Quaderni di Storia

2

Appunti dalle lezioni di

Storia della Tecnologia dell'Informazione

Antonio Lepschy

Edizione curata da Alessandro Beghi

IEEE
History Activity Committee
Italy Section

History Notes

Quaderni
dell'History Activity Committee
IEEE Italy Section

Notes
of the History Activity Committee
IEEE Italy Section

©2005 Antonio Lepschy
This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

To view a copy of this license, visit
https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/

Indice

Presentazione **v**

Note biografiche di Antonio Lepschy **vii**

Ricordo di Antonio Lepschy (1931 – 2005) **ix**

Premessa **3**

1 I primi sviluppi della tecnica **11**

I Lineamenti di storia della tecnica dai primordi al secolo XIX **11**

2 Un rapido sguardo alla prima rivoluzione tecnologica **19**
1 Cenni sulle trasformazioni sociali legate alla prima rivoluzione tecnologica 22
2 Cenni sull'età del ferro e sulle corrispondenti trasformazioni dell'organizzazione della società. 24
3 Tabelle riepilogative 28

3 Innovazioni e perfezionamenti nella tecnica del Medio Evo. L'avvio della seconda rivoluzione tecnologica **31**
1 Premessa 31
2 Innovazioni tecniche del periodo medioevale 33
3 Tabella riepilogativa 36

4 Breve profilo della tecnica del Rinascimento **37**
1 Premessa 37
2 Innovazioni tecniche nel periodo rinascimentale 38
3 Tabella riepilogativa 40

5 I primordi della rivoluzione industriale (1650 – 1750) **41**
1 Tabella riepilogativa 43

6 La prima fase della rivoluzione industriale (1750 - 1815) **45**
1 Considerazioni sulla scelta della periodizzazione 45
2 Alcuni aspetti caratteristici del progresso tecnico nel periodo 1750 - 1815 47
3 Tabella riepilogativa 51

7 La fase ottocentesca della rivoluzione industriale (1815 - 1900) 53
1 Tabella riepilogativa 59

8 Il Novecento e la seconda rivoluzione industriale 63
1 Tabella riepilogativa (Prima metà del XX secolo) 67

9 Gli strumenti per lo sviluppo della Tecnologia dell'Informazione nel Ventesimo Secolo: l'elettronica ed i canali di comunicazione. 71
1 L'Elettronica 71
2 Cenni sugli sviluppi dei canali di comunicazione 75

II Le tecnologie dell'informazione 71

10 Acquisizione e memorizzazione di informazioni. 77
1 Acquisizione di informazioni: strumenti e metodi di misura 77
2 Registrazione e memorizzazione 81

11 Trasmissione di informazioni: le telecomunicazioni 83
1 I primordi delle telecomunicazioni 83
2 I progressi delle telecomunicazioni nel diciannovesimo secolo. 85
3 Le telecomunicazioni nel ventesimo secolo 89

12 Elaborazione di informazioni: l'informatica 97
1 Premessa 97
2 La preistoria delle macchine da calcolo 97
3 La figura pionieristica di Charles Babbage 99
4 Il primo sviluppo degli elaboratori elettronici 101
5 Gli sviluppi dell'informatica nella seconda metà del ventesimo secolo 103

13 L'impiego dell'informazione per gestire flussi di materia e di energia: l'automazione e l'automatica 107
1 Automazione, automatica, controllo: alcune precisazioni terminologiche 107
2 Il controllo automatico a retroazione 108

Presentazione

Questa nota presenta la dispensa che Antonio Lepschy, coadiuvato da Alessandro Beghi, aveva predisposto per l'insegnamento di Storia della Tecnologia dell'Informazione da lui avviato a Padova negli ultimi anni di ruolo e nel quale aveva profuso la sua vasta cultura sugli aspetti storici delle tecnologie.

Anche dopo l'uscita di ruolo, "Toni" stava continuando a sviluppare lo scritto, dandogli crescente compiutezza, ma questo impegno è rimasto in qualche misura interrotto dalla sua prematura scomparsa.

Lo stato attuale è comunque tale da giustificarne la pubblicazione tra le Note dell'IEEE History Activity Committee, anche per onorare la memoria dello studioso e Maestro.

La dispensa vera e propria è preceduta da una nota bibliografica, in gran parte dovuta alla figlia Chiara ed apparsa in Wikipedia, e da un estratto della commemorazione letta da un suo illustre discepolo, Giovanni Marchesini, avanti all'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti il 26 novembre 2005.

Un contributo prezioso alla sistemazione finale è stato fornito da Stefano Selleri, dell'Università di Firenze.

Massimo Guarnieri
Università di Padova
Coordinatore IEEE History Activity Committee, Italy Section

Note biografiche di Antonio Lepschy

Da Wikipedia (https://it.wikipedia.org/wiki/Antonio_Lepschy)

Antonio Lepschy (Venezia, 3 ottobre 1931 – Padova, 30 giugno 2005) è stato un ingegnere ed accademico italiano. Discusse una tesi in ingegneria industriale elettrotecnica presso l'Università di Padova il 29 gennaio 1955 e, appena laureato, iniziò a svolgere attività di ricerca alla Fondazione Ugo Bordoni di Roma, dove prestò servizio per quasi cinque anni, dal 1° aprile 1955 al 31 ottobre 1959.

Fu chiamato ad un incarico di insegnamento nella facoltà di ingegneria dell'Università di Trieste alla fine del 1959, al quale seguirono altri incarichi presso la stessa Università di Trieste e, successivamente, presso le Università di Padova e Bari. Conseguì la libera docenza in Controlli Automatici nella sessione del 1961 (la prima in Italia per questo settore disciplinare) e nel dicembre del 1964 fece parte della terna di vincitori (insieme ad Antonio Ruberti ed Enzo Belardinelli) del primo concorso a cattedra bandito in Italia per la medesima disciplina.

Come professore straordinario prima e ordinario poi, tenne l'insegnamento della materia nelle facoltà di ingegneria dell'Università di Bari (anno accademico 1965/1966), dell'Università di Trieste (anni accademici dal 1966/1967 al 1969/1970) e, infine, dell'Università di Padova (dall'anno accademico 1970/1971). Presso quest'ultimo ateneo avviò e tenne, negli ultimi anni di servizio, l'insegnamento di Storia della Tecnologia per l'area dell'Ingegneria dell'Informazione, che fu uno dei primissimi in Italia su questo argomento. Nell'Università di Padova fu anche Preside della Facoltà di Ingegneria, Direttore dell'Istituto di Elettrotecnica e di Elettronica e Direttore del Dipartimento di Elettronica e Informatica.

Nell'ambito del CNR fu segretario, negli anni '50 e '60, della Commissione Nazionale per l'Automazione e di quella per l'IFAC – International Federation of Automatic Control – mentre negli anni '70 fu direttore del Laboratorio di Elettronica Industriale e, successivamente, di quello di Dinamica dei Sistemi e di Elettronica Biomedica dell'area CNR di Padova. Di questo istituto ricoprì l'incarico di presidente del Consiglio Scientifico, e il medesimo ruolo fu da lui svolto per l'Istituto di Analisi dei Sistemi e Informatica del CNR di Roma.

Fu socio dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed arti, dell'Accademia Nazionale delle Scienze – detta dei XL – e dell'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere ed Arti (già Accademia Patavina) del quale era stato presidente dal 2000 al 2003. Nell'ambito dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, fu segretario accademico della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali dal 1993 al 2003, anno nel quale è stato nominato vicepresidente

dell'istituto. Nel 2003 fu insignito della Medaglia d'oro ai benemeriti della scuola, della cultura e dell'arte dal presidente della Repubblica italiana Carlo Azeglio Ciampi.

Nel 2004 fu nominato professore emerito dell'Università di Padova.

Attività scientifica

L'attività di ricerca scientifica di Antonio Lepschy si è svolta principalmente nel campo della teoria dei sistemi e del controllo automatico e in quello delle loro applicazioni. È stato uno dei pionieri, in Italia, nello sviluppo di tali settori di ricerca e si è impegnato al fine di garantirne un'adeguata conoscenza e ricezione nel contesto della comunità scientifica e tecnica italiana. In parallelo all'attività svolta in ambito universitario, si è occupato delle relazioni fra la filosofia della scienza e le discipline di suo interesse, nonché delle possibilità di applicazione delle metodologie peculiari del proprio settore di ricerca in campi diversi da quelli squisitamente tecnici.

L'attività di studio e ricerca è documentata da circa trecento pubblicazioni, molte delle quali edite su qualificate riviste scientifiche internazionali e su pubblicazioni e collane di istituti culturali di rilevanza nazionale. Onorificenze

Medaglia ai benemeriti della scuola, della cultura e dell'arte, 9 aprile 2003

Ricordo di Antonio Lepschy (1931 – 2005)

Estratto della commemorazione tenuta da Giovanni Marchesini avanti all'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti il 26 novembre 2005

Antonio Lepschy (Toni per gli amici) iniziò ufficialmente l'attività di docente all'Università di Padova tenendo l'insegnamento di Servomeccanismi. Si trattava di un insegnamento pionieristico di Teoria dei controlli automatici, che venne proposto per la prima volta agli allievi ingegneri nell'anno accademico 1959-60. Toni, che a quel tempo lavorava alla Fondazione Bordoni a Roma, fu insieme ad Antonio Ruberti fra quelli che, in Italia, hanno costituito la prima generazione dei cultori di controlli automatici. Pionieristici furono alcuni lavori di Toni Lepschy che vennero presto inseriti nei programmi dei primi insegnamenti di controlli automatici e divennero argomento delle lezioni per gli studenti.

L'occasione per conoscere personalmente Toni Lepschy fu durante il lavoro per la mia tesi di laurea. Non era lui il relatore, ma lo divenne ben presto di fatto con i suoi consigli e suggerimenti. A quell'epoca, la sede ufficiale di lavoro di Toni Lepschy era lontana da Padova, ma egli si sottoponeva settimanalmente ad un numero imprecisato di ore di treno per potersi rifugiare a Venezia nei fine settimana e per poter anche andare a Padova e trascorrere alcune ore presso l'Istituto di Elettrotecnica, in parte poi germinato nell'attuale Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, dove aveva avviato alcuni giovani allo studio e alla ricerca nei controlli automatici. Anch'io, chiamato dal direttore Giovanni Someda, avevo cominciato a lavorare in quell'Istituto, ma in un settore molto diverso. Pur avendo avuto al liceo alcuni ottimi insegnanti, che mi avevano offerto l'opportunità di fare esperienze culturali di grande interesse, l'incontro con Toni fu per me un'esperienza nuova: compresi cosa è un maestro, quale è l'atteggiamento che un maestro vero ha nei confronti dei suoi allievi. Realizzai che la trasmissione della conoscenza da maestro ad allievo non riguarda soltanto aspetti legati alle nozioni impartite nei corsi universitari. È molto più ampia, ed è rivolta a far nascere curiosità e interessi in ogni campo del sapere, a far crescere il desiderio di confrontarsi su problemi di fondo, non solo scientifici, e a imparare a costruire un metodo per affrontarli.

Dopo alcune mie esperienze universitarie di lavoro in aree diverse dai controlli automatici, grazie anche all'intervento di Toni, entrai a far parte della cerchia dei suoi collaboratori più diretti. Toni mi aveva affidato il compito di svolgere le esercitazioni del suo corso. Toni si è subito accorto, forse lo sapeva ancor prima, che desideravo avere autonomia nel lavoro e nella scelta dei temi di ricerca e, fin dall'inizio, mi ha lasciato completa libertà. Ho capito più tardi che quello che aveva fatto derivava da una sua incredibile apertura mentale e che, invece, la norma era che i giovani venissero indotti a lavorare sui temi di ricerca del loro

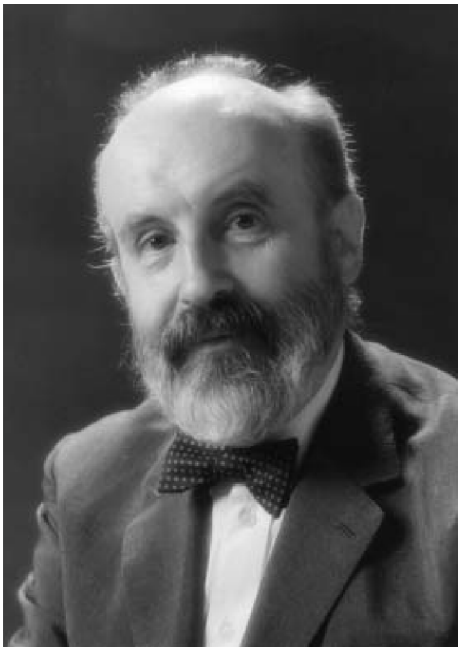

Figura 1: Antonio Lepschy (1931 – 2005) [dalla commemorazione tenuta da Giovanni Marchesini avanti all'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti il 26 novembre 2005].

capogruppo. Sentivo però che seguiva 'a distanza' i nostri sforzi, i successi conseguiti e le sconfitte subite. Ne avevo la riprova dalle domande, sempre pertinenti e documentate, che ci poneva.

Tutti coloro che in Italia si occupavano di controlli automatici e teoria dei sistemi lo conoscevano, lo ammiravano e lo amavano. Avemmo modo di constatarlo fin dall'inizio della nostra attività di ricercatori. Io non appartenevo ancora al mondo dei Controlli automatici, ma Mario Baldassarri, matematico con grandi intuizioni anche a margine della matematica pura, mi aveva chiamato a collaborare sull'idea di costituire un Centro di matematica applicata su temi vicini a quelli propri della Teoria dei sistemi. Di conseguenza partecipavo anch'io a questi seminari. Quasi sicuramente l'idea di organizzare questi incontri fu di Toni Lepschy e di Antonio Ruberti. Furono giornate veramente fondamentali per tutti noi dal punto di vista scientifico e, direi principalmente, per l'esperienza di vita in comune, fuori dalle aule, nei famosi ristoranti e ritrovi di Bressanone, con coloro che rappresentavano i nostri punti di riferimento. Primi fra questi Toni Lepschy e Antonio Ruberti che, lavorando insieme alla Fondazione Bordoni, avevano affrontato il compito di far nascere anche in Italia la ricerca nella teoria dei sistemi e del controllo. Agli incontri di Bressanone, e ad alcuni dei successivi, parteciparono anche studiosi di riconosciuta esperienza in altre discipline, attratti dall'interesse dell'iniziativa e dal suo successo. Fra questi Renzo Marenesi, che, professore al Politecnico di Torino, guidava il gruppo dei giovani ricercatori torinesi, e Francesco Barozzi. Quest'ultimo, bolognese e professore di elettrotecnica a Trieste, uomo di grande cultura e umanità, era particolarmente caro a Toni Lepschy. Li accomunavano

Figura 2: Palazzo Loredan, in Campo Santo Stefano a Venezia, sede dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti [Foto di Didier Descouens rilasciata sotto licenza CC BY-SA 4.0].

un modo di sentire comune, un ampio spettro di interessi e, in particolar modo, l'amore per il libro. Toni ricordava spesso le stimolanti e, al tempo stesso, rilassanti serate che, quando erano entrambi professori a Trieste, trascorrevano insieme ospiti, durante la settimana del medesimo albergo.

Toni apprezzava le persone di qualità e ne rispettava le opinioni, anche quando difformi dalle sue, interprete, com'era, dello spirito di Voltaire. Pensatore che conosceva molto bene e che scoprimmo di avere entrambi cominciato a leggere fin dal liceo. Detestava i mediocri, ma assai raramente lo rendeva loro intelligibile. Frequentava il Dipartimento tutti i giorni, anche quando, andato in pensione, la Facoltà, desiderosa di poter contare sul suo contributo, gli aveva attribuito un contratto di collaborazione. Rispettava con convinzione e diligenza un orario che si era imposto. Avremmo potuto regolare gli orologi sull'ora alla quale arrivava. Non lasciava però mai a metà quello che stava facendo, cosicché l'orario di uscita talvolta andava ben oltre quello che si era prefissato. Quando Toni era al lavoro, la porta del suo studio era sempre aperta. Era aperta a tutti, studenti e colleghi, che invitava ad entrare immediatamente al loro arrivo, interrompendo il lavoro che stava facendo. Tutti erano accolti amichevolmente e ricevevano l'attenzione richiesta.

La porta dello studio di Toni era aperta 'verso l'interno' per accogliere coloro che desiderassero parlare con lui; ma era aperta anche 'verso l'esterno'. Quando Toni era al lavoro, attraverso la porta aperta veniva trasmessa a tutti noi una sensazione di sicurezza e di tranquillità. Tranquillità che derivava dalla presenza di un riferimento sicuro, di un maestro sempre disponibile che, all'occorrenza, avrebbe dato risposta ai nostri dubbi e ci avrebbe rasserenato di fronte alle difficoltà. Così percepivamo la sua presenza.

