

Per produrre ancora meglio l'industria ha sposato il virtuale

Autor(en): **Marchis, Vittorio**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning**

Band (Jahr): - **(2000)**

Heft 2

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-131939>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Per produrre ancora meglio l'industria ha sposato il virtuale

Vittorio Marchis*

L'applicazione nell'industria di modelli informatizzati e di realtà virtuale sta sostituendo il lavoro artigianale di controllo e verifica dei prototipi. In molti settori, soprattutto in quelli a più alta capacità produttiva, oggi sono i programmi computerizzati a definire le principali caratteristiche di un prodotto. Con esiti di maggiore efficienza, ma anche con qualche pericolo di omogeneizzazione.

Finzione, mimesi, simulazione e interpretazione possono essere i quattro pezzi di un gioco, la cui scacchiera è lo specchio della realtà. Ma se in Alice la realtà sta dietro lo specchio, nella società postindustriale il mito dello schiavo nella caverna è più che mai attuale. Che cosa possa ricordare (o intuire) lo schiavo attraverso la sensibile visione di ombre proiettate da una realtà a lui irraggiungibile e in parte dimenticata, è ciò che chiamiamo conoscenza. Ogni conoscenza è rappresentazione, ed ogni rappresentazione è corrispondenza tra una realtà esterna, che interagisce con il soggetto attraverso canali sensibili, e una struttura di concetti che il soggetto costruisce dentro di sé. Come il riflesso dello specchio, che non è la realtà, così la rappresentazione non sempre è un'immagine verosimile di ciò a cui si riferisce, ma ciò che più importa non è il realismo, bensì l'uso che di questa immagine si vuol fare.

Modi, mode, modelli

Potrebbe apparire strano, ma il modello non è cosa nuova, né tanto meno legata soltanto alla nostra cultura informatico-multimediale. Se sfogliamo il dizionario etimologico di Albert Dauzat, Jean Dubois e Henri Mitterand (*Nouveau dictionnaire étymologique et historique*, Larousse, Paris, 1971) si trova che «*modèle*» è parola che appare nella lingua francese nel 1549 quando Robert Estienne lo cita nel suo *Dictionnaire français-latin*. L'origine della parola arriva dall'italiano *modello*, che a sua volta proviene dal latino popolare *modellus*. Nel latino classico *modulus* è la misura, il riferimento che si usa per rappresentare l'equilibrio delle proporzioni di una statua, di un edificio o di una mac-

china. E per senso traslato questa parola si rifà al termine greco *kanon* che significa «regola». Modellare è verbo che si usa sin dal XVI secolo. Le date di nascita delle altre parole sono: «*modeleur*» XVI secolo, «*modelage*» 1834, «*modéliste*» verso il 1800. In tutti i casi la lingua francese, che in questo settore diventerà «modello» per l'intera Europa, attinge a piene mani dall'italiano. «Modulo» è parola che deriva da *modulus*, termine architettonico, alla cui origine è la parola *modus*. Anche la «moda» diventa misura e modello per i comportamenti degli uomini: basta guardarsi intorno. La moda dei modelli è forse una caratteristica della nostra società postindustriale, ma non solo.

Una definizione ormai classica, nella teoria dei sistemi (e dei modelli) recita: «Un sistema A è modello di un sistema B per un osservatore C, quando l'osservatore C può interrogare il sistema B per ottenere risposte intorno al sistema A». L'esistenza di A, B e C è condizione indispensabile per l'esistenza del modello: se manca anche uno solo dei tre elementi non si può parlare di modello. Senza incamminarci sul sentiero spinoso dell'epistemologia, potremmo osservare che un modello non è una riduzione in scala della realtà, ma ne è una rappresentazione e spesso è l'unica rappresentazione di una realtà che altrimenti sarebbe, se non sconosciuta, almeno difficilmente conoscibile.

