive delle descrizioni dei prodotti
prestazioni	indicate sommariamente	non sono mai indicate le prestazioni specifiche e le caratteristiche tecniche dell'applicazione
ambito di utilizzo	sempre indicato il contesto	
riferimenti alle fonti	riferimento alle fonti primarie o ai produttori	
tipo di trattamento o applicazione	non definito	

Schede dell'analisi dei portali (p. 71)

nome	ACS Publications	
url	www.pubs.acs.org	
	realizzazione	American Chemical Society
	email	help@acs.org
	città	Washington
	paese	USA, Washington
	url	www.pubs.acs.org
descrizione	ACS (American Chemical Society) è il principale editore di pubblicazioni scientifiche mondiali. Le pubblicazioni ACS comprendono oltre 40 riviste riguardanti tematiche che spaziano dalla chimica all'ingegneria.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali sperimentali	
tipologie	raccolta di articoli	può essere consultato l'abstract degli articoli, mentre la versione completa deve essere acquistata
condizioni di accesso	utente specializzato	
rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti agli articoli scientifici	
anno d'inizio	1996	
aggiornamento	settimanale	

nome	Foresight Institute	
url	www.foresight.org	
	realizzazione	Foresight Institute
	email	foresight@foresight.org
	città	Palo Alto
	paese	USA, California
	url	www.foresight.org
descrizione	Foresight Institute è uno dei principali portali di informazioni e novità riferiti alle nanotecnologie informazioni. L'obiettivo dell'istituto e del portale è quello di scoprire e promuovere gli aspetti positivi, e contribuire ad evitare i pericoli, delle nanotecnologie.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali nanotecnologici	
tipologie	portale informativo	sono presenti sia notizie sulle ultime scoperte nanotecnologiche, ma anche informazioni di base su questa disciplina
condizioni di accesso	tecnico	
rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti agli articoli scientifici	
anno d'inizio	non definito	anno della fondazione 1986
aggiornamento	mensile	

nome	ICON	
url	www.icon.rice.edu	
	realizzazione	International Council on Nanotechnology
	email	www.icon.rice.edu/frminforequest.cfm
	città	/
	paese	USA
	url	www.icon.rice.edu
descrizione	<p>ICON è un'organizzazione internazionale, la cui missione è quella di sviluppare e comunicare informazioni in merito ai potenziali rischi ambientali e sanitari delle nanotecnologie, favorendo così la riduzione del rischio e massimizzare vantaggi per la società.</p>	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	tossicità e normative	
tipologie	portale informativo	sono spesso presenti articoli scientifici che permettono di approfondire le notizie
condizioni di accesso	utente generico	
rappresentatività precisata delle fonti	nessuna	
anno d'inizio	non definito	anno della fondazione 2006
aggiornamento	mensile	

nome	MKnano	
url	www.mknano.com	
	realizzazione	M.K. Impex Corp.
	email	info@mknano.com
	città	Mississauga
	paese	Canada
	url	www.mknano.com
descrizione	MKnano è un portale che dal 2007 fornisce informazioni sui prodotti e le applicazioni delle nanotecnologie e presenta al suo interno un'ampia classificazione dei materiali nanotecnologici.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali nanotecnologici	
tipologie	portale informativo	
condizioni di accesso	tecnico	
rappresentatività precisata delle fonti	non definita	c'è la possibilità di acquistare i materiali segnalati
anno d'inizio	non definito	
aggiornamento	non definito	

nome	Nano&me Nanotechnology in our lives	
url	www.nanoandme.org	
	realizzazione	Department for Business Innovation & Skills, Esmé Fairbairn Foundation, Nano Forum
	email	hilary@responsiblenanoforum.org
	città	Londra
	paese	Gran Bretagna
	url	www.bis.gov.uk, www.esmeefairbairn.org.uk, www.nanoforum.org
descrizione	Portale realizzato dal Department for Business Innovation & Skills è un' iniziativa pilota dedicato alle normative inglesi sull' utilizzo delle nanotecnologie. Sono presenti diverse normative legate alla sicurezza di differenti campi applicativi. Nel portale sono presenti anche i commenti degli utenti che, dopo l'iscrizione gratuita, possono lasciare le loro opinioni sulle normative, proporre di nuove e indicare nuove soluzioni su quelle vigenti.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	tossicità e normative	sono indicati i principali ambiti applicativi delle nanotecnologie
tipologie	portale informativo	
condizioni di accesso	utente generico	chiunque può fare le proprie osservazioni
rappresentatività precisata delle fonti	nessuna	
anno d'inizio	non definito	
aggiornamento	non definito	