Toni si interessò sempre ai problemi e alle vicende della politica. Mai per interesse personale e mai con partecipazione emotiva. La sua era un'analisi sempre molto lucida, articolata, esaustiva e con il distacco di chi, profondo conoscitore della storia, guardava alle vicende di oggi attraverso questa chiave di lettura. Ne troviamo un significativo esempio

nel testo della commemorazione di Renzo Marenesi nella quale Toni Lepschy ripercorre con estrema lucidità e essenzialità alcuni momenti che hanno caratterizzato la storia politica degli ultimi sessanta anni della nostra Repubblica. Ultimo contributo di Toni Lepschy per l'Istituto Veneto. Toni Lepschy dedicò un concreto impegno alla politica universitaria e ricoprì cariche di rilievo nella vita dell'Ateneo padovano. Fu più volte Direttore di Istituti e Dipartimenti, fu delegato del Rettore per la ricerca scientifica, Presidente della Commissione scientifica di Ateneo, Coordinatore del Nucleo di valutazione. Nel periodo nel quale fu Presidente della Commissione di Ateneo per la sperimentazione, la profonda conoscenza dei meccanismi universitari, la visione di insieme dell'Ateneo, l'alto senso dell'istituzione, la sua infinita pazienza, l'ostinazione e la capacità di mediazione, furono insostituibili nell'ideare e attuare la trasformazione dell'Ateneo di Padova in una struttura dipartimentale, come richiesto dalla legge. Non so chi altro sarebbe riuscito a portare a termine una tale impresa.

Tra le cariche prestigiose ricoperte da Toni Lepschy vi è quella di Preside della Facoltà di Ingegneria. Gli esempi di equilibrio, razionalità e serenità, dimostrati in molteplici occasioni nell'affrontare i problemi di una Facoltà complessa come Ingegneria, hanno costituito un riferimento sicuro nel periodo nel quale toccò a me ricoprire la carica di Preside. Periodo nel quale non mancarono mai i suoi preziosi consigli, che era sempre disponibile a fornire a me, come a tutti, se gli venivano richiesti. L'iniziativa non partiva mai da lui e lui, discreto consigliere, non si intrometteva mai di sua sponte. L'atteggiamento che dimostrava nel ricoprire incarichi di governo ha lasciato un profondo segno in quelli dei suoi allievi che hanno, a loro volta, assunto incarichi di governo accademici o nelle pubbliche amministrazioni: lo spirito di servizio ed il rispetto delle istituzioni. Le scelte di chi governa devono essere sempre rivolte ad ottenere il bene dell'istituzione e non quello personale o di gruppi. Le posizioni di 'potere' sono ricoperte per un tempo finito e quindi vanno lasciate. Con naturalezza. Sembra un'impostazione facilmente condivisibile da tutti in modo ovvio. Purtroppo, nella realtà dei fatti, questa regola aurea non sempre viene rispettata. Sono però convinto che quelli di noi che hanno assunto responsabilità di governo non l'hanno deluso.

Toni metteva la stessa attenzione nell'assolvere incarichi di collaborazione con prestigiose istituzioni o nel collaborare con enti di minore rilevanza. Gli impegni assunti, diceva, vanno rispettati in ogni caso, con la massima serietà.

Le festività natalizie offrivano l'occasione per scambiarci il regalo di un libro. Mi anticipava sempre nello scambio del regalo. Fin da bambino avevo l'abitudine di aprire i pacchetti dei regali il giorno di Natale, forse per vederli tutti insieme. Toni invece, premettendo di non saper resistere alla curiosità, apriva subito il pacchetto. In realtà penso che nel suo fare fosse presente anche una componente dissacratoria o, quanto meno, la volontà di non sottostare alla pressione psicologica del rito. Frequentavamo la stessa libreria e avevamo convenuto il patto che, qualora il libro regalato non ci fosse piaciuto o ne avessimo già una copia, avremmo potuto andare a cambiarlo. Ricordo con certezza di non aver mai sfruttato l'accordo. Toni superava chiunque nell'acquisto dei libri. Aveva capacità, facilità di lettura e di memorizzazione incredibili. Delle molte migliaia di libri che formano la sua biblioteca privata, ricordava con precisione il contesto nel quale l'autore aveva scritto il libro, i contenuti e non di rado era in grado di riportare le parole usate dall'autore. Toni diceva scherzosamente di essere affetto da una forma maniacale di bibliofilia. Nella realtà i libri che acquistava rappresentavano tasselli e mattoni di un edificio la cui architettura era stata da lui progettata sulla base di una precisa idea culturale. L'ampiezza di interessi era

impressionante e non ha mai cessato di sorprendermi. Ne sono parziali testimonianze gli innumerevoli interventi nelle accademie delle quali era socio, in particolare all'Istituto Veneto, nei quali le tematiche interculturali nascevano da una profonda conoscenza allo stesso tempo storico-umanistica e scientifica e dove i contenuti si fondevano armoniosamente.

Appunti dalle lezioni di

Storia della Tecnologia dell'Informazione

Antonio Lepschy

Premessa

Alcuni chiarimenti sul significato delle parole che costituiscono il titolo del corso.

Tecnica e Tecnologia

La parola italiana "tecnica" deriva dalla parola greca "*techne*", che propriamente significava arte, però in un senso molto più esteso di quello oggi prevalente in italiano per questa parola (che è quello a proposito del quale, fino a non molto tempo fa, si preferiva parlare di "belle arti").

> La stessa estensione di significato di *techne* aveva la corrispondente parola latina "*ars*", dalla quale non è derivata soltanto la parola italiana "arte" ma anche la parola "artigianato". In effetti nella Firenze medioevale (come in parecchie altre città italiane) le Arti (maggiori e minori) erano corporazioni di chi esercitava uno stesso mestiere. Del resto tuttora in molte normative si usa l'espressione "a regola d'arte" alludendo a cose a proposito delle quali, in altri contesti, si userebbe la parola "tecnica" (mentre, in campo estetico, l'orientamento oggi prevalente tende ad escludere l'esistenza di "regole" il cui impiego garantisca il conseguimento di risultati esteticamente validi). Analogamente il proverbio "impara l'arte e mettila da parte" non può che riferirsi a tecniche, di cui si apprendano le regole che, una volta apprese, costituiscono un patrimonio cui si potrà continuare a far ricorso mentre le citate posizioni oggi più largamente condivise in fatto di estetica possono ammettere l'utilità dell'apprendimento di un "mestiere" e di "tecniche" utili per consentire un più efficace conseguimento della trasmissione ad altri di proprie intuizioni o visioni ma vedono in questi strumenti ciò che hanno in comune - e non ciò che distingue l'uno dall'altro - il grande artista e l'abile operatore in campo artistico (di gran successo presso il pubblico contemporaneo ma che i posteri presto dimenticheranno).

Oggi in italiano la parola "tecnica" ha vari significati. Qui ci si atterrà a quello che riguarda le attività ingegneristiche connesse alla produzione di beni e, sempre più spesso, anche di servizi (per lo meno di un determinato tipo).

Dal punto di vista che qui interessa è certo di grande rilievo il problema del rapporto fra "scienza" e "tecnica". Si cercherà di mostrare che a lungo, nello sviluppo della sua evoluzione, la tecnica è stata indipendente dalla scienza, eventualmente fornendole temi e suggerimenti, oltre che strumenti di indagine, ma che negli ultimi due secoli questo rapporto si è invertito talché oggi non è possibile fare della buona tecnica senza solide basi scientifiche. Semplificando un po' le cose si può dire che la macchina a vapore è stata concepita, realizzata e perfezionata nel diciottesimo secolo in assenza di adeguate

basi scientifiche e che, anzi, la diffusione della macchina a vapore ha stimolato Sadi Carnot (1796 - 1832) a porre i fondamenti della termodinamica; tuttavia nel diciannovesimo secolo importanti perfezionamenti delle macchine a vapore si sono potuti conseguire solo traendo partito dalla impostazione scientifica della termodinamica. Nello stesso secolo le esperienze dei fisici nel campo dell'elettrodinamica precedono le realizzazioni dei tecnici in fatto di motori e generatori elettrici.

Un altro aspetto interessante (cui si cercherà di far cenno, pur con l'opportuna prudenza) è quello del rapporto fra la tecnica e la strutturazione della società: si tratta di un rapporto piuttosto complesso in quanto la disponibilità di certe tecniche può facilitare il passaggio da un tipo di organizzazione della società ad un altro ma, in senso inverso, il modo in cui è organizzata la società può in alcuni casi favorire il progresso tecnico, in altri rallentarlo o addirittura ostacolarlo.

Nel titolo del corso per il quale è stato predisposto il presente materiale didattico si parla però di "tecnologia" anziché di "tecnica" ed è quindi opportuno fornire alcuni chiarimenti sul motivo di questa scelta e sul significato (non privo di ambiguità) della parola "tecnologia" nei diversi contesti.

La parola "tecnologia" è relativamente recente; in italiano è documentata dal principio dell'Ottocento, con il significato di "trattato sistematico" (*-logia*) che fornisce le nozioni riguardanti una particolare tecnica di produzione (*tecno-*). Come spesso avviene nell'evoluzione delle lingue naturali, una parola inizialmente destinata ad indicare un oggetto concreto (nel caso specifico il *libro* contenente le informazioni su come operare) è passata ben presto ad indicare una nozione astratta (l'*insieme delle informazioni* che il libro forniva). Questo significato rimane nell'uso tradizionale di espressioni (che sono anche i titoli di insegnamenti di Facoltà di Ingegneria) quali "Tecnologie generali", "Tecnologie meccaniche", "Tecnologie chimiche", con cui ci si riferisce agli strumenti ed alle procedure per eseguire determinate lavorazioni e per ottenere un determinato prodotto. Si tratta di termini ormai consolidati mentre lo sono meno le espressioni (più vaghe ed anche meno diffuse) in cui il sostantivo "tecnologie" è accompagnato dagli aggettivi "elettrico" o "elettronico".

In tutti questi casi, comunque, la parola "tecnologia" ha un significato più limitato e particolare di quello di "tecnica", talché si può dire che tutti i tecnologi possono essere considerati dei tecnici ma non tutti i tecnici sono tecnologi.

Negli Stati Uniti, però, la parola inglese "*technology*" è stata usata nelle denominazioni ufficiali di istituzioni di altissimo livello culturale, primo fra tutte il Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.), dove ci si occupa di tecnica (in un senso assai più lato di quello che si è precisato per la parola italiana "tecnologia") ma anche (e forse soprattutto) di scienza. Così è avvenuto che, con riferimento a modelli di questo tipo, anche in italiano si sia preferito l'uso della parola "tecnologia" a quello della parola "tecnica" quando ci si riferisce a campi avanzati nei quali il ricorso a conoscenze scientifiche di alto livello è indispensabile. La struttura stessa della parola, con la sue desinenza in *-logia*, comune a tante scienze (ad esempio biologia, geologia, fisiologia etc.) può aver contribuito alla diffusione (che ha certamente favorito) della parola "tecnologia" nel senso (non corrispondente all'etimologia originaria) di "scienza applicata" o di "tecnica avanzata, profondamente radicata su basi scientifiche".

Con riferimento a questo uso è apparso preferibile parlare qui di *Tecnologia dell'Informazione* anziché di tecnica dell'informazione.

Informazione

La parola italiana "informazione" nell'uso corrente presenta una larga gamma di significati ma viene usata anche, in modo *tecnicizzato*, in alcuni settori particolari.

> Probabilmente il più diffuso di questi usi tecnicizzati è quello che è stato inizialmente adottato con riferimento al mondo della stampa periodica ed in particolare a quegli strumenti di diffusione di notizie (*informazioni*) che oggi vengono spesso chiamati *media* (plurale di *medium*, parola latina utilizzata anche nell'inglese corrente senza adattamenti grafici ma solo di pronuncia); l'uso è stato poi esteso agli altri strumenti che si sono affiancati alla stampa quotidiana e periodica, quali la radio, per certi aspetti anche il cinema (specialmente nelle sue forme documentaristiche e soprattutto nei cosiddetti cinegiornali) ed infine la televisione.

L'uso tecnicizzato che qui interessa è quello che si collega alla nozione scientifica di "*quantità di informazione*", messa a punto nella prima metà del ventesimo secolo e largamente utilizzata in campo applicativo soprattutto nella seconda metà di tale secolo.

La quantità di informazione è una grandezza di cui si può dare una definizione precisa (riassumibile in un formula matematica), per la quale è stata adottata un'unità di misura, il bit (con i suoi multipli) e sono stati indicati precisi procedimenti di valutazione obiettiva che consentono misurazioni ripetibili. Su questi aspetti non è il caso di soffermarci in questa sede, in quanto se ne parlerà esplicitamente nel contesto appropriato.

Si ritiene invece utile anticipare fin d'ora i vari aspetti sotto i quali l'informazione viene presa in considerazione in campo ingegneristico. Semplificando in modo drastico le cose, anche se con il rischio di qualche arbitrarietà, si può dire che l'informazione viene:

- *acquisita*, e questo è il campo delle *misure* e della relativa *strumentazione*,
- *registrata*, e questa è un'esigenza che storicamente ha dato luogo alla scrittura ed in tempi recenti alle tecniche di *registrazione* e di *memorizzazione*,
- *trasmessa*, e questo è il campo tipico delle *telecomunicazioni*,
- *elaborata*, e questo è il campo dell'*informatica* (parola italiana formata sul modello della parola francese *informatique*; nei paesi di lingua inglese è generalmente preferita l'espressione *computer science*),
- *utilizzata* però gestire flussi di materia e/o di energia e questo è il campo dell'*automatica* e delle sue applicazioni industriali per l'*automazione*, ma anche quello della *bioingegneria* (relativa alle applicazioni ingegneristiche in campo medico) ed in qualche misura anche delle cosiddette *biotecnologie*.

L'informazione è una nozione astratta, riferibile a *segnali* il cui supporto fisico è dato da grandezze che possono essere di diversa natura. Oggi per l'acquisizione e la registrazione di informazioni, per le telecomunicazioni, l'informatica e l'automazione ci si avvale soprattutto di segnali elettromagnetici e di dispositivi elettronici (mentre nel passato non è stato sempre così; ad esempio le prime macchine concepite per l'elaborazione di informazioni, cioè le calcolatrici, sono state di tipo meccanico).

È questo il motivo per il quale, nel presentare il recente sviluppo storico delle tecnologie dell'informazione non si può prescindere dai conseguimenti scientifici e dalle applicazioni tecniche nei campi

- dell'*elettronica* (dai primi tubi elettronici a vuoto, ai transistori, all'integrazione su scala sempre più vasta, cioè a dispositivi il cui studio è basato sull'ottica elettronica e sulla fisica dei semiconduttori), e
- dell'*elettromagnetismo* (in particolare dello studio dei campi elettromagnetici prima nel campo delle cosiddette radiofrequenze, poi delle microonde ed infine dell'ottica e delle sue applicazioni nelle quali il *fotone* svolge il ruolo primario che nel campo dell'elettronica compete all'*elettrone* ed a proposito delle quali si parla appunto di *fotonica*).

Non è un caso se, anche in vista delle esigenze didattiche connesse alla presentazione di una prospettiva storica, si è arrivati all'identificazione di aree che corrispondono ai cosiddetti "settori scientifico-disciplinari" (SSD) considerati dalla normativa italiana per il campo dell'Ingegneria dell'Informazione, ai cui studenti è destinato l'insegnamento al quale è relativo il presente materiale didattico. Tali settori scientifico-disciplinari sono infatti:

- Ing Inf 01 : Elettronica
- Ing Inf 02: Campi Elettromagnetici
- Ing Inf 03: Comunicazioni Elettriche
- Ing Inf 04: Automatica
- Ing Inf 05: Informatica
- Ing Inf 06: Bioingegneria Elettronica
- Ing Inf 07: Misure Elettriche ed Elettronica

Articolazione del corso e del presente materiale didattico

La tecnologia dell'informazione è un fenomeno recente, anche se in qualche settore se ne possono ravvisare precedenti in epoche piuttosto lontane.

Questa tecnologia, però, deve essere considerata come la fase attuale di uno sviluppo storico dal quale non si può prescindere se si vuole conseguire una conoscenza più significativa e completa di ciò che avviene oggi nel campo delle tecnologie dell'informazione.