Durante un recente seminario sui modelli tenutosi presso l'École normale supérieure di Lione, un ingegnere dell'Électricité de France fece notare come «il modello numerico di un trasformatore, ottenuto su un calcolatore, evidenziando le linee di campo magnetico, permetta di vedere ciò che invece nessun osservazione diretta sarebbe in grado di rappresentare». *Il modello ci fa vedere l'invisibile*. Alla stessa definizione potremmo giungere osservando una mammografia o una Tac, dove ciò che appare sullo schermo del computer non è una fotografia dell'interno degli organi di un essere vivente, ma piuttosto una loro interpretazione rispetto a particolari caratteristiche fisiche di trasparenza alle radiazioni, di temperatura, o di risonanza magnetica.

È a tutti evidente quanto abbiano contribuito i computer alla rappresentazione automatica di sistemi complessi. Tra il modello vettoriale tridimensionale del campo magnetico di un alternatore e le linee di flusso evidenziate su un cartoncino da fine limatura di ferro l'abisso è quasi incolmabile, ma da un punto di vista concettuale non c'è differenza. Tra la rappresentazione CAD di un edificio e il modello in legno di una cupola brunelleschiana la differenza risiede solo nei materiali e nelle tecniche di rappresentazione: in entrambi i casi il modello permette di vedere una realtà assolutamente inconoscibile, perché ancora solo nella mente del suo progettista. In questo senso sono modelli anche le mappe geografiche, i segnali stradali, gli indici e i cataloghi, le formule matematiche, e chi più ne ha più ne metta.

La tecnologia come forma di conoscenza

Con la rivoluzione industriale cambiano i rapporti tra chi «sa fare» una cosa e chi «sa far fare». Dalla «tecnica dell'artigiano» si passa alla «tecnica del tecnico», afferma José Ortega y Gasset. Dall'utensile si arriva alla macchina, dal disegno al calcolo progettuale e come incominciano a proliferare le «macchine che fanno altre macchine» (Karl Marx) così si fanno strada le macchine che fanno conoscere. Senza con questo fare una apologia dell'era dell'informazione non si può negare che forse una delle più importanti innovazioni dell'era postindustriale sono «le macchine che fanno l'informazione e la conoscenza». «Il medium è il messaggio» - dice Marshall McLuhan - e se da un lato questa profonda affermazione, a dispetto di ogni virtualizzazione a oltranza, ricorda che non esiste memoria né trasmissione di informazione, senza un supporto fisico e materiale, d'altra parte essa enfatizza il fatto che l'informazione tende a diventare il «bene» principale della società a cui oggi ci affacciamo.

Una rassegna delle tecnologie industriali e della loro natura «modellistica» rischierebbe di trasformarsi assolutamente in una sterile elencazione di esempi, i quali peraltro sarebbero già obsoleti all'atto della stampa di questo articolo. Né in ogni caso si vuole con tutto ciò togliere alla materialità degli oggetti e delle tecnologie produttive alcun valore intrinseco. In un mondo in cui si scorgono ogni giorno nuove forme di conoscenza e dove si tende a porre sullo stesso piano il bricolage degli impiegati frustrati e la computerdipendenza dei ragazzini svogliati, è assai difficile identificare nei nuovi sistemi industriali ciò che è realmente innovativo e ciò che invece è solo una moda.

Al di là delle considerazioni antropologiche su cui

ci si dovrebbe soffermare con maggiore attenzione, l'informatizzazione dei processi industriali e produttivi non dovrebbe essere confusa con un cambiamento di paradigmi cognitivi.

Poiché manca lo spazio e il tempo per una disamina organica di un problema, di cui forse oggi non esiste neppure un'unica e ottimale soluzione, si preferisce invece raccontare alcuni aspetti di una vita probabilmente nascosta a molti. A fianco delle mode - tipiche di ogni era di transizione - esistono anche i miti, da cui non dobbiamo pensare di essere immuni.