nome	Nanotec IT	
url	www.nanotec.it	
	realizzazione	AIRI / Nanotec IT
	email	info@nanotec.it
	città	Roma
	paese	Italia
	url	www.nanotec.it
descrizione	Nanotec IT (Centro Italiano per le Nanotecnologie) è stato creato nel 2003 da AIRI, Associazione Italiana per la Ricerca Industriale, per farne un punto di riferimento nazionale per le nanotecnologie per industria, ricerca pubblica, istituzioni governative.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	informazioni generali	
tipologie	portale informativo	
condizioni di accesso	utente generale	all'interno sono presenti anche articoli scientifici riguardanti argomenti tematici
rappresentatività precisata delle fonti	nessuna	le notizie sono generalmente fornite da aziende, enti o centri di ricerca in relazione con il portale
anno d'inizio	non definito	
aggiornamento	non definito	

nome	Nanotechnology Now	
url	www.nanotech-now.com	
	realizzazione	Nanotechnology Now
	email	www.nanotech-now.com/contact.htm
	città	/
	paese	USA
	url	www.nanotech-now.com
descrizione	NN è il portale stato creato per soddisfare le esigenze informative delle imprese, governo, accademici, e le comunità pubbliche.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	informazioni generali e materiali	
tipologie	portale informativo e raccolta di articoli	sono presenti dia articoli divulgativi sia articoli scientifici
condizioni di accesso	utente generico e specializzato	
rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti agli articoli scientifici	
anno d'inizio	2001	
aggiornamento	mensile	

nome	Technology Review	
url	www.technologyreview.com	
	realizzazione	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
	email	Technology Review è il portale che informa sulle tecnologie emergenti.
	città	Cambridge
	paese	USA, Massachusetts
	url	web.mit.edu
descrizione	Technology Review è il portale che informa sulle tecnologie emergenti. Il portale non tratta solamente di materiali nanotecnologici, ma presenta un'ampia sezione dedicata a questo ambito.	
dati generali	valutazione	complementi
oggetto di base	materiali sperimentali	
tipologie	raccolta di articoli	può essere consultato l'abstract degli articoli, mentre la versione completa deve essere acquistata
condizioni di accesso	utente tecnico	
rappresentatività precisata delle fonti	riferimenti alle fonti primarie o agli articoli scientifici	
anno d'inizio	non definito	la testata è stata fondata nel 1899
aggiornamento	settimanale	

Bibliografia

- Addington, M. D. e Schodek, D. L.
(2005) *Smart materials and new technologies: For the architecture and design professions*, Architectural Press, Oxford
- Ahmed, W. e Jackson, M. J.
(2009) *Emerging nanotechnologies for manufacturing*, William Andrew Pub, Norwich
- Arielli, E.
(2003) *Pensiero e progettazione: La psicologia cognitiva applicata al design e all'architettura*, Pearson Paravia, Milano
- Arnaldi, S.
(2010), *Nanotecnologie: Il cammino della scienza*, Il Mulino, Padova
- Ashby, M. F., Ferreira, P. J. e Schodek, D. L.
(2009) *Nanomaterials, nanotechnologies and design: An introduction for engineers and architects*, Butterworth-Heinemann, Burlington
- Ashby, M. e Johnson, K.
(2005) *Materiali & design: L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto*, CEA Editore, Milano
- Badalucco, L. e Chiapponi, M.
(2009) *Energia e design: Innovazioni di prodotto per la sostenibilità energetica*, Carocci Editore, Roma
- Baldon, G., Bendetti E. e Lodato, F.
(2006) *I quaderni delle nanotecnologie*, Tipografia La Garangola, Padova
- Baldwin, N.
(2001) *Edison: Inventing the Century*, University of Chicago Press, Chicago
- Basalla, G.
(1988) *The evolution of technology*, Cambridge University Press, Cambridge
- Bassi, A.
(2003) *La luce italiana: Design delle lampade 1945-2000*, Mondadori Electa, Roma
- Bell, D., Aldegheri, C. e Sabini, M.
(1983) *Immagini del post-moderno: Il dibattito sulla società post-industriale e l'architettura*, Cluva, Venezia
- Bertelè, U. e Chiapponi, M.
(2006) *Studio di fattibilità di una banca dati italiana a supporto della LCA*, Contributo della DGXI, Ambiente Sicurezza Nucleare e Protezione Civile della Commissione Europea, Associazione Impresa Politecnico, Milano