Per tale motivo una prima parte del corso (e di questo materiale didattico) è dedicata ad una rapida sintesi della storia della tecnica dal paleolitico ad oggi. Ovviamente il panorama non può essere esaustivo e si è quindi ritenuto di concentrare l'attenzione:

1. sull'evoluzione degli utensili e delle macchine,
2. su ciò che è avvenuto nell'area circummediterranea e poi in quella europea ed infine anche in quella nordamericana.

L'aver trascurato la storia della tecnica di rilevantissime culture extraeuropee (particolarmente nell'area islamica, in quella indiana, in quella cinese ed in quella delle civiltà precolombiane in America) e gran parte della storia dell'ingegneria civile e della più recente ingegneria chimica non deriva da una sottovalutazione dell'importanza intrinseca e storica dei risultati conseguiti in quegli ambiti ma solo da una scelta di opportunità legata alla maggior contiguità delle problematiche legate alle "macchine" (ed agli utensili) a quelle concernenti la tecnologia dell'informazione.

Dopo questa parte preliminare si presenteranno in capitoli ad hoc le notizie relative agli sviluppi dell'elettronica, delle tecniche di acquisizione e di memorizzazione dell'informazione, delle telecomunicazioni, dell'informatica ed infine dell'automatica e dell'automazione.

Un'apposita appendice sarà dedicata a brevi considerazioni sulla storia della figura professionale dell'ingegnere e delle istituzioni in cui questa viene formata.

Parte I

Lineamenti di storia della tecnica dai primordi al secolo XIX

1 I primi sviluppi della tecnica

Secondo le stime attuali la vita sulla Terra risale a più di un miliardo di anni e la presenza dei primi ominidi ad un periodo fra l'Eocene superiore e l'Oligocene inferiore. Nel Pliocene inferiore compare in Africa l'*Australopithecus*, considerato l'anello di congiunzione fra i primati e l'uomo. In particolare l'*A. Afarensis* compare (nell'attuale Tanzania) fra 4 e 3 milioni di anni fa, l'*A. Africanus* fra 3 e 2.5 milioni di anni fa, l'*A. Robustus* fra 1,8 e 1.5 milioni di anni fa, l'*A. Boisei* fra 2.2 e 1.4 milioni di anni fa. Generalmente si concorda che tutti questi australopiteci discendano dall'Afarensis ma non c'è accordo sull'albero genealogico. Il genere *Homo* è più recente: la specie più ancestrale è l'*H. Abilis*, che compare circa due milioni di anni fa, segue l'*H. Erectus*, che compare circa 1,5 milioni di anni fa e si diffonde in Africa, Asia ed Europa. La forma più evoluta è l'*Homo sapiens*, cui appartengono l'*H. Sapiens Neanderthalensis* (che scompare fra 35.000 e 30.000 anni fa) e l'*H. Sapiens Sapiens* (che è continuato fino ad oggi).

> Gli uomini furono inizialmente cacciatori e raccoglitori, con una distribuzione di compiti in cui la caccia era affidata soprattutto ai maschi e la raccolta alle femmine, ci che ha portato ad una sostanzale distinzione fra la cultura maschile dei cacciatori e quella femminile in cui si trasmettevano i saperi relativi all'allevamento dei figli ed alla raccolta ed utilizzazione di prodotti di origine vegetale.
>
> Successivemente gli uomini divennero agricoltori e allevatori, ed infine anche artigiani e tecnici. Ci avvenne in epoche in cui non era stata ancora inventata la scritttura e sulle quali, quindi, le nostre informazioni derivano solo da reperti ben più generici dei documenti di cui, per i tempi successivi, si hanno documentazioni scritte e si parla quindi di "periodo storico", indicando in contrapposizione come "preistorica" la lunga evoluzione che lo ha preceduto.

La tradizione aveva ritenuto che, per il periodo preistorico, si potesse parlare di un'età della pietra che aveva preceduto l'età dei metalli.

Ci si rese conto, però, che l'età della pietra abbracciava un periodo troppo più lungo di quello dell'età dei metalli e che quindi era necessario introdurre distinzioni più dettagliate. Si parlò così di **paleolitico** e di **neolitico**, e fra queste due fasi venne introdotto il **mesolitico**.

Il termine "paleolitico" è stato introdotto da J. Lubbock nel 1865 per distinguere la fase della *pietra scheggiata* da quella della *pietra levigata* (neolitico). L'inizio del paleolitico viene associato alla comparsa dei primi manufatti in pietra degli Ominidi (ed alla corrispondente insorgenza di vari aspetti culturali, includenti manifestazioni artistiche e spirituali). L'origine oscilla fra 2.7 e 2 milioni di anni fa. C'è comunque da osservare che il termine "paleolitico" è relativo ad una certa forma di cultura, ad un certo "modo di vita", piuttosto che ad un periodo; dal punto di vista paletnologico l'uso del termine viene

considerato appropriato solo con riferimento all'Africa settentrionale, all'Asia occidentale e centrale ed all'Europa (per altre aree si usa una terminologia diversa). In Europa il Paleolitico si conclude con la fine dell'ultima glaciazione (Würm) circa 10.000 anni fa.

Il *Paleolitico* può venir caratterizzato dalla raccolta di vegetali e, in un primo momento, soprattutto dall'utilizzazione (parziale) di animali cacciati da altri predatori e successivamente anche dalla caccia, mentre in tale periodo sono assenti le pratiche dell'agricoltura e dell'allevamento. Esso viene distinto in due o in tre fasi: quella *inferiore* (più antica) e quella *superiore* (più recente), fra le quali taluni interpongono il paleolitico medio. Il paleolitico inferiore è caratterizzato da industrie litiche ottenute per percussione diretta, quello medio dalla lavorazione di schegge staccate da nuclei di pietra, quello superiore dall'impiego di lame di pietra sottili, ottenute con l'uso di punteruoli. Il paleolitico medio viene fatto iniziare, convenzionalmente, fra 120 000 anni fa (periodo interglaciale Riss - Würm) e 100 000 anni fa. Il paleolitico superiore corrisponde al'ultima glaciazione.

Il *Mesolitico* designa, senza un preciso vincolo cronostratigrafico, le culture postpaleolitiche che precedono la profonda trasformazione culturale ed economica del neolitico; nel mesolitico la tradizionale economia paleolitica viene integrata con la caccia più sistematica di piccoli mammiferi e di uccelli, con la pesca e con la raccolta intensiva di molluschi.

Il *Neolitico* costituisce il periodo più recente dell'età della pietra, caratterizzato dal'uso della pietra levigata (che si affianca al continuo perfezionamento della pietra scheggiata) e soprattutto dal passaggio da una economia "parassitaria" (nella quale l'uomo è cacciatore e raccoglitore) alla produzione del proprio cibo con l'allevamento del bestiame e l'agricoltura. Esso si sviluppa indipendentemente in tre siti: il Medio Oriente, l'America Centrale e gli altopiani delle Ande, il Golfo del Bengala e la Birmania. Qui si farà riferimento essenzialmente a ci che è avvenuto nel Medio Oriente, dove per altro la "neolitizzazione" è meglio conosciuta nelle sue tappe.

Il neolitico pu essere distinto in due fasi: quella del "Protoneolitico" o "Neolitico aceramico" e quella del "Neolitico ceramico".

Nel Medio Oriente i primi resti di animali addomesticati (ovini) risalgono a 11 000 anni fa (prescindendo naturalmente dal cane che aveva affiancato il cacciatore già in precedenza), le prime tracce di piante coltivate a 10 500 anni fa (cioè a circa l'8 500 a.C). Il processo di neolitizzazione dell'Europa parte dalla Grecia e dai Balcani meridionali e dal Mediterraneo centro-occidentale e dura dal settimo al quarto millennio avanti Cristo.

All'età della pietra segue l'età dei metalli, divisa a sua volta in un primo periodo, detto **età del bronzo**, ed in un periodo successivo, detto **età del ferro**. Per la fase iniziale dell'età dei metalli, durante la quale non è stato ancora ottenuto il bronzo ma già si conosce e si impiega, sia pure limitatamente, il rame e qualche altro metallo, si usa il termine **calcolitico** (ad esempio nell'espressione *culture calcolitiche*); talora in luogo del termine calcolitico si usa il termine *eneolitico*.

Il termine età (o civiltà) del bronzo (o "ènea", dall'aggettivo latino *aeneus* associato al sostantivo *aes - aeris*, parola che in latino veniva usata per indicare sia il rame, sia le sue leghe ed in particolare quella allora più dffusa e cioè il bronzo) è stato introdotto da C. J. Thomson nella letteratura paletonologica per indicare la fase intermedia fra l'età della pietra e l'età del ferro. In quanto tale non ha un valore cronologico universale poiché la lavorazione del rame e delle sue leghe, con le relative conseguenze sull'economia e sul modo di vivere, non è iniziata simultaneamente ed ha avuto esiti diversi in luoghi diversi.

Per il bacino dell'Egeo si pu parlare di "età del bronzo" nel terzo millennio a. C. (culture cicladica, cretese-micenea, elladica, di Troia); per quanto riguarda l'Italia si parla

di “Bronzo antico” (1 800 - 1 600), “Bronzo medio” (1 600 - 1 300), “Bronzo recente” (1 300 - 1 100), “Bronzo finale” (1 100 - 900).

L’impiego del ferro si è manifestato, in alcuni siti, forse fin dal 2 000 a. C. ma la vera e propria *cultura del ferro* inizia, nelle varie zone del Medio Oriente, dell’Africa Settentrionale e dell’Europa fra il 1 000 ed il 500 a. C.

> È il caso, comunque, di ribadire che non si possono adottare datazioni precise sia per l’incertezza delle testimonianze sia per il fatto che ciascuna nuova fase si è manifestata in un dato momento in certi siti e solo molto lentamente si è propagata ad altri (ancora oggi, del resto, si trovano popolazioni isolate rimaste ad una fase paleolitica).

Al periodo “preistorico” fa seguito il periodo “storico” che si può far datare, in ciascuna regione, dal primo impiego della scrittura, con la quale si affianca alla testimonianza dei reperti la documentazione scritta. A seconda delle zone geografiche (sempre nell’area del Medio Oriente e del Mediterraneo) si può partire dal 3 000 a.C., in qualche caso risalendo fino al 4 000 a.C.

> Facendo riferimento alle date finora riportate si pu dire che il paleolitico ha avuto una durata lunghissima, in buona parte occupata dal paleolitico inferiore; parlando in termini grossolani ed approssimativi al mesolitico possono essere attribuiti 5 000 o 6 000 anni ed al neolitico 2 000 o 3 000 anni all’interno dei quali, nella parte del mondo qui considerata, hanno inizio i tempi “storici”. Nell’ambito di questi l’età del bronzo prende meno di 1 000 anni, mentre l’età del ferro potrebbe essere estesa fino ad oggi, data la grande importanza che ha tuttora il ferro nella nostra tecnologia. Tuttavia per caratterizzare meglio questo lungo periodo è certamente utile introdurre al suo interno ulteriori suddivisioni. Se dunque, da un certo punto di vista, potremmo dire di essere ancora nell’età del ferro, tenendo conto di altri aspetti dovremmo caratterizzare la nostra epoca come quella dei combustibili fossili (eventualmente distinguendo all’interno di essa la prevalenza iniziale dell’impiego del carbon fossile e l’importanza successivamente assunta dall’impiego di idrocarburi).
>
> Queste considerazioni, pur nella loro incertezza, danno un’idea del progressivo “restringimento dei tempi”, e cioè del fatto che è sempre più breve l’intervallo intercorrente dal momento in cui vengono introdotte determinate tecnologie a quello in cui esse possono venir considerate obsolete. Questo “restringimento dei tempi”, che si è manifestato anche nella rivoluzione industriale degli ultimi duecentocinquant’anni ed in particolare nel caso delle recenti tecnologie dell’informazione, potrebbe per essere dovuto anche ad un effetto prospettico, cioè all’esigenza di suddividere in modo più fitto ci che è avvenuto nel periodo che ci è più vicino.

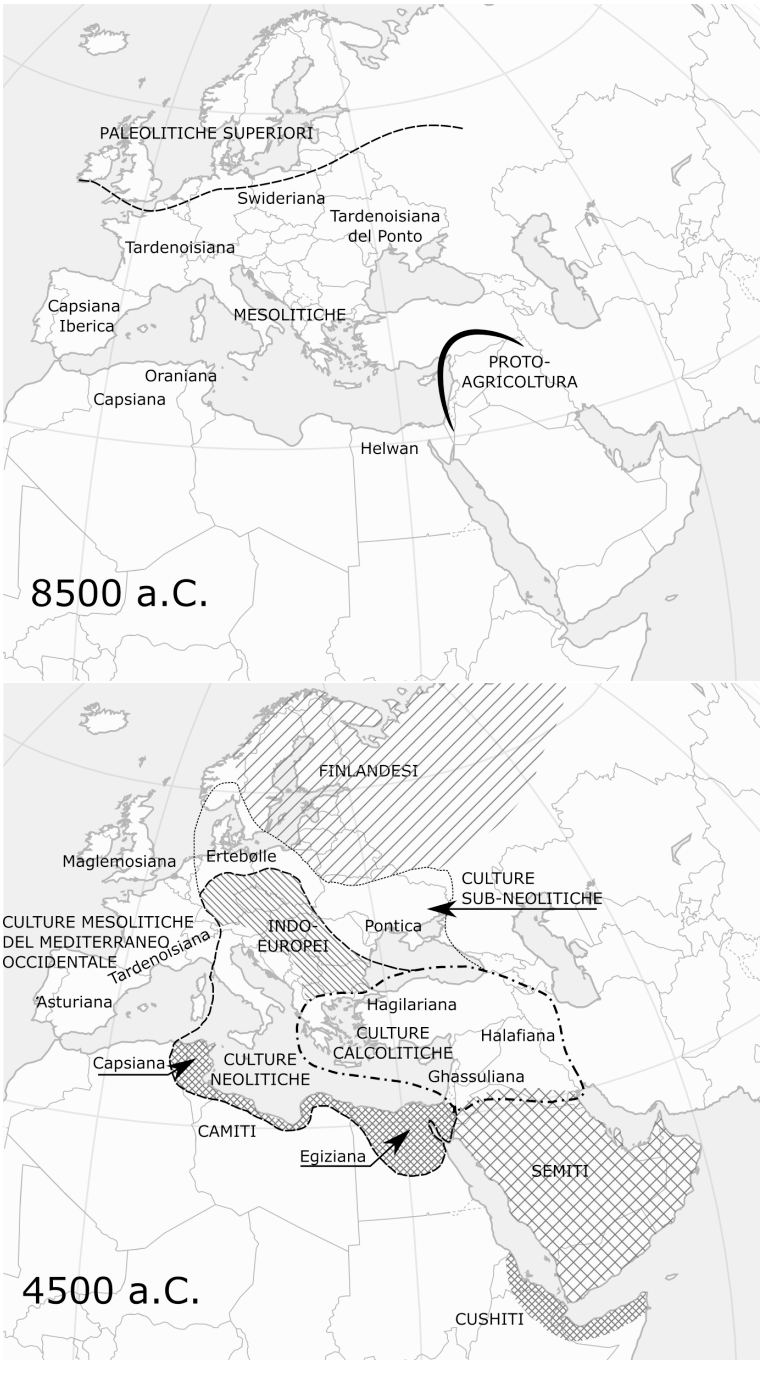

Figura 1.1: Culture: 8500 a.C. e 4500 a.C.