Incomincerò con un esempio «culinario» relativo ai sistemi just-in-time. La cuoca che prepara un arrosto, lo pulisce, lo farcisce con rosmarino e erbe profumate, lo mette a rosolare nella pentola, ne segue le varie fasi della cottura, sente con la forchetta il tempo opportuno per rivoltarlo affinché non si attacchi al fondo, versa con parsimonia alcune gocce di vino, è un modello del sistema artigianale, che contiene al proprio interno ogni livello di conoscenza, la quale si accresce senza peraltro codificare protocolli di trasferimento delle conoscenze medesime. Il modello di conoscenza è quello dell'esperienza ed è fondato sull'apprendistato, un lento apprendistato. A poco o a nulla servono i ricettari se non si è acquistata l'esperienza con la pratica.

Il pizzaiolo invece si trova di fronte un sistema produttivo in cui interviene in maniera primaria e fondamentale la combinazione di semplici elementi base (la pasta, l'olio, il pomodoro) e di una tecnologia ben conosciuta (l'impasto, la stiratura, la cottura) a cui si sovrappone una ben articolata dosatura di accessori e optional (i carciofini, i funghi, il prosciutto, la pancetta, le acciughe, le olive e via così). Il modello della pizza è la combinazione degli «accessori» e la loro corretta dosatura ed armonizzazione. La sua visibilità da parte dell'utente si evidenzia in quello che chiamiamo *menu*. È facile comprendere come una variazione sul tema (quello che in linguaggio industriale si chiama un prodotto *tailor made*, fatto su misura) possa portare alla crisi dell'intero sistema, soprattutto perché ingolfa il processo di trasferimento delle informazioni, dal cliente alla cameriera che riceve le ordinazioni, al padrone al banco, al pizzaiolo, al suo garzone che prepara gli ingredienti in appositi contenitori, e indietro sino ad arrivare all'avventore, che chiude il *feedback loop*.

Anche se una affermazione del genere potrà sembrare impopolare, soprattutto nel nostro paese, da un punto di vista gnoseologico non sussistono sostanziali differenze tra una pizzeria e un fast food: in entrambi i casi i processi produttivi sono codifi-

cati e seguono schemi che travalicano l'esperienza dell'operatore. Se c'è qualche differenza essa dipende certamente molto di più dalle sostanze impiegate e dai mezzi utilizzati, che dall'abilità dell'operatore. Il successo di questi «moderni» sistemi di ristorazione, soprattutto tra i giovani, è legato alla natura stessa della nostra società industriale.

Da quando nel 1956 Friedrich Pollok scrisse il suo saggio *Automazione* è passato molto tempo e sembra proprio che quei sistemi fatti di pesanti armadi metallici, di pesanti pacchi di schede perforate, di valvole e di transistor, siano soltanto degni di stare dietro le vetrine di un museo. Ma invece quei sistemi contenevano già tutti i geni di ciò che oggi condiziona il nostro intero sistema economico e produttivo. Le macchine avevano sigle che dovevano già allora fare pensare: Macchine internazionali per fare affari (Ibm), Macchina registratore di cassa elettronico (Erma), eccetera. Già allora si capiva che l'automazione, l'elettronica, la cibernetica erano discipline che avevano il loro baricentro su un concetto più filosofico che ingegneristico. L'informazione è la linfa vitale del processo cognitivo che lega il modello all'osservatore e chiude in cerchio con la realtà su cui si opera e da cui si traggono le risorse per «fare le cose». Ed era naturale, già agli albori dell'era informatica, che lo sviluppo naturale di questa reazione a catena portasse alla mutazione di quella «meccanica» su cui si era fondata tutta la tecnologia dei processi industriali sino alla seconda guerra mondiale.

Pensare che la robotica fosse il futuro della meccanica dimenticando le forti implicazioni con il mondo dei controlli e dell'automazione era un'illusione su cui si fondavano (e forse si fondano) le speranze di molti ingegneri. E così nelle aule universitarie è nata un'altra disciplina, che, con brutto nome, si chiama «meccatronica». Non credo che le ibridazioni eterologhe siano feconde, anche perché in questo caso si vorrebbe una soluzione che cerca la quadratura del cerchio. Si è spesso dimenticato che il «modello», che sempre più sta diventando il perno della società industriale, ha bisogno di contenuti per poter funzionare.

