

Giorgio Franceschetti\*

## L'INGEGNERIA E LA SCIENZA DELLA INFORMAZIONE

È certamente vero, e universalmente accettato, che i grandi rivolgimenti industriali, accaduti negli ultimi cinquecento anni nel mondo occidentale, sono stati resi possibili dalla nascita delle *Scienze Fisiche* (nel senso più ampio della parola), che hanno fornito modelli sempre più accurati del mondo in cui viviamo, come anche della sua intima struttura microscopica. Le leggi trovate (sarebbe forse più opportuno dire: *create*) dai Fisici hanno permesso non solo di comprendere il divenire degli accadimenti, ma anche di prevedere le conseguenze delle azioni. Questa seconda possibilità, totalmente nuova, ha contribuito nei secoli scorsi alla nascita di un nuovo segmento nella struttura sociale del mondo occidentale, la borghesia imprenditoriale, che ha utilizzato i risultati della fisica per la creazione di beni e la fornitura di servizi. E si è andata così progressivamente delineando una nuova figura operativa, quella dell'Ingegnere, elemento di raccordo tra i Fisici creatori delle leggi – e gli imprenditori – utilizzatori commerciali delle applicazioni delle stesse.

È stato ampiamente affermato che la rivoluzione industriale in Europa è stata innescata (tessitura meccanizzata, opifici, ecc.) dalla nascita della Meccanica come Scienza (Galileo, Newton, ecc.); le macchine di sollevamento e trasporto sono state rese possibili dalla creazione della Termodinamica; la sintesi di nuovi materiali parte dalle leggi della chimica; l'elet-

---

\* *Università Federico II di Napoli – Università di California a Los Angeles (UCLA).*

l'elettronica e la successiva fotonica hanno le loro fondamenta sui risultati della fisica quantistica; e le meravigliose equazioni di Maxwell, sintesi di una serie di risultati (Volta, Ampere, Faraday, Hertz, ecc.) apparentemente dissociati, hanno reso possibile il tumultuoso sviluppo delle comunicazioni (a partire da Marconi sino alle trasmissioni via satellite e in fibra ottica transoceanica sottomarina) e, negli ultimi trent'anni, dell'infomobilità. Quanto sopra risponde a un paradigma ben preciso: le scoperte dei Fisici sono utilizzate dagli Ingegneri in una serie di applicazioni. Fisici e Ingegneri hanno in comune lo strumento matematico, che utilizzano per due scopi diversi: i primi per costruire (di nuovo, forse: inventare) eleganti e appropriati modelli del mondo; i secondi, per utilizzare i modelli al disegno di apparati e sistemi innovativi. Non si vuole stabilire una priorità di importanza: si vuole solo mettere in evidenza una divisione di ruoli.

Si torni ora allo sviluppo delle comunicazioni, il tutto essenzialmente avvenuto (e ancora in essere) negli ultimi cento anni. Il motivo risulterà chiaro a valle delle considerazioni che seguono.

Le equazioni di Maxwell hanno fornito un modello elegante, rigoroso e attendibile che unifica e domina i fenomeni elettrici e magnetici: nasce il campo elettromagnetico che si propaga nello spazio libero con la velocità della luce e, in presenza di ostacoli, interagisce con questi. La costruzione del modello è di per sé un capolavoro esaltante: in occasione di una commemorazione nell'ambito della Royal Society a Londra, Plank ebbe a dire che Maxwell era una gloria non solo per la Scozia (dove era nato), nè solo per l'Inghilterra (dove si era formato), ma per il mondo intero. Ma gli ingegneri individuano un valore aggiunto nelle affascinanti equazioni: la possibilità di utilizzare le onde elettromagnetiche per comunicare a distanza; primo tra questi Marconi (non Ingegnere formalmente, ma certamente uomo d'ingegno) con le sue celebri esperienze di trasmissione oltreoceano. E, in perfetto accordo col paradigma sopra enunciato, una nuova classe di Ingegneri, quelli delle Telecomunicazioni, parte dalle equazioni citate per disegnare apparati atti a radiare e ricevere le onde elettromagnetiche: le antenne; per costruire strutture che le confinino e guidino: linee, guide d'onda e fibre; per progettare componenti indirizzati a filtrarne le frequenze: cavità elettromagnetiche; per individuare e dominare i fenomeni di propagazione in ambienti complessi: propagazione e diffrazione delle onde. Ma le onde sono solo uno strumento: esse trasportano i messaggi che vengono trasferiti dal punto di origine verso quello di destinazione. E nasce necessariamente una nuova disciplina: la *Scienza della Informazione*. Il paradigma della divisione di ruoli tra Fisici e una classe degli Ingegneri, quelli

dell'Informazione, subisce una modificazione genetica: sono adesso gli Ingegneri (in realtà la classe citata di questi) che sviluppano il modello, generano le equazioni e enunciano le proprietà della nuova Scienza.