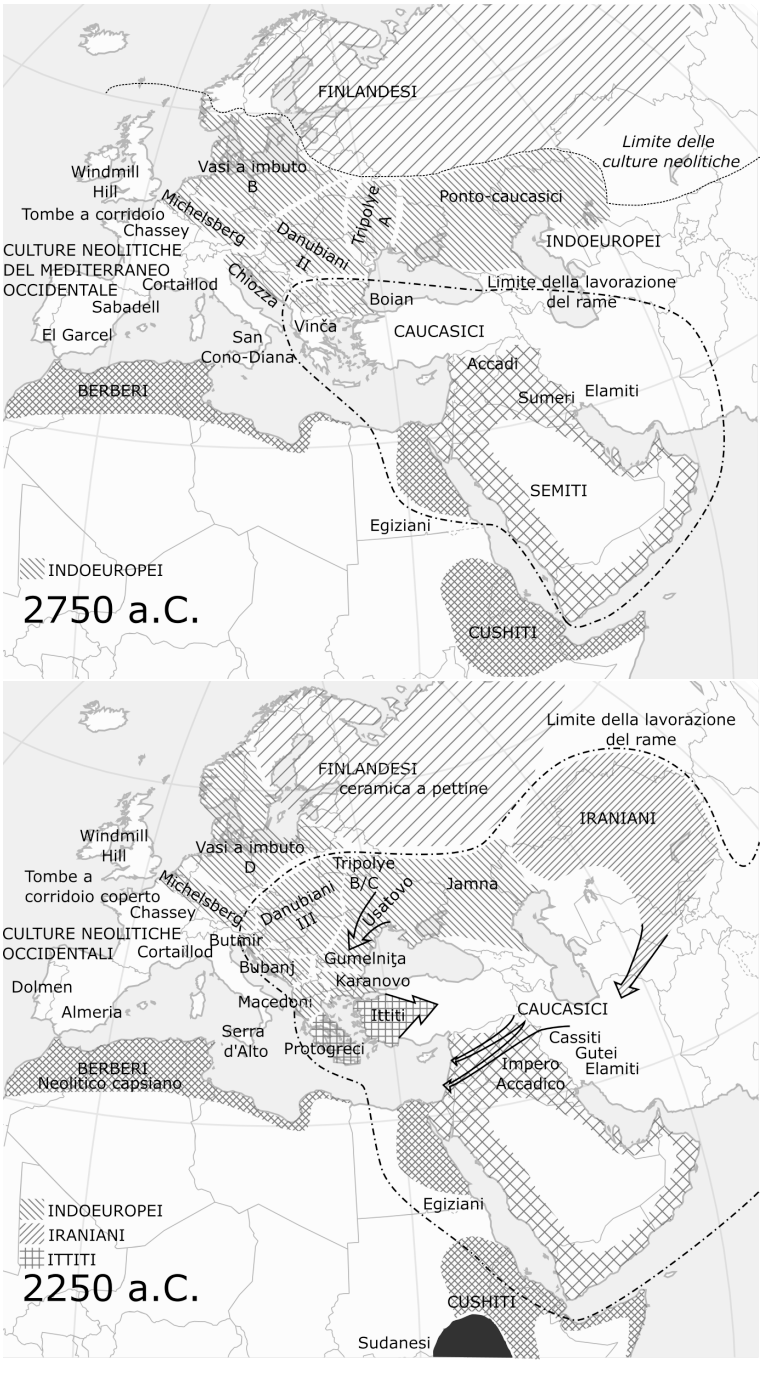

Figura 1.2: Culture: 2750 a.C. e 2250 a.C.

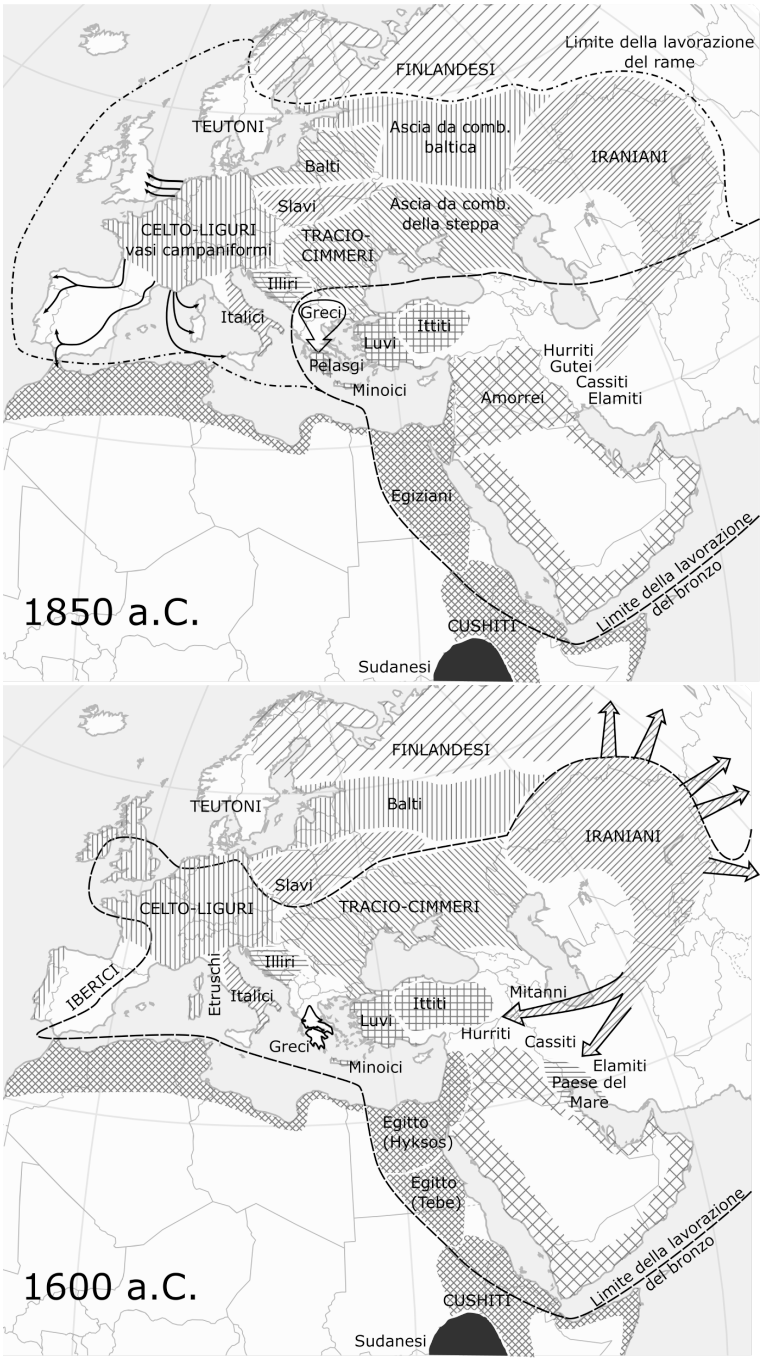

Figura 1.3: Culture: 1850 a.C. e 1600 a.C.

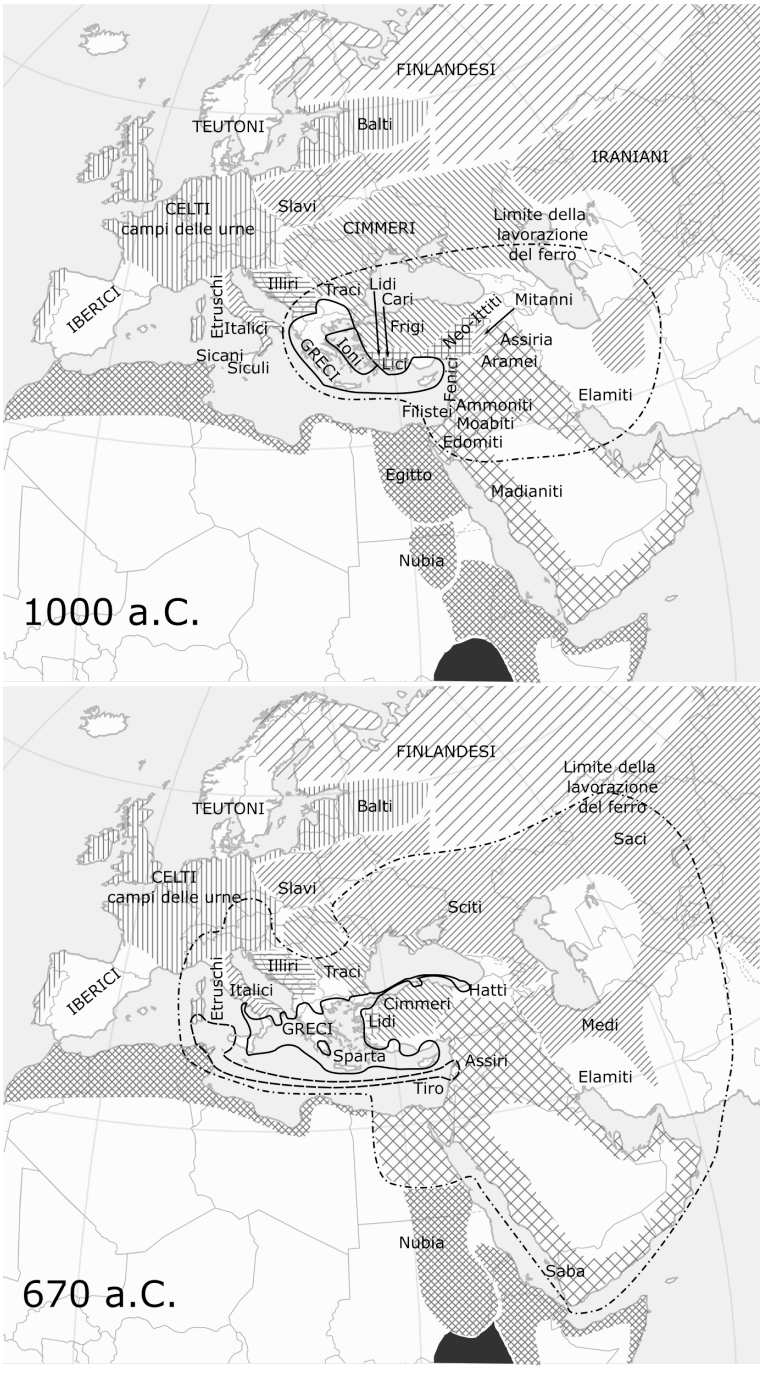

Figura 1.4: Culture: 1000 a.C. e 670 a.C.

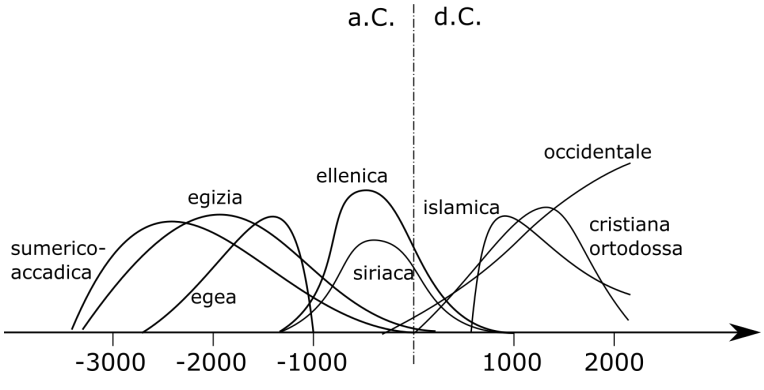

Figura 1.5: Ascesa e decadenza delle principali civiltà.

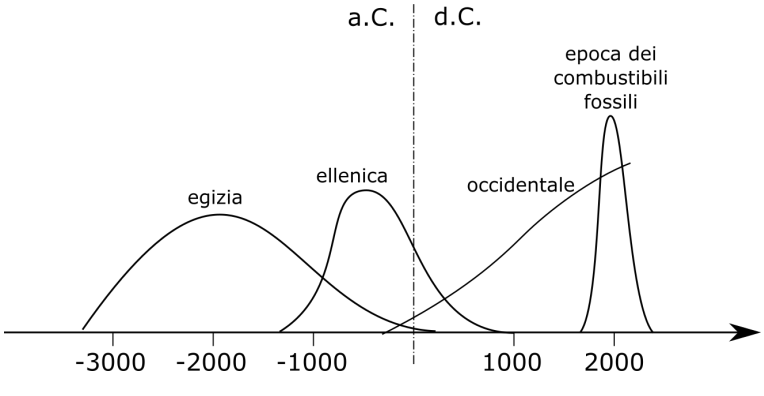

Figura 1.6: L'epoca dei combustibili fossili nel contesto dell'evoluzione culturale.

2 Un rapido sguardo alla prima rivoluzione tecnologica

Gli uomini primitivi dovevano procurarsi ciò che era loro necessario per sopravvivere con il solo aiuto delle mani e dei denti, ciò che non sarebbe certamente possibile per l'uomo moderno.

L'evoluzione che ha portato l'uomo a divenire "padrone del mondo" non si è manifestata, come per la maggior parte delle altre specie viventi, con un perfezionamento (attraverso i meccanismi di mutazione e selezione) delle sue risorse naturali ma con l'aiuto di strumenti tipicamente "artificiali": l'uomo può essere regredito in fatto di forza fisica (e, in certo senso, anche di destrezza nel servirsi, ad esempio, delle sole mani) ma in compenso ha sviluppato in maniera straordinaria le sue capacità mentali e l'abilità nell'uso con le mani di strumenti da lui stesso creati.

Nel contesto al quale siamo qui interessati, che è relativo allo sviluppo degli strumenti e delle tecniche, possiamo non prendere in considerazione ciò che si è svolto durante la maggior parte del paleolitico e limitare la nostra attenzione al **paleolitico superiore**, durante il quale l'uomo, cacciatore e raccoglitore, disponeva già di strumenti formati di pietra lavorata, legno, osso, avorio etc. quali, in particolare:

- asce, coltelli, seghe e raschiatoi in pietra,
- mazzuoli, punteruoli e pialle rudimentali,
- aghi di avorio;
- lance e fiocine per la caccia;
- armi che erano non solo clave e mazze ma anche già archi e balestre.

In proposito è da notare che l'arco può essere considerato come la prima "macchina ad accumulo di energia" e la balestra come un'applicazione della leva, che la tradizione individua come la prima delle cosiddette "macchine semplici".

Fra il paleolitico ed il neolitico si ha la cosiddetta **transizione mesolitica**, che - dal punto di vista che qui ci interessa - può essere caratterizzata dai seguenti elementi:

- perfezionamento degli arnesi per la pesca;
- perfezionamento degli utensili di carpenteria (ascia, primitivi scalpelli, primitive sgorbie);

- sviluppo di primi rudimentali mezzi di trasporto: in particolare la slitta e la canoa scavata in un tronco d'albero e mossa da pagaie.

L'inizio di forme primitive di agricoltura, con il **neolitico**, è accompagnato ed in parte reso possibile da strumenti quali:

- zappe di legno per dissodare il terreno,
- falcetti (di legno, con lama di selce) per mietere i cereali
- correggiati per battere il grano e l'orzo
- primitive macine per triturare il grano.

Lo sviluppo di questi strumenti aveva richiesto, a sua volta, strumenti ulteriormente perfezionati o anche di nuova concezione, quali in particolare:

- strumenti adatti a foggiare la zappa e la falce,
- utensili di falegnameria perfezionati (in particolare il trapano ad arco).

A questi strumenti si aggiungono cospicue novità che toccano i modi di alimentarsi e coprirsi e quindi influenzano in misura cospicua la vita associata:

- la fabbricazione di vasi di *terracotta*, usati anche per la cottura di alimenti: in precedenza la cacciagione veniva solo cotta allo spiedo (e si era trattato di un cospicuo progresso rispetto all'uso "ferino" di mangiarla cruda);
- l'invenzione del *filatoio* e del *telaio* (che inizialmente era un semplice riquadro in legno, poi perfezionato con l'aggiunta del liccio e il trattamento diverso dell'ordito e della trama); con il telaio si ha la disponibilità di tessuti che sostituiscono le pelli degli animali.

Una delle conseguenze dell'agricoltura è l'alternanza di periodi di lavori agricoli e di periodi in cui tali lavori non possono essere fatti, il che facilita, durante questi ultimi, l'impegno in attività diverse; in altri termini si ha il liberarsi di risorse che possono essere dedicate allo sviluppo tecnico.

Un altro fatto di rilievo è il primo manifestarsi di esigenze di controllo sulle risorse naturali: il "controllo della natura" è tipico, ad esempio, della **gestione di risorse idriche**, per esempio a scopi di irrigazione (e in qualche misura anche di bonifica) quale si manifesta nella cosiddetta "mezzaluna fertile" cioè nella zona del Medio Oriente, a foma di falce, che comprende la Mesopotamia e la costa siriana del Mediterraneo, così come (seppure in forme parzialmente diverse) nella valle del Nilo ed in quella dell'Indo. Ciò avviene, più o meno, fra il 5 000 ed il 3 000 a.C., con una notevole quantità di invenzioni, alcune delle quali nascono indipendentemente in luoghi diversi ed altre si diffondono da un singolo luogo di origine; si sono per manifestate anche forme diverse di diffusione, come quella in cui un'invenzione, sviluppatasi in una certa zona, viene poi a modificarsi per l'emulazione di altre invenzioni, sviluppatesi altrove, di cui si è avuta notizia diretta o indiretta.

In questo periodo sono particolarmente importanti le seguenti innovazioni:

- **primo uso di metalli**, che l'uomo impara a riconoscere, a fondere ed a foggiare,

- finimenti per gli animali, utilizzati per il trasporto o come forza motrice,
- invenzione dell'aratro (sia pure in una forma ancora primitiva),
- invenzione della ruota e costruzione di carri, che sostituiscono le slitte e il trasporto su rulli,
- adozione della vela per le imbarcazioni.

Su ciascuna di queste innovazioni si svolgeranno qui di seguito alcune considerazioni.