Alla base della modellistica contemporanea rimane in ogni modo quella «filosofia matematica» formalizzata dai tempi di Newton e Leibnitz in cui una rappresentazione analitico-simbolica riesce a tradurre le qualità in quantità numerabili. Le funzioni dello spazio e del tempo, le equazioni differenziali, il calcolo variazionale e ancora oltre la matematica combinatoria, l'algebra booleana, sino alla topologia hanno fornito ai tecnici gli strumenti necessari per costruire quelle strutture che, nascoste dietro a lunghe sequenze di istruzioni per

gli elaboratori elettronici, sono gli elementi costitutivi dei modelli. Senza di essi i videogame, i simulatori di volo, gli orari ferroviari, le previsioni del tempo, le comunicazioni telefoniche, le eco-grafie, i word processor, i ponti più arditi, le ultime creazioni della moda (e non solo) sarebbero soltanto miraggi nei libri di fantascienza.

Alle frontiere del possibile.

Pur volendo evitare noiosi e banali elenchi di applicazioni dei modelli nella tecnologia e nell'industria, prima di affrontare difficili conclusioni, sarà bene curiosare all'interno della nostra società per scoprire come il modello in moltissimi casi abbia veramente modificato l'*habitus* dell'uomo industriale. Questa interazione è così forte da assumere un ruolo essenziale nella definizione della nostra società, proprio come lo è stato il libro cinquecento anni fa.

Di fronte alla globalizzazione della nostra cultura anche le più profonde differenze, come per esempio quelle che sussistono tra il «modello occidentale» e il «modello giapponese», presto verranno a sparire proprio perché – tutti ce ne rendiamo conto – il linguaggio dei modelli, come quello della matematica, non conosce diversità nazionali. Già oggi le autovetture prodotte dalle varie case costruttrici presentano caratteri formali e strutturali assai simili tra di loro, ben diversamente da come invece accadeva ancora negli anni Cinquanta. I programmi di *solid modelling*, quelli di calcolo aerodinamico dei profili delle carrozzerie, quelli di ottimizzazione dei consumi, e ancora i modelli di comportamento dinamico come quelli di *crash impact* provengono da una matrice comune e soprattutto vengono senza particolari distinzioni usati negli uffici tecnici anche di ditte tra loro concorrenti.

Lo stesso pericolo di omogeneizzazione sussiste anche in altri settori dove ormai la logica della sperimentazione su modelli diventa la carta vincente per migliorare la qualità totale del prodotto. I modelli usati nella composizione dei colori in una manifattura di abbigliamento permettono di sperimentare nuovi tessuti su telai virtuali con la composizione di fili di cui sono preimpostate non solo le caratteristiche cromatiche, ma anche quelle di resistenza meccanica, di morbidezza, di piacevolezza al tatto. Di tutti questi parametri lo spirito positivo dei tecnici affina sempre più le correlazioni matematiche in grado di trasferire in parametri quantizzabili numericamente le caratteristiche qualitative del manufatto. Come si può tradurre in un numero il sapore di una nuova merendina o la piacevolezza di un arredamento? Se si riesce a fare ciò, allora sarà possibile costruire il modello ca-

pace di guidare le scelte per la progettazione di un nuovo prodotto. L'alternativa sarebbe quella di provare e riprovare in un'estenuante catena di successive prove, senza sapere mai bene in quale direzione andare. Il modello che possa prevedere gli sviluppi di un processo industriale, che ne convulsi l'efficacia, ma che non richieda una continua verifica di ciò che propone, è la soluzione ideale in una società di massa che produce oggetti di consumo di massa. In essa una scelta sbagliata può portare alla rovina economica.