La nascita di questa nuova Scienza si rende necessaria per dominare la quantità di informazione contenuta nei vari tipi di messaggi che possono, o debbono essere trasmessi: segnali vocali, musicali, visuali (immagini), tabellari (dati), e così via. Ma tanto presuppone per prima cosa una definizione rigorosa e quantitativa per questo nuovo oggetto: l'*Informazione*. Bisogna poi fissarne l'unità di misura, le tecniche di rilevamento, le mutue interazioni: risulta evidente la necessità di creare un modello operativo (Shannon, Wiener, Kotelnikov), che appare come un nuovo capitolo della Scienza. E si assiste a un parallelo con quanto nei secoli è accaduto nell'ambito della Fisica: in quest'ultima i modelli sono stati innescati e pilotati dagli esperimenti; nel caso dell'Ingegneria dell'Informazione dalle richieste delle applicazioni, che si configurano a loro volta in termini di esperimenti.

La strada percorsa è interessante, e vale la pena il tratteggiarla rapidamente.

Inizialmente i segnali da trasmettere sono *analogici*, variano cioè in maniera continua col trascorrere del tempo. Una prima possibile misura della informazione associata è l'ampiezza del contenuto di frequenze del segnale, la *banda*: si noti l'uso dello strumento matematico (Trasformata di Fourier), in perfetto parallelo con le procedure sistematicamente seguite dai Fisici. Ma i segnali analogici mostrano una serie di limitazioni: la più rilevante è la loro differenziazione per i vari tipi di segnali (vocali, immagini, dati, ecc.). Il passo successivo è la strutturazione non più analogica ma *numerica* (o anche *digitale*) dei vari segnali, la cui rappresentazione risulta così unificata: essi vengono strutturati in una successione di *bit*, e cioè da una successione di numeri (Pitagora ne sarebbe stato entusiasta: tutto è numero) in codice binario. Viene così individuato il *quanto* di informazione: il bit, che è l'unità di misura e, di conseguenza, può essere valutato il contenuto informativo associato a un qualsiasi tipo di segnale.

Non è però sufficiente definire in modo sistematico e rigoroso l'informazione e la sua unità elementare di valutazione: bisogna esaminare le procedure di misura e l'errore associato (l'analogo dell'esperimento pensabile, *Versuchgedanken*, dei Fisici). Il limite alla misura e ricostruzione del segnale alla sua ricezione viene individuato nel *rumore*, termico e di quantizzazione numerica, con una stretta interazione, quantitativamente formulata (Hartley-Shannon), tra potenza trasmessa, velocità di trasmissio-

ne e capacità del canale: si noti di nuovo il parallelo dell'analisi, ancorché in un differente ambito culturale, col principio di indeterminazione di Heisenberg.

Solo molto più recentemente i Fisici hanno riscoperto, indipendentemente, in larga misura il materiale scientifico sviluppato dagli Ingegneri, con formulazioni in ambito della meccanica quantistica: nasce il *qubit* (Wheeler: *it from bit*, tutto nasce dal bit). E nei più affascinanti e trasgressivi modelli, l'Universo tutto è rappresentato come un gigantesco Computer che elabora se stesso, dove anche i buchi neri sono computers compressi alla minima dimensione, che non solo inghiottono materia e radiazione (informazione), ma la riemettono (radiazione di Hawking) in forma coerentemente rielaborata (ultimo strillo, si riteneva che detta radiazione fosse del tutto incoerente). Non c'è dubbio che tutto questo sia di enorme valore. Ma l'ignorare quanto creato da tempo nell'ambito delle formulazioni degli Ingegneri dell'Informazione porta talvolta a delle ingenuità, come nel caso dell'applicazione dell'*entanglement* (correlazione spazio-temporale delle particelle) a queste recenti teorie: gli Ingegneri ne sono a conoscenza da tempo, e la teoria sviluppata ha portato alle antenne MIMO (Multiple Input Multile Output).

Il tema di questo contributo tuttavia non si esaurisce con la valutazione di quanto è accaduto: si vogliono anche esaminare le prospettive future. È questo qualcosa di molto più difficile, perché le prospettive consistono in larga misura in uno sguardo nella sfera di cristallo. Per tale motivo conviene presentare gli scenari più attraenti e intriganti, che meglio possano colpire la nostra immaginazione. A tal fine, conviene partire dal citato modello dei Fisici di un Universo come Computer che elabora se stesso.

Lo sviluppo delle comunicazioni procede tumultuosamente, senza accennare a fermarsi, nella direzione di costruire quello che viene chiamato il *Villaggio Globale*. Il villaggio, (o forse il modello del villaggio), è quello di un computer autoelaborantesi, in cui l'informazione è distribuita e si propaga su una rete, reale e virtuale, che connette sensori, computers, strumenti di controllo e di attuazione. Siamo quindi in presenza di una struttura che evolve autogestendosi, secondo regole che essa stessa elabora, e quindi di un sistema essenzialmente biologico: ci si aspetta la nascita di una nuova Scienza, che completi e unifichi i vari aspetti del settore dell'informazione: la *Biologia dell'Informazione*.

Milton Freeman afferma che i grandi Fisici si dividono in due tipi: i grandi ordinatori e i grandi disordinatori. Un grande ordinatore è stato Maxwell: ha unificato una serie di fenomeni in un unico modello che li rac-

chiude, connette e spiega. Un grande disordinatore è stato Plank, che ha scombussolato la verità assoluta della meccanica classica, dando così vita a quella quantistica. Siamo in attesa di un altro grande ordinatore (un Fisico? un Ingegnere? un Fisico-Ingegnere?) che metta ordine in questo mondo dell'Informazione, che scriva le equazioni della Biologia della Informazione.