Per quanto riguarda i *metalli*, l'uomo viene inizialmente a contatto con il rame, disponibile (sia pure in piccole quantità) in forma pura ed utilizzato inizialmente come se fosse una selce da utensili, meno fragile e, soprattutto, malleabile, ciò che consentiva di dargli la forma voluta battendolo.

La diffusione dell'impiego di manufatti metallici (inizialmente soprattutto in rame) ha luogo grazie alla scoperta della possibilità di ottenere il metallo puro dai suoi minerali. Dalla fusione si passa poi ad una sorta di "colata" in una "forma" opportuna. Ciò avviene per la prima volta probabilmente in Mesopotamia intorno al 4 000 a.C.

È inoltre opportuno notare che la diffusione dell'impiego di manufatti metallici comporta un'organizzazione sociale più complessa: l'estrazione, prima dalla cava e poi dalla miniera, è un'operazione impegnativa, che richiede opere di sbancamento ed ha luogo in siti che, generalmente, non coincidono con quelli in cui si svolgono altre forme di attività produttiva associata: occorre quindi organizzare *sistemi di trasporto*; la fusione richiede temperature elevate che possono essere ottenute solo con forni più evoluti e con l'impiego di *mantici*; per la produzione di manufatti metallici sono necessarie operazioni di *fucinatura* e successivi lavori di *rifinitura con la lima*. Da tutto ciò consegue l'esigenza di nuove invenzioni (oltre che di perfezionamento delle vecchie) e la formazione di specializzazioni diverse: minatori, fabbri, etc. che devono essere esentati dall'attività per la produzione di ciò che è loro necessario per abitare, coprirsi e nutrirsi: è quindi la comunità che deve provvedere a questi loro bisogni, a fronte di ciò che la loro opera mette a disposizione della comunità. In questo contesto i primitivi villaggi diventano città.

Non meno importante, da questo punto di vista, è l'esigenza di addetti ai trasporti ed al commercio. In questo contesto si inquadra l'invenzione del **carro a ruote**, che è stato considerato l'invenzione più importante per l'umanità dopo l'adozione dell'agricoltura e della metallurgia. I primi veicoli a ruote compaiono intorno al 3 500 a.C.; verso il 3 000 a. C. sono già diffusi in Mesopotamia ed in Siria; raggiungono la valle dell'Indo solo intorno al 2 500 a. C. mentre il carro a ruote diventa d'uso frequente in Egitto solo alquanto più tardi.

L'impiego del carro a ruote è legato all'adozione di un sistema di **bardatura** degli animali che consenta di utilizzarli per trainare il carro. Si tratta di un'innovazione di grande importanza anche se il sistema di bardatura allora adottato (e che sarà superato solo nel Medioevo) non è molto felice, in quanto tende a soffocare l'animale, impedendogli di sviluppare il massimo sforzo.

D'altra parte la bardatura degli animali è un mezzo essenziale per sfruttare a pieno le possibilità dell'**aratro** (che a sua volta conferisce all'agricoltura uno strumento di potenzialità molto più elevate di quelle della zappa).

In proposito è da notare che con l'impiego di animali si fa ricorso per la prima volta ad una forma di energia diversa da quella sviluppata dai muscoli dell'uomo.

Un'altra forma di energia utilizzata per la prima volta nello stesso periodo è quella messa a disposizione dal vento ed usata per la **navigazione a vela**, che compare in Egitto (inizialmente per la navigazione fluviale) intorno al 3 500 a. C. ma solo intorno al 3 000 a. C. si diffonde anche per la navigazione nel Mediterraneo orientale.

Fra le altre invenzioni di questo periodo è da ricordare anche la *ruota del vasaio*.

A conclusione si vuole ulteriormente mettere in rilievo che tutte le invenzioni citate si collegano e si condizionano reciprocamente: l'uso dei metalli richiede mezzi di trasporto e la costruzione dei mezzi di trasporto richiede una carpenteria evoluta; il maggior rendimento dell'agricoltura (dovuto ad esempio all'uso dell'aratro a trazione animale) porta ad una disponibilità di eccedenze che a loro volta permettono alla società di mantenere operatori specializzati che si dedichino esclusivamente all'attività nelle miniere, all'artigianato, ai trasporti ed al commercio.

1 Cenni sulle trasformazioni sociali legate alla prima rivoluzione tecnologica

Nel paleolitico l'uomo cacciatore e raccoglitore era organizzato in tribù presso le quali si può ritenere vigesse un sistema sociale di tipo egualitario, pur con le già notate differenze fra i compiti dei maschi e quelli delle femmine e con il prestigio particolare goduto dagli elementi più anziani, in grazia della loro esperienza e della funzione di tramite fra le generazioni precedenti e quella attuale.

Con lo svilupparsi dell'agricoltura e dell'allevamento la "tribù" perde importanza rispetto alla "famiglia" ma la società neolitica resta probabilmente ancora sostanzialmente egualitaria; tuttavia le disuguaglianze di funzioni, di prestigio e di potere crescono gradualmente in quanto le nuove tecniche comportano un'organizzazione sociale diversa, tanto più marcata quando si deve procedere ad opere di regolazione idraulica per l'irrigazione, con lo scavo di canali, l'erezione di argini etc.

I villaggi a poco a poco si trasformano in città; in Mesopotamia compaiono le "città-stato" che tendono a federarsi in aggregazioni di maggiore estensione; in Egitto si costituisce uno stato centralizzato i cui sovrani formano le dinastie che danno il nome ai successivi periodi, divenendo un riferimento cronologico fondamentale.

Intorno al 3000 a. C. la trasformazione sociale si è già consolidata e si sono formate società nelle quali si contrappone una situazione al livello di sussistenza per gli schiavi e la maggioranza della popolazione ed un tenore di vita molto più elevato ed addirittura lussuoso per i re, i nobili ed i sacerdoti. Queste società sviluppano apparati burocratici e militari che ne consentono il funzionamento e ne garantiscono la sopravvivenza.

Nella ricerca delle cause che hanno portato ad una società di questo tipo si sono individuate le esigenze connesse all'organizzazione dei grandi lavori per la gestione delle risorse idrauliche ed il maggior costo della produzione di armi e di oggetti decorativi (ma anche di utensili, per altro non per l'agricoltura) in rame e poi in bronzo.

Rispetto alla condizione egualitaria primitiva la situazione della maggioranza della popolazione non è migliorata apprezzabilmente in termini assoluti (e forse, da qualche punto di vista, è addirittura peggiorata); comunque è certamente peggiorata se la si considera in termini relativi, cioè in rapporto alla condizione di vita di chi occupa le posizioni superiori nella nuova organizzazione sociale.

Tale evento può essere considerato un fatto negativo (addirittura una catastrofe) per ciò che riguarda la maggioranza della popolazione (inclusi gli schiavi); e tuttavia non la si può non considerare un passo in avanti sulla strada del progresso della specie umana.

Nell'ambito di un quadro generale si potrebbe dire che verso il 2 500 a. C. si conclude quella prima grande rivoluzione tecnologica che aveva avuto il suo massimo sviluppo fra il 5 000 a.C. ed il 3 000 a.C. e che era stata caratterizzata dall'introduzione dell'agricoltura.

Il periodo fra il 3 000 a. C. ed il 2 500 a.C. viene da alcuni considerato come una fase di perfezionamento e miglioramento di certe tecniche piuttosto che come una fase di grandi innovazioni (anche se da altri punti di vista questo modo di vedere le cose appare discutibile).

Nel campo dei perfezionamenti tecnici (specialmente per la lavorazione dei metalli) si possono citare i seguenti fatti:

- passaggio dalle pinze alle tenaglie
- introduzione dei mantici per aumentare la temperatura ottenibile nei forni
- introduzione della tecnica "a cera perduta" (il modello dell'oggetto da realizzare in metallo è eseguito in cera, ricoperta di argilla entro la quale si cola il getto di metallo fuso)
- - passaggio dal rame al bronzo (lega di rame e stagno, con caratteristiche di malleabilità e durezza superiore a quelle dei componenti); il passaggio si manifesta prima in Mesopotamia e poi in Egitto.

Più significativi sono probabilmente i progressi che rendono possibili le grandi realizzazioni costruttive; fra questi, tipicamente:

- l'impiego di leve, piani inclinati e slitte, rulli, cunei, traversine, funi;
- il ricorso a corde ed aste di misura;
- l'impiego del filo a piombo per determinare la direzione verticale;
- l'impiego di livelle ad acqua per determinare la giacitura orizzontale.

Con questi strumenti ed adatte tecniche per il loro impiego sono state costruite le piramidi; l'imponenza dell'opera si può valutare tenendo conto che i blocchi più grossi pesavano più di 300 tonnellate e che i dislivelli da superare erano notevoli. Erodoto riporta la notizia secondo la quale la costruzione della grande Piramide avrebbe richiesto l'impegno di 100 000 uomini per tre mesi l'anno per dieci anni. (ovviamente tali indicazioni non sono da considerare come dati sicuri, perché Erodoto le aveva acquisite molto dopo la costruzione delle piramidi, ma danno un'idea concreta dell'ingente sforzo richiesto dall'erezione di questi monumenti funebri).

Ovviamente opere di questa imponenza presupponevano la disponibilità di tecniche adeguate ma davano altresì l'occasione e lo stimolo per perfezionare tali tecniche.

Secondo alcuni studiosi del fenomeno, nel periodo successivo al 2.500 a. C. (o anche al 2.000 a. C.) si ha, almeno sul piano della tecnica, una fase di ristagno che dura almeno fino alla diffusione del ferro.

Taluni di questi studiosi, inoltre, ritengono che la fase di ristagno, tutto sommato, includa anche l'età del ferro e si possa estendere fino al Medioevo, cioè alla caduta dell'Impero

Romano d'Occidente (per fare riferimento ad una "cifra tonda", fino al 500 d. C.). Questa tesi può sembrare alquanto strana se si pensa che in questo periodo di supposto ristagno si collocano la civiltà greca, quella ellenistica e quella romana. Per altro, gli splendori delle civiltà citate sono dovuti soprattutto a manifestazioni artistiche, filosofiche ed anche scientifiche che, in tali epoche, non sarebbero andati in parallelo con innovazioni tecniche di uguale importanza.

Alcuni degli autori cui si è fatto riferimento tendono a dare di questo ristagno un'interpretazione di tipo sociologico: l'organizzazione della società con una grande maggioranza della popolazione (inclusi gli schiavi) in condizioni di sussistenza ed una ristretta minoranza dominante non favorisce (e forse ostacola) la diffusione di tecniche già note (per esempio l'adozione della ruota per l'aratro), o il loro perfezionamento (per esempio in fatto di bardatura di animali da tiro) perché la minoranza dominante non è coinvolta nel lavoro produttivo mentre la maggioranza dominata non ha né stimoli né risorse per sviluppare innovazioni. A conferma di ciò viene ad esempio citato il fatto che il carro a ruote è già in uso in Mesopotamia ed in Siria almeno dal 3 000 a. C. ma nell' Egitto (la cui struttura sociale è quella che meglio corrisponde alla schematizzazione che prima si è data) viene introdotto solo intorno al 1 650 a. C. A simili conclusioni si perviene considerando il ritardo dell'introduzione in Egitto dell'impiego del bronzo in luogo del rame, di quello del ferro in luogo del bronzo, dei mantici e delle tenaglie per la metallurgia etc. E, simmetricamente, si può ricordare che l'argano (utilizzato anche per le miniere) viene ideato ed adottato inizialmente presso le popolazioni dell'Europa, che vivevano in condizioni di minor "civilizzazione" (secondo il metro usualmente adottato) rispetto alla situazione dell'Egitto ma che erano organizzate in modo sostanzialmente diverso (e più vicino a quello delle società presso le quali si era sviluppata la prima rivoluzione tecnologica).

2 Cenni sull'età del ferro e sulle corrispondenti trasformazioni dell'organizzazione della società.

Dal 1 100 a. C. si hanno testimonianze sicure sull'impiego sistematico in aree abbastanza estese del ferro, che però è probabile che fosse utilizzato già da tempo, forse fin dal 2 000 a. C., presso qualche tribù armena, che però non ne rivelava le tecniche di produzione né lo commerciava.

Può essere interessante fare alcuni confronti fra l'uso del bronzo e quello del ferro per comprendere gli effetti sociali della diffusione di quest'ultimo, anche indipendentemente da effettive innovazioni negli oggetti costruiti in ferro anziché in bronzo.

Un esempio ovvio è relativo alla fabbricazione di armi: spade, lance etc. Quelle in ferro erano molto più efficienti di quelle in bronzo e davano una decisiva superiorità in campo militare a chi si serviva di armi in ferro di fronte a chi si serviva di armi in bronzo.

Però non è questo l'unico aspetto che conviene prendere in considerazione.

Molto importante infatti è la considerazione che che il bronzo, oltre a risultare mediamente più costoso, non si prestava alla fabbricazione di utensili per l'agricoltura, che quindi nell'età del bronzo rimane al livello del neolitico (anche per quanto riguarda i lavori per l'irrigazione).

Con il ferro, invece, si costruirono ben presto, oltre alle armi, anche utensili per l'agricoltura; particolarmente significativo è l'impiego della scure di ferro (con manico in legno) che consentì lavori di disboscamento altrimenti impossibili. In precedenza, infatti, per conquistare terreni alla coltivazione, le aree boschive dovevano essere incendiate ma la

soluzione non era priva di pericoli, né facilmente controllabile. Con l'abbattimento degli alberi ricorrendo alla scure, invece, non si avevano questi inconvenienti e si otteneva del materiale da costruzione (ed anche del legname da ardere).

È stato osservato che, con la civiltà del bronzo, l'artigiano doveva essere nutrito con i proventi dell'attività dell'agricoltore, senza che la sua attività fosse utile per l'agricoltura: l'artigiano dell'età del bronzo produce infatti armi, oppure utensili per l'attività della poco numerosa schiera di artigiani alla quale appartiene oppure oggetti "di lusso" per le caste superiori. Nella civiltà del ferro, invece, l'attività dell'artigiano produce, oltre alle armi e ad utensili per altri artigiani, anche strumenti utili per l'agricoltore a fronte dei beni di consumo che l'agricoltore gli procura. Il rapporto diviene così di reciprocità, anziché unidirezionale.

È stato detto, probabilmente esagerando e comunque usando termini non appropriati perché anacronistici, anche se efficaci, che il ferro, fornendo strumenti anche agli agricoltori e, comunque, contribuendo ad un abbassamento dei prezzi, costituisce un elemento di "democratizzazione" della società in quanto rende disponibile un maggior numero di beni ad un maggior numero di uomini. In effetti società che non è improprio chiamare democratiche (pur con le dovute cautele nell'uso di questo termine), come la società ateniese del'età di Pericle, nell'età del bronzo non avrebbero certo potuto organizzarsi nei modi in cui si sono storicamente organizzate in piena età del ferro.

> La civiltà nell'età del bronzo è rappresentata da culture evolute, con una notevole produzione di tipo artistico e con uno stile di vita, sia pure limitato ad una minoranza privilegiata, caratterizzato da una notevole eleganza. L'utilizzazione del ferro ha avuto luogo, inizialmente, presso popolazioni perferiche rispetto ai grandi centri culturali del Medio Oriente e del Mediterraneo, ed ha offerto loro la possibilità di un predominio militare che ha portato a profonde trasformazioni paragonate da alcuni alle cosiddette "invasioni barbariche" che caratterizzarono il passaggio dall'antichità al medio evo.
>
> Il confronto fra la civiltà del bronzo e quella del ferro è stata fatto dagli studiosi di questi periodi in base a criteri diversi. Con una schematizzazione grossolana ed inevitabilmente arbitraria i criteri in questione possono essere classificati a seconda che facciano riferimento prevalentemente alla "qualità della vita" della fascia della popolazione in cui erano accentrati il potere ed il prestigio (e, in qualche modo, anche al livello della produzione artistica) oppure alla maggiore o minore distanza da un più o meno utopistico principio di uguaglianza (se non all'interno dell'intera società almeno nell'ambito di una fascia di popolazione relativamente abbastanza numerosa) o infine alla quantità ed alla qualità delle innovazioni tecniche.
>
> Dal primo punto di vista, la fine degli aristocratici sistemi sociali tipici dell'età del bronzo, con la vita elegante e la raffinata cultura del loro ceto dominante, è visto come il crollo di una prestigiosa civiltà. Dal secondo punto di vista c'è chi ha parlato, come si ricordava, di una maggiore democraticità della civiltà del ferro. Infine dal punto di vista della storia del progresso tecnico è ragionevole ritenere che la diffusione dell'impiego del ferro lo abbia certamente promosso.