Due ultimi esempi, che possono anche sembrare contraddittori, ma non lo sono, porteranno una ulteriore sfaccettatura a questa «meditazione» sui modelli. L'industria aerospaziale convive da un lato con le frontiere più avanzate dell'*high-tech*, ma dall'altro è sostanzialmente ancora legata a una filosofia artigianale, perché di ogni suo «oggetto» si costruiscono così pochi esemplari da rimanere sempre alla fase prototipale. Di fronte ai costi proibitivi di ogni nuova realizzazione la verifica sul modello delle sue caratteristiche e del suo comportamento è la sola via di salvezza, ma in molti casi, poiché si è di fronte a situazioni inverificabili, bisogna fare molta attenzione a non fare il passo più lungo della gamba. Quel pericolo, che esisteva nella tecnologia del mondo antico dove il modello era il canone modulare delle proporzioni che si dovevano seguire nella costruzione, per esempio, di un tempio, e che si fondava nella estrema fiducia della estrapolazione dei risultati, incombe anche oggi, quando si vuole andare oltre le frontiere. Altre volte la verifica sul campo è resa impossibile a causa della complessità del sistema medesimo: la difficoltà di ottenere corrette previsioni meteorologiche, l'impossibilità di prevedere il comportamento della borsa, la difficoltà di anticipare le oscillazioni del gusto di una categoria di acquirenti, mettono in crisi la stessa natura del modello.

Per fortuna, in altri casi i risultati sono sorprendenti: dalla pianificazione del traffico aereo, alla ricostruzione del Dna di una cellula, dall'anagrafe bancaria alla produzione industriale *just-in-time*. Può essere interessante infine fare qualche considerazione sull'impiego di modelli informatici nella progettazione di un'autovettura. I dati non si riferiscono a una autovettura particolare né a una particolare «marca», ma sono indicativi della tendenza attuale. Più del 60-70% delle prestazioni del prototipo sono verificate su modelli numerici, anche se a essi segue sempre una finale verifica sperimentale, come impone la normativa. La progettazione funzionale e strutturale, la simulazione del comportamento statico e dinamico del veicolo (a parte il motore e la trasmissione che sono solita-

mente già disponibili come elementi autonomi nello scaffale degli uffici progettazione), come la forma della carrozzeria in relazione alle sue prestazioni strutturali e aerodinamiche, sono tutte attività che trovano largo utilizzo del supporto informatico.

Attualmente fa ancora eccezione l'analisi della rumorosità indotta dall'esterno in relazione alle anomalie strutturali e di montaggio che è ancora largamente oggetto di azioni *trial-and-error* (sbaglia-e-modifica) tipicamente sperimentali. I modelli che vengono impiegati in un ufficio sviluppo e progettazione sono numericamente per più dell'80% frutto di specifiche esigenze e sono sviluppati internamente, ma se si guarda al tempo di calcolo impiegato nella simulazione numerica in aiuto alla progettazione, allora le percentuali si invertono e la parte del leone è fatta dai grandi codici di calcolo «commerciali» che gestiscono alcune funzioni ben specifiche. Programmi come Radioss (per la *crash analysis*, ossia per la simulazione degli incidenti), o altri sviluppati specificamente all'interno delle *corporations*, spesso frutto di *joint ventures* (come nel caso di Unisys sviluppato da Rockwell Dynamics e dal centro Ricerche Fiat, per modelli di fluidodinamica sia interna sia esterna), Abaqus (per l'analisi strutturale non lineare), Nastran (per l'analisi strutturale agli elementi finiti ma anche per l'acustica e l'analisi del comportamento alle vibrazioni) e Adams (per l'analisi dei cinematismi) sono i giganti che in ragione di importanza decrescente assorbono le fette più consistenti del tempo macchina per la progettazione di un'autovettura. Per quanto riguarda il disegno, rispetto al classico Autocad trova spazi sempre più ampi il PRO/E, che è un CAD parametrico associativo, oppure il Catia che viene usato anche per il disegno dei circuiti e dei *layout* elettrici. Per la progettazione «di stile», esterno, ma anche interno all'abitacolo, dove sono importanti le caratteristiche di resa delle superfici, viene utilizzato con ottimi risultati Alias. Come già accade per i sistemi operativi, anche nella progettazione assistita dal calcolatore (*Computer aided*) i colossi tendono a sbaragliare i piccoli concorrenti perché, nella società globalizzata, riescono a dominare il mercato con una rete imponente di servizi. Qui le sigle si sprecano: CAD, CAM, CAE, CAP D sta per *design*, M per *manufacturing*, E per *engineering*, P per *production*...