- Bhushan, B.
(2007), *Springer handbook of nanotechnology*, Springer Verlag, Dodrecht
- Bijker, W. E.
(1998) *La bicicletta e altre innovazioni*, McGraw-Hill, Milano
- Bijker, W. E., Hughes, T. P. e Mayntz, R.
(1988) *The development of large technical systems*, ACLS Humanities E-Book, Boulder
- Bijker, W. E., Hunghe, T. P. e Pinch, T. J.
(1987) *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*, The MIT Press, Cambridge
- Boeing, N.
(2006) *L'invasione delle nanotecnologie: Cosa sono e come funzionano i nuovi microrobot invisibili che colonizzeranno il mondo*, Orme Editori, Milano
- Bologna, F.
(2009) *Dalle arti minori all'industrial design: Storia di una ideologia*, Paparo Edizioni, Napoli
- Bonsiepe, G.
(1993) *Teoria e pratica del disegno industriale: Elementi per una manualistica critica*, Feltrinelli Editore, Milano
(1995) *Dall'oggetto all'interfaccia: Mutazioni del design*, Feltrinelli Editore, Milano
- Boyce, P. R.
(2003) *Human factors in lighting*, Taylor & Francis, London
- Braun, E.
(2009) *Futile progress: Technology's empty promise*, Routledge, London
- Buchanan, R. e Margolin, V.
(1995) *Discovering design: Explorations in design studies*, University Of Chicago Press, Chicago
- Burrows, M.
(2008) *Bicycle Design: The Search for the Perfect Machine*, Snowbooks, London
- Butera, F. M.
(2007) *Dalla caverna alla casa ecologica: Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano
- Carr, N.
(2009) *The big switch: Rewiring the world: from Edison to Google*, W. W. Norton & Company, New York
- Chiapponi, M.
(1989) *Ambiente gestione e strategia: Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*, Feltrinelli Editore, Milano
(1999) *Cultura sociale del prodotto: Nuove frontiere per il disegno industriale*, Feltrinelli Editore, Milano
- D'Antonio, C. e Masiello, A.
(2009) *Nanotecnologie e rivestimenti*, Zima Technology, Salerno

- D'Eramo, M.
(2004) *Il maiale e il grattacielo: Chicago: una storia del nostro futuro*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Daichend, G. J.
(2010) *Artist-teacher: A philosophy for creating and teaching*, Intellect, Bristol
- Dasgupta, S.
(1996) *Technology and creativity*, Oxford University Press, New York
- Del Curto, B.
(2008) *Materiali per il design: Introduzione ai materiali e alle loro proprietà*, Editrice Ambrosiana, Milano
- Dhir, P. R., Newlands, D. M. e Csetenyi, D. L.
(2005) *Application of nanotechnology in concrete design*, Thomas Telford Publishing, London
- Drexler, E.
(1986) *Engines of creation: The coming era of nanotechnology*, Anchor Press, New York.
- Ferrara, M. e Cardillo, M.
(2008) *Materiali intelligenti, sensibili, interattivi: Materiali per il design*, Lupetti, Milano
- Fisher, E. e Selin C.
(2008), *The yearbook of nanotechnology in society: Presenting futures*, Springer Verlag, Dordrecht
- Flichy, P.
(1996), *L'innovazione tecnologica: Le teorie dell'innovazione di fronte alla rivoluzione digitale*, Feltrinelli Editore, Milano
- Flusser, V.
(2003) *Filosofia del design*, Mondadori Bruno, Milano
- Forcolini, G.
(2011) *Illuminazione con i LED: Funzionamento, caratteristiche, prestazioni, applicazioni*, Hoepli, Trento
- Förch, R.
(2009) *Surface design: Applications in bioscience and nanotechnology*, Wiley-VCH, Weinheim
- Franks, A.
(1987) *Nanotechnology*, Journal of Physics E: Scientific Instruments, vol. 20
- Frater, L., Stokes, E., Lee, R. e Oriola, T.
(2006), *An overview of the framework of current regulation affecting the development and marketing of nanomaterials*, Cardiff University
- Friedman, D. D.
(2011), *Future imperfect: Technology and freedom in an uncertain world*, Cambridge University Press, Cambridge

Fulekar, M. H.