Soffermandoci sugli aspetti più direttamente legati alla storia della tecnica si pone per il problema di stabilire se, in occasione dell'impiego del ferro, si possa parlare più di miglioramenti e perfezionamenti che di vere e proprie innovazioni sostanziali. La prima ipotesi appare più convincente, tenendo conto del fatto che, già dal 500 a. C. furono realizzati strumenti più perfezionati (ma non completamente nuovi) per il carpentiere, quali

- seghe, segacci, scuri, scalpelli e trapani in ferro e più tardi, intorno alla metà del primo secolo a.C., anche
- pialle e succhielli.

Analogo discorso può essere fatto per il fabbro, cui vennnero fornite

- tenaglie a ganascia, morse, lime, mantici perfezionati, martelli in ferro e, più tardi, (dopo il 200 a.C.) anche
- incudini speciali per la fabbricazione dei chiodi e stampi per la trafilatura.

Forse più interessanti sono i progressi che in questo periodo si realizzano in campo edilizio; si dispone infatti di testimonianze risalenti al VII secolo relative all'impiego di carrucole, che consente notevoli vantaggi per le costruzioni di edifici; poco più tardi si impiega l'argano, più tardi ancora una forma primitiva di gru.

Sempre nel VII secolo a. C. compaiono mulini rotativi azionati prima dall'uomo o poi da animali (tipicamente asini) ed è la prima volta che ci si serve di animali per scopi diversi da quelli della trazione. I mulini vennero ben presto utilizzati, oltre che per i cereali, anche come frantoi per la per la produzione dell'olio e per la macinazione di minerali.

Riprendendo il discorso relativo agli influssi reciproci della tecnologia sull'organizzazione sociale e dell'organizzazione sociale sulla tecnologia, si può dire che con l'età del ferro si passa ad una situazione in cui gli artigiani ed i commercianti hanno maggiore importanza (anche numericamente) rispetto all'età del bronzo. Tuttavia anche in una società come quella greca, presso la quale si sviluppò una civiltà altissima e si ebbero esempi di organizzazione democratica che costituirono per secoli un modello di riferimento, gli schiavi, le donne e gli stranieri restavano esclusi dalla vita politica.

Per quanto l'argomento sia contestato, parecchi autori fanno riferimento anche al disprezzo del lavoro manuale tipico di quella società, ci che avrebbe contribuito al fatto che, nel suo periodo di massima fioritura, non si sia verificato un contributo apprezzabile all'innovazione tecnologica.

Differente è invece la situazione nel periodo ellenistico ed in particolare nell'Egitto dei Tolomei (ma anche nella Siria dei Seleucidi, nel regno di Pergamo e in talune città stato, in particolare a Siracusa, in Sicilia). In questo periodo che - a grandi linee - si pu collocare fra la fine del quarto secolo (morte di Alessandro Magno) e la fine del primo secolo a. C. (fine della dinastia dei Tolomei) si ebbe una grande fioritura scientifica ma in parallelo parecchi "mestieri" acquisirono un prestigio prima non conosciuto.

In proposito non si pu non citare Archimede di Siracusa, grande scienziato ma anche tecnico di eccezionale rilievo. Particolarmente importante fu la situazione di Alessandria d'Egitto, dove fiorirono tecnici di alto livello come Ctesibio e Filone di Bisanzio alla cui tradizione si collegano figure come quella di Erone matematico e fisico ma anche grande tecnico, di cui a lungo si è dibattuto in quale periodo dovesse essere collocato ma recentemente si è accertato che oper nel I secolo d. C., durante il quale l'Egitto, pur già romano, risentiva per ancora della cultura tolemaica.

Tuttavia in vari casi l'abilità e l'inventiva di questi tecnici non si rivolse alla progettazione di strumenti utili per la produzione ma a quella di ingegnosi dispositivi a scopo ludico o spettacolare (come tipicamente gli "automi" di Erone). Probabilmente diversa è la situazione nel campo della chimica dove tecnici valentissimi lavorarono in condizioni di segretezza in laboratori destinati alla produzione di tinture, di cosmetici, di profumi etc

La situazione di relativa stasi nel progresso tecnico si ripresenta nella civiltà romana in termini non troppo diversi da quelli di cui si è parlato a proposito della Grecia classica, nonostante i Romani abbiano prodotto soluzioni innovative nel campo delle costruzioni, quali l'arco, la volta, la cupola, opere grandiose quali le grandi strade, gli acquedotti, i ponti, i sistemi di organizzazione difensiva alle frontiere, le grandi arene ed i teatri etc.

Tuttavia nell'ultima fase dell'impero romano (IV e V secolo d. C.) la situazione tende a modificarsi come testimonia il fatto che allora cominciarono a diffondersi, anche nella stessa Roma, i mulini ad acqua (la ruota idraulica, per , era già stata introdotta almeno dal 100 a. C.).

3 Tabelle riepilogative

Elenco di invenzioni con datazione (documentata o presunta)

Periodo 5.500 a.C. - 4250 a.C.
Zappa
Falcetto
Macina concava
Correggiato (non articolato)
Trapano ad arco
Vasellame di terracotta
Fuso
Telaio
Utensili affilati e levigati

Periodo 4.250 a.C. - 3750 a.C.
Estrazione del rame e suoi minerali
Fusione del rame
Fucinatura del rame per lavoraz. di utensili
Getto di fusione
Lavorazione dell'argento
Lavorazione del piombo

Periodo 3.750 a.C. - 3.250 a.C.
Veicoli a ruote
Aratro
Bardature degli animali
Vela
Ruota da vasaio
Bilancia

Periodo 3.250 a.C. - 2.750 a.C
Bronzo
Mantice
Fusione a cera perduta
Utensili perfezionati per diversi tipi di attività
Noria
Tecnica edilizia (ad es. per la costruzione delle piramidi)

Periodo 2.750 a.C. - 500 d.C.[1] (in pratica, per le cose più significative, dal 1.800 a.C. al 50 a.C.)		
c. 1.800	Ruota a razze	2
r. 1.400	Fusione del ferro	3
r. 1.300	Argano	5
c. 1.100	Inizio dell'impiego del ferro	7
c.700-500	Perfezionamenti di vari utensili	10
c. 700	Puleggia	10
c. 600	Mulino a macine	5
c. 500	Cesoie da tosatura	5
r. 500	Torchio a leva	2
c. 450	Carrucola per impieghi edilizi il suo impego in primitive gru data dal 200	2
c. 450	Mulino da grano azionato da animali	5
r. 250	Coclea di Archimede	5
r. 200	Aratro pesante	5
r. 200	Incudine da chiodi	5
r. 150	Trafilatura dei metalli	5
c. 150	Noria azionata da animali	5
c. 150	Pompa premente	5
r. 100	Pialla da falegname	5
r. 80	Mulino ad acqua	10
r. 50	Torchio a vite	5

[1] In questo elenco si danno (a titolo genericamente indicativo) le date presumibili delle singole invenzioni. La sigla c. significa "circa", la sigla r. significa che la diffusione è ritardata rispetto alla prima ideazione o, più genericamente, che la diffusione a partire dalla data indicata è stata alquanto lenta.

3 Innovazioni e perfezionamenti nella tecnica del Medio Evo. L'avvio della seconda rivoluzione tecnologica

1 Premessa

Una tradizione consolidata, in particolare nell'ambito della cultura italiana, porta a considerare quelli del MedioEvo come "i secoli bui", caratterizzati da una regressione rispetto alla civiltà antica. Ovviamente tale tradizione ha i suoi fondamenti, specialmente se riferita ai secoli delle cosiddette invasioni barbariche, che in più ondate interessarono l'Europa occidentale.

Anche dal solo punto di vista della "cultura" tradizionalmente intesa questo modo di vedere le cose si può accettare, almeno parzialmente, solo tenendo conto che:

1. si prescinde completamente dall'India, dalla Cina, dalle culture dell'America centrale e meridionale;

2. inoltre, per quanto riguarda il Medio Oriente e l'Europa, il punto di vista in questione non vale per l'Impero Bizantino e per la vasta area, estesa dall'India alla Spagna, conquistata dall'Islam;

3. anche per l'Europa occidentale il discorso vale in misura assai diversa per la cultura e per la tecnica; in quest'ultimo campo, infatti, mentre le arti e le scienze non conservano i livelli del periodo precedente e molte conoscenze vengono perdute, si manifestarono ben presto interessanti segni di ripresa dopo la lunga stasi che aveva caratterizzato il periodo di maggior splendore della civiltà classica (con l'eccezione, al più, di quanto si era verificato durante il periodo ellenistico, soprattutto nell'Egitto dei Tolomei).

La tesi secondo la quale dopo il 3 000 a.C. o il 2 500 a.C: si sarebbe manifestata una stasi è sostenuta da studiosi che, in generale, sono propensi a vedere, dopo la caduta dell'Impero Romano, l'avvio di una **seconda rivoluzione tecnica**, che inizia appunto con il Medio Evo, dà frutti interessanti in periodo rinascimentale e si manifesta in tutto il suo slancio nell'età moderna e contemporanea, dando infine luogo a quella che è più appropriato chiamare la **rivoluzione industriale** (nelle sue due fasi della meccanizzazione che si sviluppa,

almeno in Inghilterra, a partire dalla metà del diciottesimo secolo, e dell'automazione che caratterizza la seconda metà del ventesimo secolo).

Pur trattandosi di un complesso di fenomeni senza vere e proprie soluzioni di continuità, per comodità di esposizione la trattazione verrà articolata facendo riferimento separatamente:

- al periodo medioevale (dal 500 d.C. al 1 450 circa),
- al periodo rinascimentale (dal 1 450 al 1 650 circa),
- ai prodromi della rivoluzione industriale (dal 1 650 al 1 750 circa),
- alla prima fase della rivoluzione industriale (dalla metà del diciottesimo alla metà del ventesimo secolo) ed
- alla seconda fase della rivoluzione industriale, caratterizzata dall'automazione e dalle tecnologie dell'informazione (nel ventesimo secolo).

Qualsiasi periodizzazione ha sempre qualche elemento di arbitrarietà; nel caso del Medioevo è abituale fissarne l'inizio alla caduta dell'Impero Romano d'Occidente (476 d. C.), anche se spesso fra l'antichità classica ed il vero e proprio medioevo si preferisce talora interporre l'epoca della "tarda antichità" (che può iniziare con la morte di Marco Aurelio e durare oltre la caduta dell'Impero d'Occidente). Per quanto riguarda la fine del Medioevo taluni fanno riferimento alla definitiva scomparsa dell'Impero d'Oriente, con la caduta di Costantinopoli conquistata dai Turchi Ottomani (1454 d. C.), altri al 1492, anno della scoperta dell'America ma anche del completamento della "Reconquista" spagnola con la presa di Granada, ultimo baluardo moresco nell'Europa occidentale; altri ancora fanno riferimento al 1494 anno della calata di Carlo VIII ed inizio delle cosiddette "guerre d'Italia", caratterizzate dalla rivalità fra Francia e Spagna che sarebbe poi continuata a lungo.

Parlando di storia della tecnica non è sempre opportuno fare riferimento ad avvenimenti, come quelli che si sono citati, che riguardano fatti di natura politica. D'altra parte mancano, almeno per la caratterizzazione dell'inizio del periodo che qui si considera, innovazioni tecniche rilevanti la cui data possa essere considerata emblematica.

Si può far così riferimento a date puramente convenzionali scegliendo come data iniziale, ad esempio, il punto centrale del primo millennio ed in particolare l'anno 500 d. C. Per la fine del Medioevo, guardando le cose dal punto di vista della storia della tecnica, si può fare riferimento al 1450 che, più o meno, coincide con l'adozione in Europa della stampa a caratteri metallici mobili. Valgono comunque, anche a questo proposito, considerazioni analoghe a quelle fatte per la diffusione delle culture mesolitiche, poi neolitiche e successivamente dei metalli: il quindicesimo secolo in Toscana presenta ben presto caratteristiche che è abituale associare alla cultura umanistico-rinascimentale mentre in altre parti d'Europa tale secolo ha ancora aspetti prevalentemente medioevali (così come in Italia nella seconda metà del sedicesimo secolo è già iniziata una fase di decadenza della cultura rinascimentale che, invece, in altre parti d'Europa è in fase ascendente).

Gli autori che amano vedere le cose in termini di una lunga stasi che dura (sia pure con vari alti e bassi) dalla civiltà del bronzo fino al Medioevo e che nel Medioevo individuano una fase di ripresa del progresso tecnologico (e l'inizio di quella che chiamano la seconda rivoluzione tecnica) sono generalmente influenzati da una visione sociologica che li porta a considerare la società schiavistica (che sorge con l'età del bronzo) come una società poco

adatta al progresso della tecnica (perché, come si è detto, le classi dominanti non sarebbero interessate alla produzione e le classi subalterne, in particolare gli schiavi, non in condizioni di contribuire al progresso tecnico) mentre la situazione si modificherebbe in maniera sostanziale con la società feudale, nella quale la scala sociale, che nella società schiavistica andava dallo schiavo all'imperatore "divinizzato", si accorcia andando dal servo della gleba al feudatario. È certamente vero che i popoli "barbari", le cui invasioni determinarono la fine dell'Impero d'Occidente, vivevano in società con caratteristiche più egualitarie di quelle della società schiavistica, tuttavia è altrettanto vero che, all'inizio del Medioevo, con la cosiddetta "economia curtense" e con il commercio molto limitato e ridotto a pochi beni essenziali, si è avuta una forte recessione della produzione. Però la difficoltà a procurarsi schiavi nella larghissima misura in cui ciò era possibile nelle società antiche porta a cercare di giovarsi di altre fonti di energia il che, a poco a poco, innesca una nuova fase di progresso tecnico.

2 Innovazioni tecniche del periodo medioevale

Un primo aspetto importante da considerare è legato ad un più intenso e sistematico sfruttamento della **energia idraulica**, con la diffusione dei *mulini ad acqua* (per altro già adottati nella fase finale del periodo precedente). Questi verranno utilizzati non solo per la macinatura dei cereali ma ben presto anche per la follatura dei tessuti di lana, per pestare il guado (che era la principale materia tintoria) e la corteccia da concia ed infine, dal tredicesimo secolo (e cioè verso la fine del periodo che si sta considerando) per azionare, in ordine di tempo, seghe per la prima lavorazione dei tronchi onde ottenerne travi ed assi, poi magli per fucinatura, mantici per le forge, ed infine, quando il periodo che si considera si sta concludendo, anche per azionare le pompe delle miniere.

Interessante è pure l'utilizzazione dell'**energia eolica**, con la diffusione, anche nell'Euopa Occidentale, dei *mulini a vento* (il cui impiego rimase però limitato ad una minore varietà di applicazioni).

Accanto a queste fonti di energia non è da trascurare, nel periodo che si considera, uno sfruttamento apprezzabilmente migliore dell'**energia animale**, con varie innovazioni che vanno dalla ferratura dei cavalli all'adozione di nuovi tipi di finimenti e di un nuovo sistema di attacco dell'animale da tiro, che non ne ostacolava più la respirazione, come avveniva, invece, con la bardatura tradizionale.

Alcuni studiosi hanno cercato di quantificare questa maggiore disponibilità di risorse energetiche con valutazioni che possono essere discutibili ma che sono certamente indicative: per esempio si è calcolato che nell'Atene del periodo classico ci fosse all'incirca uno schiavo ogni due uomini liberi così che, statisticamente parlando, un libero poteva giovarsi della forza lavoro di mezzo schiavo. Nella fase centrale del periodo che si sta ora considerando, cioè all'incirca nell'undicesimo secolo, in Inghilterra i soli mulini per la macinatura del grano mettevano invece a disposizione una forza lavoro per abitante dell'ordine di grandezza di quella di cinque schiavi del periodo classico.

Passando a considerare i vari **mezzi di trasporto**, particolarmente significativa è l'adozione, nelle navi, di un *timone di tipo moderno* (essenzialmente diverso da quello dell'antichità classica, che era sostanzialmente un remo): questa innovazione è alla base della possibilità di costruire navi di tonnellaggio più elevato ed adatte alla navigazione in alto mare, ciò che porterà alla possibilità di attraversare l'Atlantico e, quindi, alla scoperta dell'Ame-

rica, unitamente all'adozione della *bussola* la cui introduzione in Europa è tradizionalmente attribuita agli amalfitani.

Per i trasporti terrestri si ricordano ancora i vantaggi connessi ad un migliore sfruttamento dell'energia animale e, per quanto non si tratti di un mezzo di trasporto in senso stretto, si deve citare l'invenzione (o, meglio, l'introduzione in Europa) della *carriola*, che si rivela ben presto di notevole aiuto per i lavori edili e per quelli agricoli.