Spiegare, *data sheet* alla mano, le caratteristiche dei vari «pacchetti» non è possibile: tutti conoscono l'astrusità del linguaggio con cui vengono redatti i manuali d'uso del software, della cui leggibilità ben pochi credono. D'altra parte magnificare le peculiarità di un prodotto è un'operazione che sa-

prebbe troppo di pubblicità. La filosofia dei mattoncini Lego è forse lo schema di riferimento visivo più efficace per spiegare come si «monta» una struttura ad «elementi», che diventeranno sede di altrettante equazioni da risolvere: per studiare una superficie, per valutare le forze aerodinamiche, per calcolare le deformazioni... Fino a vent'anni orsono si pensava che i linguaggi di programmazione fossero la chiave per potere penetrare a fondo nella modellazione dell'universo, ora sempre più si cerca di ottenere macchine potenti e veloci. Poco importa se non si sa come funzionano dentro: qualcun altro avrà pensato a preparare un menu «*user friend*», nascondendo il resto dentro una elegante «*black box*». Nessuno si sente sminuito se usa il telefono, ma non sa come funziona: qualcun altro avrà provveduto in vece sua. Anche nei confronti della tecnologia la dimensione artigianale della conoscenza sta volgendo al viale del tramonto, e nuove «rivoluzioni» esplodono. Ancora una volta mi piace ricordare, con un pizzico di ironia, come fossero «felici quei tempi in cui gli ingegneri erano pontefici» (almeno così recita un antico proverbio spagnolo). Sempre più l'ingegnere scommette su un futuro che non conosce completamente e, come nuovo aruspice, usa il modello come uno strumento magico per prevedere ciò che non sa ancora.

La critica della conoscenza razionale

Le considerazioni che si potrebbero trarre da un apologo sulla conoscenza informatica potrebbero essere degne di una favola di Esopo. Proprio come presso gli antichi potremmo dire che «la favola dimostra che»:

1. La storia non torna indietro e anche se ancora affascinano i bei tempi passati, il ritorno a essi non è mai impresa vantaggiosa.
2. L'estrema diffusione dei modelli numerici e deterministici ha fatto crescere sempre più l'idea che un modello numerico sia più efficiente (e soprattutto più imparziale) di ogni altro sistema di valutazione fondato sull'intuizione e sul buon senso umano. Ma anche in questo caso la non linearità dei sistemi impone un forte senso critico nel valutare i risultati di un modello, prima che esso esca dagli schemi e si sconvolga nel caos.
3. Il processo che lega il modello alla realtà non è spesso chiaro e ancor più frequentemente rischia di non subire trattamenti di validazione. Anche in questo caso esiste il pericolo di un fenomeno analogo a quello che porta l'osso del gigante, cresciuto in proporzione alle dimensioni, a rompersi sotto il suo stesso peso.
4. In una ricerca che Karl Popper definiva «senza fine» è sempre necessario uscire dall'ambito in cui è stato sviluppato il modello per confrontarne le caratteristiche e per definirne i limiti di applicabilità. Poiché nessun sistema è autoreferenziale questa validazione non può trovare le proprie ragioni all'interno del sistema a cui essa si riferisce.
5. Nella società dell'informazione ciò che conta non è tanto l'esperienza personale acquisita dal singolo soggetto conoscente, quanto piuttosto la memoria collettiva e come essa riesca a diventare «modificabile e osservabile» dai soggetti conoscenti.
6. L'utopia della fabbrica futura non è la perfetta conoscenza delle macchine, ma la perfetta leggibilità del loro manuale di istruzione.