(2010), *Nanotechnology: Importance and applications*, I. K. International, New Delhi
Georghiou, L., Metcalfe, J. S., Gibbons, M., Ray, T. e Evans, J.

(1986), *Post-innovation performance: Technological development and competition*,
Macmillan, London

Goslin, L. N.

(1971) *Il sistema di pianificazione dei prodotti*, Franco Angeli Editore, Roma

Hamdi, M. e Ferreira, A.

(2010) *Design, modeling and characterization of bio-nanorobotic systems*, Springer
Verlag, Dordrecht

Harper, C. A.

(2001) *Handbook of materials for product design*, McGraw-Hill, New York

Hayles, N. K.

(2004), *NanoCulture: Implications of the new technoscience*, Intellect, Bristol

Hodge, G. A., Bowman, D. e Maynard, A. D.

(2010) *International handbook on regulating nanotechnologies*, Edward Elgar
Publishing, Cheltenham

Hughes, T. P.

(1993) *Networks of power, electrification in western society: 1880-1930*, The Johns
Hopkins University Press, Baltimore

Jones, R. A. L.

(2008) *Soft machines: Nanotechnology and life*, Oxford University Press, New York

Josephson, M.

(1986) *Edison*, McGraw-Hill, New York

Karlen, M. e Benya, J.

(2006) *Lighting design basics*, John Wiley, Hoboken

Köhler, M. e Fritzsche, W.

(2008) *Nanotechnology: An introduction to nanostructuring techniques*, Wiley-VCH,
Weinheim

Kuhn, T. S.

(2009) *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino

Latouche, S.

(2009) *La scommessa della decrescita*, Feltrinelli Editore, Milano

Legrenzi, P.

(2011) *Creatività e innovazione*, Il Mulino, Padova

Leydecker, S., Kölbl M., e Peters S.

(2008) *Nano materials in architecture: Interior architecture and design*, Birkhauser
Architecture, Berlin

Lou Michel

(1996) *Light: The shape of space designing with space and light*, Van Nostrand
Reinhold, New York

- Maldonado, T.
 (1987) *Il futuro della modernità*, Feltrinelli Editore, Milano
 (1991) *Tecnica e cultura: Il dibattito tedesco fra Bismarck e Weimar*, Feltrinelli Editore, Milano
 (1992) *La speranza progettuale, ambiente e società*, Einaudi, Torino
 (1997) *Critica della ragione informatica*, Feltrinelli Editore, Milano
 (2003) *Disegno industriale: un riesame*, Feltrinelli Editore, Milano
 (2005) *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore, Milano
 (2010) *Arte e artefatti*, Feltrinelli Editore, Milano
- Manna, F.
 (2002) *Dal lucignolo al neon: Lanterne e lampade nella storia e nella vita*, Europolis Editing, Livorno
- Manzini, E.
 (1989) *La materia dell'invenzione*, Edizioni Arcadia, Bergamo
- Mari, E.
 (2001) *Progetto e passione*, Bollati Boringhieri, Torino
- Morrison, P., Morrison, P., Eames, C. e Eames, R.
 (1982) *Potenza di dieci*, Zanichelli Editore, Bologna
- Mumford, L.
 (2005) *Tecnica e cultura*, Il Saggiatore, Milano
- Munari, B.
 (2000), *Da cosa nasce cosa: Appunti per una metodologia progettuale*, Laterza, Roma
- Nacci, M.
 (1998) *Oggetti d'uso quotidiano: Rivoluzioni tecnologiche nella vita di oggi*, Marsilio Editore, Venezia
- Narducci, D.
 (2005) *Le nanotecnologie: Cosa sono, perché cambieranno la nostra vita, come la stanno già cambiando*, Alpha Test, Milano
 (2008) *Cosa sono le nanotecnologie: Istruzioni per l'uso della prossima rivoluzione scientifica*, Sironi Editore, Milano.
- Neresini, F.
 (2011), *Il nano-mondo che verrà: Verso la società nanotecnologica*, Il Mulino, Padova
- Norman, D. A.
 (1996) *La caffettiera del masochista: Psicopatologia degli oggetti quotidiani*, Giunti Editore, Milano
 (2004), *Emotional design: Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti di tutti i giorni*, Apogeo, Milano
 (2008) *Il design del futuro*, Apogeo, Milano
- Ovi, A.
 (2006), *Top 20: Le tecnologie emergenti*, LUISS University Press, Roma
- Ogburn, W.
 (1956), *Technology as environment*, Sociology and Social Research, vol. XLI

Pacchioni, G.