Le innovazioni nel campo dei trasporti marittimi e terrestri hanno conseguenze notevoli sulla società, consentendo da un lato un incremento dei commerci, che porta ad una vera e propria **rivoluzione commerciale**, e dall'altro una **centralizzazione delle attività industriali** (per esempio con il trasporto del legname dalle zone dove esso abbonda alle zone in cui la disponibilità di risorse idriche permette la realizzazione di grandi segherie per la sua lavorazione).

In campo **agricolo** le principali innovazioni riguardano la trasformazione dell'*aratro*, con l'introduzione del vomere (lama ricurva) accanto al tradizionale coltello e con l'impiego delle ruote (aratro pesante).

In campo **tessile** si hanno varie innovazioni: l'introduzione in Europa di un nuovo tipo di telaio (adottato inizialmente in Cina), il perfezionamento del fuso, l'adozione dell'arcolaio.

Nel campo della **carpenteria** (che interessa anche la costruzione di macchine, quasi tutte, all'epoca, ancora quasi completamente in legno) si adottano nuovi utensili e nuovi meccanismi: il trapano a collo d'oca, il tornio rotativo, il meccanismo a biella e manovella per la conversione di un moto alternativo in un moto rotatorio e viceversa.

Nel campo della **metallurgia** e, in genere, della lavorazione dei metalli si introducono macchine per la trafilatura (a Norimberga, intorno alla metà del quattordicesimo secolo) e laminatoi (nel secolo successivo) e si costruiscono forni perfezionati con mantici alimentati da pompe ad energia idraulica. Di particolare rilievo, in questo periodo, l'inizio della produzione di *ghisa*, che consente di ridurre le esigenze relative alle operazioni di forgiatura in quanto i pezzi possono essere ottenuti per colata.

Verso la fine del periodo medioevale si costruiscono i primi **orologi meccanici**, che sostituiscono in molte applicazioni quelli di tipo meridiana o di tipo clessidra, nonché gli orologi idraulici (il cui meccanismo è tenuto in movimento da un flusso d'acqua, anziché da pesi o da molle come negli orologi meccanici veri e propri). Gli orologi meccanici si sviluppano a partire dai "destatoi" (senza indicazione delle ore ma con la generazione di un suono per effetto del battito di una campana) utilizzati soprattutto nei conventi per chiamare i monaci alle funzioni notturne. Le prime realizzazioni risalgono al tredicesimo secolo (e di esse fa menzione anche Dante in due passi della Commedia); intorno alla metà del secolo successivo il meccanismo con il bilanciere (o il cosiddetto "foliot") e lo scappamento a verga è già perfezionato e consente realizzazioni sufficientemente precise per gli orologi da torre (che devono essere riportati all'ora esatta una volta al giorno, per esempio in corrispondenza al mezzogiorno astronomico).

Il periodo che si sta considerando si conclude con innovazioni che saranno destinate ad avere una cospicua influenza anche nel mondo della cultura: ci si riferisce alla diffusione della *carta* nell'Europa Occidentale e nell'introduzione della **stampa a caratteri metallici mobili**.

La fabbricazione della carta inizia in Cina nel primo secolo dopo Cristo, si diffonde nei paesi musulmani nell'ottavo secolo e nel dodicesimo entra in Europa, attraverso la Spagna musulmana. La carta, sostituendo il papiro e la pergamena come materiale su cui scrivere, porta ad un progresso di notevole rilevanza dati i costi notevolmente più bassi.

Anche per quanto riguarda la stampa, l'invenzione originaria è cinese ma in Occidente essa viene reinventata autonomamente intorno alla metà del quindicesimo secolo (con il quale, come si è detto, si è voluto convenzionalmente concludere – in questo contesto – il periodo medioevale). In proposito si potrebbe dire che l'invenzione della stampa è un brillante risultato della fase finale del Medioevo ma che la sua diffusione diventa una caratteristica essenziale della nuova società moderna.

Precedenti interessanti della stampa sono la xilografia (un singolo massello di legno inciso corrispondente ad un'intera pagina) e l'incisione (uno per uno) di caratteri mobili in legno. La vera novità della stampa moderna consiste nell'ottenimento per fusione di caratteri mobili metallici.

3 Tabella riepilogativa

Le date sono d. C.; le lettere c. ed r. hanno lo stesso significato dell'elenco precedente; si fa riferimento soprattutto all'Europa occidentale.

Il periodo medievale[1]	
r. 850	Bardatura da sella moderna in Europa
c. 900	Ferratura dei cavalli
r. 950	Bardatura da tiro completa in Europa (si completa dopi il 1200)
r. 1050	Correggiato articolato
c. 1105	Mulino a vento in Europa (in Persia già del 950)
r. 1147	Stozzi di legno per la stampa di maiuscole
r. 1150	Follatura a forza idraulica
r. 1150	Frantoio a forza idraulica
1195	Bussola magnetica
r. 1200	Maglio a forza idraulica
r. 1200	Sega a forza idraulica
r. 1225	Generalizzazione dell'impiego di una bardatura da tiro evoluta
1232	Orologio meccanico
r. 1250	Aratro moderno
r. 1250	Timone moderno per imbarcazioni
1272	Filatura e torcitura meccanica della seta
1289	Stampa a massello in Europa (in Cina dal 550)
1298	Filatoio
r. 1300	Saracinesche
r. 1350	Tornio
c. 1350	Trafilatrice meccanica
r. 1400	Ghisa
r. 1400	Movimento a manovella
1450	Stampa a caratteri metallici in Europa (in Corea dal 1300 circa)

[1] Si fa riferimento soprattutto all'Europa occidentale

4 Breve profilo della tecnica del Rinascimento

1 Premessa

Come si è detto sotto l'etichetta di "Rinascimento" (europeo) ci si riferirà qui al periodo di due secoli che, convenzionalmente, va dal 1450 al 1650. È una periodizzazione che ha senso per la storia della tecnica, anche se non coincide con quella valida per la storia dell'arte o della letteratura (ed in particolare per la situazione italiana).

Si tratta di un'epoca di transizione nella quale i protagonisti, non solo per la politica, sono i grandi stati nazionali (ed in particolare la Francia, la Spagna e l'Inghilterra) e passano in secondo piano i comuni urbani (che erano stati protagonisti, in Italia ed in Germania, nel periodo precedente) e, poco dopo, anche le signorie e i principati, sempre meno autonomi nel contesto della storia europea caratterizzata dai conflitti fra le "grandi potenze".

Ciò non di meno, soprattutto nella fase iniziale di questo periodo il prestigio delle tradizioni tecnico-artigianali dell'Italia e della Germania si mantiene notevole ma va a mano a mano decadendo, nel contesto politico generale, nella seconda parte del periodo considerato; in particolare la situazione dell'Italia dopo la pace di Cateau-Cambrésis (1559) è caratterizzata da un generale decadimento e nella Germania si fanno sentire gli effetti deleteri delle devastazioni delle varie guerre del '500 (connesse alla Riforma Protestante) e soprattutto della Guerra dei Trent'anni (1618 – 1648). Accanto alla Francia ed all'Inghilterra acquisiscono grande importanza (anche nel campo del progresso tecnico) i Paesi Bassi.

Una delle caratteristiche che contraddistinguono questo periodo da quello precedente è il grande interesse per le "macchine". Tipico esponente anche di questo interesse è Leonardo da Vinci (1452 – 1519) che nei suoi codici disegna un numero grandissimo di meccanismi e di macchine: in qualche caso si tratta di macchine già attuate, più spesso di macchine per le quali sono proposti sostanziali miglioramenti, in altri casi di macchine che verranno realizzate poco dopo (spesso indipendentemente dal progetto leonardesco, rimasto ignoto); molti per altro sono i casi di geniali invenzioni che però non erano realizzabili con la tecnica dell'epoca (ma che qualche secolo dopo avrebbero potuto essere attuate senza grandi difficoltà); infine non pochi sono anche i "sogni" di macchine impossibili, nel progetto delle quali, tuttavia, si ha una dovizia di suggerimenti assai interessanti, utilizzabili in contesti diversi. La maggior parte delle carte di Leonardo rimase sconosciuta fino a quando Napoleone non ne ordinò il riordino e l'inizio della pubblicazione (avendo avuto notizia che in esse erano contenuti suggerimenti di interesse in campo militare). Oggi questi codici sono stati pubblicati e continuano a stupire per la genialità di talune soluzioni ed anche per la

grande suggestione di talune proposte. L'interesse per le macchine da parte di Leonardo non era però un fatto isolato. Era comune ad altri suoi contemporanei e a studiosi e persone colte del periodo immediatamente successivo; una testimonianza di questo fatto può essere fornita dall'attenzione rivolta anche alle macchine dalla Accademia "Secretorum Naturae" che ebbe breve ma intensa vita a Napoli intorno al 1560.

Con la seconda metà del secolo sedicesimo, come effetto della diffusione della stampa e dell'espansione dei traffici, l'interesse per le tecniche e le macchine è testimoniato da trattati in cui veniva presentato lo stato di sviluppo di una tecnica o venivano illustrati vari tipi di macchine per diverse applicazioni. Fra i primi e più importanti trattati di questo periodo si cita il "*De Re Metallica*", trattato di metallurgia di Georg Bauer, che latinizzò il suo cognome in Agricola; tale trattato apparve nel 1566 e costituisce una dettagliata esposizione, basata sull'esperienza maturata in Germania, delle tecniche che interessavano la produzione di manufatti metallici, dall'estrazione del minerale, all'ottenimento del metallo, alle varie fasi della sua lavorazione.

Grande importanza ebbero anche gli elenchi illustrati di macchine e meccanismi fra i quali quelli famosi del Ramelli (1588) e dello Zonca (1607) (Agostino Ramelli era un ingegnere lombardo che lavorò a lungo in Francia, anche come ingegnere militare, al servizio del re Enrico III di Valois, Vittorio Zonca un tecnico attivo a Padova).

I trattati citati (e molti altri, anche di minor rilievo) introdussero un nuovo tipo di strumento per la formazione dei tecnici e per la diffusione delle scoperte e delle invenzioni; tale diffusione poteva ormai non avvenire più solo per tradizione orale, con l'insegnamento impartito operativamente dal maestro all'apprendista, ma poteva basarsi sullo studio di trattati che facevano conoscere all'artigiano, non più analfabeta, le basi della tecnica nei vari campi applicativi. In questo modo la formazione dei tecnici poteva aver luogo in maniera abbastanza indipendente dalla formula tradizionale in uso presso le corporazioni di tipo medioevale. Ciò renderà possibile, nell'epoca successiva, la lotta contro il sistema delle corporazioni, per la libertà di esercitare i diversi mestieri tecnici.

2 Innovazioni tecniche nel periodo rinascimentale

Progressi significativi si ebbero nel campo dell'**orologeria**; a Norimberga ed in Svizzera si cominciò a sostituire il funzionamento a pesi con quello a molla, consentendo così di ottenere anche orologi portatili (da tasca). Determinante fu l'invenzione del tamburo, che serve a regolare la scarica della molla, ed il perfezionamento del bilanciere. I progressi più significativi furono conseguiti, nel periodo considerato, con l'applicazione del pendolo, proposta da Galileo poco prima della sua morte (1641), parzialmente realizzata da suo figlio Vincenzo, e portata a livello pratico da Huygens, che se ne occupò fra il 1657 ed il 1661. Si deve notare, in proposito che la disponibilità di buoni orologi (e quelli a pendolo, per quanto precisi, non erano adatti allo scopo) era essenziale per il problema della determinazione della **longitudine**, soprattutto in mare. Come è noto il problema della latitudine è facilmente risolvibile misurando l'altezza del sole quando questo passa per il meridiano (e cioè è esattamente al sud rispetto all'osservatore); il problema della longitudine, invece, si risolve solo con il confronto fra l'ora locale del sito di cui si deve determinare la longitudine (per esempio il mezzogiorno, quando il sole attraversa il meridiano) e l'ora locale del riferimento dei meridiani (nella pratica moderna il meridiano di Greenwich); per conoscere quest'ultima era necessario disporre di un orologio, regolato sull'ora del meridiano di riferimento, che non presentasse errori apprezzabili per il periodo anche di molti mesi, se non di anni,

per il quale durava una navigazione oceanica. Molte erano state le proposte per ottenere questo risultato (lo stesso Galileo aveva ritenuto che allo scopo fosse sufficiente disporre di buone effemeridi dei pianeti medicei da lui scoperti); il risultato pratico fu ottenuto (ma nel periodo successivo a quello che qui si considera) con ulteriori progressi dell'orologeria (in particolare in Inghilterra, ma anche in Francia ed in Svizzera).

Nel campo della **tessitura** si può citare anzitutto il naspo rotativo (che unifica la filatura e l'avvolgimento sul rocchetto), disegnato da Leonardo ma realizzato praticamente nel 1530 dal tedesco Johann Juergen. Molto significativa è la costruzione di telai per nastri, realizzati nel 1579 a Danzica, dove però furono distrutti per il timore di effetti negativi sull'occupazione; successivamente, però, si diffusero nei Paesi Bassi, in Germania, in Svizzera, in Inghilterra ed in Francia. Sempre nel periodo considerato William Lee realizzò nel 1589 una macchina per eseguire lavori a maglia e furono inoltre realizzate numerose altre apparecchiature ausiliarie.

Importanti sono i contributi di questo periodo nel campo dell'**arte mineraria** e della **metallurgia** (in maggioranza di provenienza tedesca). In particolare si può citare l'utilizzazione sistematica di argani perfezionati e di montacarichi mossi da una ruota idraulica, per portare all'esterno della miniera sotterranea sia il minerale estratto, sia anche l'acqua che altrimenti avrebbe allagato i pozzi; per questo secondo fine vengono sviluppati anche vari tipi perfezionati di pompe aspiranti o prementi, nonché norie e pompe "a catena di palle" (con le quali si evitano gli inconvenienti legati all'eccessiva pressione sui tubi delle pompe prementi). Vengono altresì introdotte innovazioni nella produzione dei chiodi, in quella delle armi (artiglierie) ed in molti altri campi della metallurgia. E' interessante notare che molte delle "invenzioni" nate nel campo minerario o metallurgico trovano ben presto impiego anche in altri campi, come quelli relativi agli acquedotti, alle cartiere, alla produzione della polvere da sparo etc.

Innovazioni interessanti si hanno anche nel campo dei **mulini a vento**, in particolare con l'adozione della torretta girevole (da orientare in rapporto alla direzione del vento); in proposito può essere interessante notare che un sistema di questo tipo è suggerito da uno schizzo di Leonardo ed è illustrato nel trattato di Ramelli ma viene realizzato in concreto (e poi perfezionato) da meccanici olandesi solo alla fine del sedicesimo secolo.

Ancora ad un livello di idee piuttosto vaghe, che però cominciano a diffondersi, è lo sfruttamento della forza del **vapore**, sul quale le conoscenze scientifiche sono tutt'altro che precise. Le prime applicazioni non sono di tipo "industriale" (o preindustriale) ma si riferiscono al funzionamento di fontane e ad altri effetti spettacolari o decorativi. Tuttavia Branca nel 1629 presenta il disegno di una turbina a getto di vapore, il che dimostra come l'interesse per tale tema (e per uno sfruttamento del vapore anche ai fini della produzione) sia già vivo.

Si ritiene opportuno concludere mettendo in evidenza come in questo periodo si tenda a passare dal sistema medioevale delle corporazioni ad un sistema di produzione di tipo capitalistico più moderno. Si passa cioè, sia pure gradatamente, dalla "bottega" artigiana alla "fabbrica", dotata di adeguate macchine, che richiedono un investimento finanziario non indifferente, i cui prodotti fanno concorrenza, mettendoli alla fine fuori mercato in quasi tutti i campi, ai prodotti dell'artigiano indipendente, padrone dei suoi strumenti che lavora con l'aiuto di pochi apprendisti ed eventualmente di uno o due salariati, pagati a giornata. Alcuni di questi artigiani si organizzano per la forma di produzione più moderna con capitali, messi a disposizione da finanziatori cointeressati, che sono necessari per le spese d'impianto della fabbrica e l'acquisto del macchinario. Altri artigiani, e sono la

maggioranza, si riducono al livello di salariati nel nuovo tipo di fabbrica che, a differenza della vecchia bottega artigiana, si avvale del lavoro di parecchi operai, pagati a giornata. È proprio in questo periodo che, dall'interesse generico per le macchine, si passa alla loro adozione sistematica che determina il passaggio dai "mestieri" artigianali tradizionali a forme di industria di tipo capitalistico.