E per concludere

7. Non c'è molta differenza tra una pizza e un personal computer. Entrambi sono ottenuti da una sapiente combinazione di alcuni elementi base: poco importa alla fine la quantità di mozzarella o la capacità in Megabytes dell'hard disk. Essi devono essere invece organizzati nel modo giusto e soprattutto devono giungere sul nostro tavolo come li abbiamo ordinati.

A conclusione di queste pagine vale la pena ricordare alcune considerazioni, che Italo Calvino ci propone attraverso il suo *Palomar* (Einaudi, Torino, 1983): «Nella vita del signor Palomar c'è stata un'epoca in cui la sua regola era questa: primo, costruire nella sua mente un modello, il più perfetto, logico, geometrico possibile; secondo, verificare se il modello s'adatta ai casi pratici osservabili nell'esperienza; terzo, apportare le correzioni necessarie perché modello e realtà coincidano. [...] Per costruire un modello - Palomar lo sapeva - occorre partire da qualcosa, cioè bisogna avere dei principi da cui far discendere per deduzione il proprio ragionamento. [...] La costruzione d'un modello era dunque per lui un miracolo d'equilibrio tra i principi (lasciati nell'ombra) e l'esperienza (inafferrabile), ma il risultato doveva avere una consistenza molto più solida degli uni e dell'altra. [...] La regola del signor Palomar a poco a poco era andata cambiando: adesso gli ci voleva una gran varietà di modelli, magari trasformabili l'uno nell'altro secondo un procedimento combinatorio, per trovare quello che calzasse meglio su una realtà che a sua volta era sempre fatta di tante realtà diverse, nel tempo e nello spazio. [...]».

Bibliografia

- J.R. Beninger, *Le origini della società dell'informazione*, Utet, Torino, 1995.
- G. Bonazzi, *Il tubo di cristallo. Modello giapponese e Fabbrica integrata alla Fiat Auto*, Il Mulino, Bologna, 1993.
- I. Braun e B. Joerges (a cura di), *Technik ohne Grenzen*, Surkamp, Frankfurt a. M., 1994.
- B. Gates, *La strada che porta a domani*, Mondadori, Milano, 1995.
- V. Marchis, *Modelli*, SEI, Torino 1987.
- V. Marchis (a cura di), *Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico, Storia delle scienze V*, Einaudi, Torino, 1995.
- D. Nora, *Les conquérants du cybermonde*, Gallimard, Paris, 1997.
- M. McLuhan, *L'uomo e il suo messaggio*, SugarCo, Milano, 1989.
- F. Pollok, *Automazione*, Einaudi, Torino, 1956.
- P. Ridolfi, *Archimede nell'industria*, Angeli, Milano, 1988.

Per il lettore che voglia approfondire il contenuto dei pacchetti software indicati nel testo, ecco alcuni indirizzi Internet.

Abaqus: www.hks.com, www.abaqus.com
Adams: www.adams.com
Alias: www.aw.sgi.com/pages/home/index.html
Autocad: www.autodesk.com
Catia: catia.ibm.com/catmain.html
Nastran: www.adage.it
Pro/e: www.proe-design.com
Radios: www.radioss.com

* Professore di Meccanica applicata e di Storia della tecnica al Politecnico di Torino, è membro di numerosi comitati del Cnr, del ministero dell'Università e della ricerca scientifica e tecnologica nonché del ministero per i Beni culturali e ambientali. È autore, tra l'altro, dei libri: *Modelli. Esperimenti di simulazione al personal computer* (1987), *Storia delle macchine, Tre millenni di cultura tecnologica* (1994), *Storia delle scienze, Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico* (1995).