(2005) *Idee per diventare scienziato dei materiali: Dall'invenzione della carta alle nanotecnologie*, Zanichelli Editore, Bologna

(2007) *Quanto è piccolo il mondo: Sorprese e speranze dalle nanotecnologie*, Zanichelli Editore, Bologna

Paola Bertola, E. M.

(2004) *Design multiverso: Appunti di fenomenologia del design*, POLI.design, Milano

Peloi, M.

(2007) *Nanomondi: Scienza, tecnica ed estetica del mondo a dieci alla meno nove metri*, Area Science Park, Trieste

Roco, M. C., Williams, S. e Alivisatos, P.

(2011) *National Nanotechnology Investment in the FY 2011 Budget*, AAAS Report on U.S. R&D

Rognoli, V. e Levi, M.

(2005) *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, PoliPress, Milano

Ryhänen, T., Uusitalo, M. A., Ikkala O. e Kärkkäinen, A.

(2010) *Nanotechnologies for future mobile devices*, Cambridge University Press, Cambridge

Scalisi, F.

(2010) *Nanotecnologie in edilizia: Innovazione tecnologica e nuovi materiali per le costruzioni*, Maggioli Editore, Rimini

Schubert, E. F.

(2006) *Light-Emitting Diodes*, Cambridge University Press, Cambridge

Schulenburg, M.

(2004) *La nanotecnologia: Innovazione per il mondo di domani*, DG Recherche, Colonia.

Schummer, J. e Baird, D.

(2006) *Nanotechnology challenges: Implications for philosophy, ethics and society*, World Scientific Pub., Hackensack.

Singer, C.

(1994) *Storia della tecnologia: La rivoluzione industriale*, Universale Bollati Boringhieri, Torino

Sposito, A.

(2009) *Nanotech for Architecture: Nanotecnologie: stato dell'arte e prospettive per l'architettura*, Luciano Editore, Napoli

Sterling, B.

(2006) *La forma del futuro*, Apogeo, Milano

Taniguchi, N.

(1974) *On the Basic Concept of "Nano-Technology"*, Proc. Intl. Conf. Prod. Eng, Japan Society of Precision Engineering, Tokyo

Tehranipoor, M.

(2008) *Emerging Nanotechnologies: Test, defect tolerance, and reliability*, Springer Verlag, Dordrecht

Utterback, J. M.

(1994) *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Boston

Von Bertalanffy, L.

(2003) *General system theory: Foundations, development, applications*, George Braziller, New York

Von Hippel, E.

(1994) *The sources of innovation: Universities and industry*, Oxford University Press, New York

(2006) *Democratizing Innovation*, The MIT Press, Cambridge

Whitehouse, D. J.

(2003) *Handbook of Surface and Nanometrology*, Taylor & Francis, London

Wiener, N.

(1993) *L'invenzione: Come nascono e si sviluppano le idee*, Universale Bollati Boringhieri, Torino.

Wilson, D. G. e Papadopoulos, J.

(2004) *Bicycling science*, The MIT Press, Cambridge.

Ringraziamenti

Alla mia famiglia,
Paolo, Paola e Elena,
che credono in me e che mi hanno sempre supportato
e sono un punto di riferimento importante,

a Francesca,
con la quale ogni momento di questi anni è stato speciale
e che ringrazio perché mi sup- e sop- portata sempre,

a Medardo e Laura,
senza i quali il mio percorso formativo, professionale e personale
non sarebbe stato possibile,

a tutti gli amici,
da Pietro al *can del pignataro*,
(non vi citerò singolarmente per non dimenticare nessuno)
che solo all'ombra, o meglio dietro un'*ombra*,
hanno saputo darmi consigli importanti e costruttivi.

Un sincero grazie a tutti!