Contemporaneamente verso la fine di questo periodo il "primato" passa dall'Italia, in fase di decadenza, e dalla Germania, devastata dalla Guerra dei Trent'anni, all'Inghilterra in cui le floride attività mercantili mettono a disposizione i capitali necessari per l'avvio di un sistema industriale.

Tale primato inglese risulterà evidente nel successivo secolo di passaggio alla rivoluzione industriale (1650-1750) e poi, ancora di più, nella prima fase della vera e propria rivoluzione industriale.

3 Tabella riepilogativa

Si fa riferimento all'Europa Occidentale Le lettere c ed r conservano lo stesso significato delle tabelle precedenti

Il periodo rinascimentale (convenzionalmente 1450 – 1650)[1]	
1530	Filatoio perfezionato con naspo e pedaliera
1546	Impiego di binari nelle miniere
r. 1550	Tornio per filettare
r. 1580	Mulino a vento a torricella orientabile
1589	Macchina per maglieria
1614	Cementazione dell'acciaio
1641	Orologio a pendolo di Galileo (la versione di Huygens è del 1661)

[1] Si fa riferimento soprattutto all'Europa occidentale

5 I primordi della rivoluzione industriale (1650 – 1750)

La situazione dell'Inghilterra fino alla metà del sedicesimo secolo era relativamente arretrata nei confronti del resto dell'Europa Occidentale. Nella seconda metà di questo secolo vi si importano, molto più sistematicamente che in precedenza, nuove tecnologie e ben presto si comincia a svilupparne di nuove, i cui prodotti vengono a loro volta esportati nel continente (ma all'Inghilterra ne rimane il primato).

Particolarmente notevole è l'impegno rivolto al progresso delle costruzioni navali (che non è estraneo al successo della flotta inglese che nel 1588 si oppose alla "Invincibile Armata" spagnola che, secondo i piani di Filippo II, avrebbe dovuto consentire l'invasione delle Isole Britanniche).

Significativi, agli effetti che qui ci interessano, sono i rivolgimenti dell'ordine sociale che culminano nella rivoluzione di Cromwell (la decapitazione di Carlo I è del 1649) e, dopo la restaurazione degli Stuart, nella "*glorious revolution*" del 1688. La società inglese si libera così, almeno in parte, dai vincoli feudali e il potere passa nelle mani dei proprietari di manifatture e di coloro che esercitano l'attività commerciale su larga scala. Questa situazione determina un progresso senza precedenti dell'industria britannica e di quella delle colonie americane, che nel 1776 si renderanno indipendenti, dando luogo agli Stati Uniti d'America.

Per il periodo che, più o meno convenzionalmente, si può far andare dal 1650 (anno successivo all'esecuzione di Carlo I) fino al 1750 (data che è abbastanza frequente prendere come riferimento per l'inizio della rivoluzione industriale, per la quale è abituale dire che comincia a manifestarsi nella seconda metà del diciottesimo secolo, in Inghilterra, per poi svilupparsi su scala europea e mondiale nel diciannovesimo), non si può ancora parlare di vera e propria rivoluzione industriale ma certamente è possibile ravvisare nell'Inghilterra (e nelle sue colonie americane) di questo periodo i prodromi di tale rivoluzione, mentre nell'Europa continentale le trasformazioni sono più lente e meno appariscenti.

Uno dei problemi più significativi, anche in rapporto ai successivi sviluppi, delle applicazioni tecnologiche dell'epoca è quello del **sollevamento dell'acqua** anzitutto per il prosciugamento delle miniere ma anche per scopi irrigui e di bonifica e per l'approvvigionamento di acqua potabile.

Nel caso delle miniere si può rilevare, anzitutto, che in Inghilterra queste arrivano già ad una profondità di 120 metri intorno al 1700 ed a quella di 190 metri intorno al 1750. I pericoli di allagamento sono quindi notevoli ma l'aspetto forse più importante è quello legato alla cosiddetta "prevalenza", cioè al dislivello da superare. Si perfezionano così i vari tipi di pompe, già noti dall'antichità, e si ricorre a metodi di sollevamento successivo (le

pompe aspiranti, infatti, hanno un limite intrinseco alla possibilità di sollevamento, legata alla pressione atmosferica; un limite di questa natura non è presente nelle pompe prementi ma, in questo caso, intervengono altre limitazioni legate alla massima pressione tollerabile dalle tubazioni). Inizialmente, per l'azionamento delle pompe, si fece ricorso soprattutto all'energia animale: in proposito si può ricordare che, nella prima metà del Settecento, in una miniera potevano essere utilizzati anche 500 cavalli per l'azionamento delle pompe (e, a dimostrazione della persistenza di questa tradizione, si può ricordare che James Watt, per definire l'unità di potenza, fece appunto riferimento a quella che poteva essere sviluppata da un cavallo e che chiamò quindi *horse power*, in sigla HP).

Ben presto però si cercò di utilizzare il **vapore**, prodotto portando all'ebollizione l'acqua in una caldaia. In questo campo aveva già operato il francese Denis Papin, che aveva ideato la pentola a pressione, che da lui prese nome, e che nel 1690 realizzò una prima rudimentale macchina a vapore, che non ebbe applicazioni concrete, sia per la inadeguatezza della tecnologia meccanica dell'epoca, sia perché l'ambiente francese in cui operava era meno propizio di quello inglese in cui ben presto cominciarono a svilupparsi le macchine a vapore. La prima di queste è la macchina di Savery, del 1698, successivamente perfezionata da Worcester e concepita per il prosciugamento delle miniere, anche se non trovò significative applicazioni pratiche in questo settore. Si trattava di una macchina senza organi mobili (cioè senza uno stantuffo che si spostasse nel cilindro) ma che utilizzava, per azionare una pompa aspirante, la depressione creata dalla condensazione del vapore, ottenuta per raffreddamento. La prima vera macchina a vapore è quella di Newcomen, realizzata in vari esemplari a mano a mano migliorati fin dal 1712. In questa macchina si aveva un cilindro separato dalla caldaia; il vapore prodotto nella caldaia veniva immesso nel cilindro (ad asse verticale), tramite una valvola, e provocava il sollevamento dello stantuffo; quando questo era arrivato all'estremo superiore si chiudeva la valvola di afflusso del vapore e se ne provocava la condensazione immettendo acqua fredda, tramite un'altra valvola, nella camicia che circondava il cilindro. In tal modo lo stantuffo ridiscendeva alla base del cilindro ed a questo punto ricominciava il ciclo, con l'immissione di nuovo vapore. Le valvole venivano inizialmente aperte e poi richiuse a mano ma già nel 1713 Humphrey Potter suggerì la sostanziale miglioria che rendeva automatico il funzionamento della macchina e che consisteva nel far comandare dallo stesso stantuffo l'apertura e la chiusura della valvola di immissione del vapore nel cilindro e di quella di immissione dell'acqua fredda nella camicia che circondava il cilindro; allo scopo si utilizzò dapprima un sistema di cordicelle, sostituito poi da un sistema di leve.

La macchina di Newcomen ebbe una vastissima diffusione e continuò ad essere costruita ed impiegata fino ai primi dell'Ottocento, anche dopo che Watt aveva realizzato una macchina a vapore molto più efficiente.

Nel periodo che qui si considera si ebbero notevoli progressi anche nel campo dell'**industria tessile** (è tuttavia da rlevare che le cose più significative in questo settore si verificarono nella fase successiva). Per la tessitura si può ricordare il sistema a spola volante, introdotto da John Kay nel 1733 (ma che si diffuse piuttosto lentamente); lo stesso Kay nel 1745 progettò un telaio automatico e, più tardi, anche una macchina per la cardatura; un'altra macchina per la cardatura fu realizzata nel 1748 da Lewis Paul. Lo stesso Paul nel 1738 aveva ottenuto un brevetto per la filatura a cilindri.

In questo periodo si ebbero significative innovazioni anche nel campo dell'**agricoltura**; è da ricordare, anzitutto, la diffusione della patata, che ben presto avrebbe costituito un elemento fondamentale per l'alimentazione delle classi povere, e l'introduzione di nuovi

metodi di coltivazione a rotazione. Molto significativo è anche l'avvio, in quest'epoca, della meccanizzazione agricola: accanto all'aratro di Rotherham si debbono ricordare la seminatrice meccanica di Jetro Tull (introdotta fra il 1730 e il 1740) e la trebbiatrice di Menzies. Nella fase successiva (già dal 1802) si cominciò a ricorrere al vapore per l'azionamento di queste macchina agricole.

Infine è il caso di ricordare i continui progressi nel campo dell'**orologeria** ed in particolare, in Inghilterra, in quello della costruzione di *cronometri* da utilizzare sia negli osservatori astronomici, sia soprattutto in campo navale. Particolarmente significativi sono i cronometri costruiti da John Harrison: il primo è del 1735 ma fu solo il quarto modello di questi cronometri che consentì ad Harrison di ottenere il cospicuo premio che era stato offerto a chi avesse realizzato un orologio sufficientemente preciso (ed adatto ad essere impiegato anche su navi) consentendo così di risolvere il problema della determinazione dalla longitudine (cui si è già fatto cenno parlando del periodo rinascimentale). A questo fine il quarto cronometro di Harrison fu impiegato con notevole successo fin dal 1761 e poi nei viaggi di Cook che portarono ad un'ampia esplorazione dell'Oceano Pacifico.

1 Tabella riepilogativa

I primordi della rivoluzione industriale (convenzionalmente 1650 – 1750)	
1680	Pompa centrifuga (si diffonde dal 1818)
1680	Scappamento ad ancora negli orologi (si diffonde dal 1715)
1698	Macchina a vapore di Savery
r. 1700	Prima fabbricazione in serie (Polhem)
1712	Macchina a vapore di Newcomen
r. 1717	Fusione col coke
1733	Spola volante per i telai
1740	Acciaio fuso
1745	Telaio automatico per nastri
1748	Macchina cardatrice

6 La prima fase della rivoluzione industriale (1750 - 1815)

1 Considerazioni sulla scelta della periodizzazione

Nella seconda metà del secolo diciottesimo in Inghilterra si intensificano i fenomeni tecnologici, economici e sociali che già consentono di parlare di *rivoluzione industriale*.

Sotto vari aspetti si può dire che oggi stiamo ancora vivendo una fase di questa rivoluzione, la quale non ha subito arresti o soluzioni di continuità né nel suo sviluppo né nella sua diffusione su scala mondiale. Tuttavia l'imponenza del fenomeno suggerisce l'opportunità di frazionare questo periodo di due secoli e mezzo in fasi successive, con una periodizzazione che, come si è più volte ricordato, è inevitabilmente convenzionale e potrebbe quindi essere articolata in modo diverso se si preferisse tener conto di altri aspetti di tale complesso fenomeno.

Una prima fase viene qui individuata facendo riferimento, come momento storico che la conclude, al 1815, anno in cui, con il congresso di Vienna, si può considerare terminato il periodo che aveva visto la rivoluzione e la guerra di indipendenza americana (la dichiarazione di indipendenza è del 1776), la rivoluzione francese (che è abituale far iniziare con la presa della Bastiglia del 14 luglio 1789) e le guerre napoleoniche.

Con il 1815 si ha, sostanzialmente, la conclusione vittoriosa degli sforzi che soprattutto l'Inghilterra aveva fatto per opporsi al predominio francese ed il cui successo è dovuto anche alla ricchezza di quella nazione, conseguenza del suo primato mercantile ma anchein campo tecnico.

Con il lungo periodo di pace (fino al 1914 non ci saranno altre guerre che coinvolgano contemporaneamente tutte le grandi potenze) si sviluppano però anche nel continente europeo (e non solo nell'Inghilterra e negli Stati Uniti), e soprattutto in Belgio, in Francia ed in Germania, fenomeni imponenti di industrializzazione, che si accompagnano a profondi mutamenti politici e sociali: graduale passaggio a regimi costituzionali e poi parlamentari, unificazione nazionale in Germania ed in Italia, smembramento dell'impero turco nei Balcani; più tardi politiche imperialistiche e colonialistiche. Importante, ovviamente (anche e soprattutto in rapporto ai problemi di sviluppo tecnologico che qui si considerano), la politica economica, in cui si alternano tendenze liberistiche e tendenze protezionistiche (ovviamente le nazioni interessate all'esportazione dei loro prodotti desiderano, anche al prezzo di garantire forme di reciprocità, che le loro esportazioni non trovino ostacoli mentre le nazioni che si prefiggono una politica di industrializzazione sono interessate, quanto meno in una prima fase, a proteggere i prodotti della nascente industria nazionale dalla concorrenza di prodotti stranieri).

Un altro aspetto da tenere in conto è legato alla politica che il governo di uno stato si ripropone nei riguardi dell'industrializzazione: nei paesi, come la Gran Bretagna e gli Stati Uniti, ove questa si è autonomamente avviata prima che altrove, è stato sufficiente lasciare spazio all'iniziativa privata; in quelli che sono arrivati in ritardo si è affermata la tendenza a favorire la nascente industria con interventi pubblici di vario tipo; il problema assume comunque aspetti più complessi in rapporto alla politica degli armamenti in campo militare e navale.

È opportuno, inoltre, tener conto del fatto che durante il diciottesimo secolo l'industrializzazione si sviluppa in Inghilterra su basi empiriche, utilizzando l'intuizione, l'esperienza e l'inventiva di geniali tecnici che non hanno necessariamente solide basi scientifiche, mentre nel diciannovesimo secolo il progresso tecnologico richiede conoscenze scientifiche sempre più approfondite e quindi è influenzato anche dal tipo di politica della ricerca condotta nei vari stati (e che in Francia aveva ascendenza tradizionali: ai tempi della rivoluzione era stata promossa soprattutto da Lazare Carnot e poi aveva trovato nello stesso Napoleone un assertore); nello stesso spirito si può osservare che ai successi dell'industria tedesca nella seconda metà del secolo diciannovesimo (specialmente in campo chimico, metallurgico e meccanico) contribuisce in maniera determinante il grande livello scientifico raggiunto dalle Università di quel paese ed il loro impegno nella ricerca applicata oltre che nella ricerca pura.

Questo complesso di considerazioni giustifica la scelta di trattare separatamente i fenomeni tecnici ed economici che hanno luogo dal 1750 al 1815 da quelli del periodo successivo.

Quest'ultimo costituisce una seconda fase della rivoluzione industriale, che abbraccia sostanzialmente il secolo diciannovesimo e che si potrebbe far durare fino al 1914 (inizio della prima guerra mondiale).

Il periodo 1815-1914 si apre e si chiude con due date molto significative sul piano politico (appunto quelle del congresso di Vienna e dello scoppio della prima guerra mondiale). Per una periodizzazione più attenta agli aspetti tecnici si potrebbe però far riferimento ad una delle numerose invenzioni profondamente innovative che caratterizzano gli anni intorno al 1900 (dagli esperimenti di Marconi a quelli dei fratelli Wright, pionieri dell'aeronautica) e ad un più concreto avvio della produzione di serie, distinguendo così una fase *ottocentesca* da una fase *novecentesca*, con caratteristiche apprezzabilmente diverse fra loro.

Dopo la fase ottocentesca (che si è fatta iniziare convenzionalmente nel 1815) è infatti ragionevole prendere in considerazione una terza fase della rivoluzione industriale, che si potrebbe far terminare con la conclusione della seconda guerra mondiale (1945).

A questa si potrà far seguire una quarta fase caratterizzata, in campo tecnico, soprattutto dalle *tecnologie dell'informazione e dall'automazione* (fase che non sembra sia il caso di considerare conclusa con l'avvio del ventunesimo secolo).

In definitiva, quindi, per comodità di trattazione si ritiene utile dividere il periodo della rivoluzione industriale, dopo i suoi primordi inglesi (1650-1750) in:

- una prima fase (sempre di netto predominio britannico) che va dal 1750 al 1815;
- una seconda fase che va dal 1815 ad una data che, più o meno arbitrariamente, si può scegliere intorno al 1900, durante la quale l'industrializzazione si estende in buona parte del continente europeo;
- una terza fase che corrisponde alla prima metà del ventesimo secolo;

- - una quarta fase per la quale non vi sono elementi che inducano a considerarne prossima la conclusione ed in cui nel campo delle tecnologie dell'informazione si hanno innovazioni particolarmente significative.

2 Alcuni aspetti caratteristici del progresso tecnico nel periodo 1750 - 1815

Nell'Inghilterra di questo periodo si hanno importanti fenomeni che riguardano l'**industria tessile** (e che erano stati anticipati da interessanti realizzazioni della prima metà del secolo diciottesimo). Si può notare, anzitutto, che aumenta apprezzabilmente la richiesta di filato, rendendo necessario sostituire la produzione domestica tradizionale con forme di produzione industriale. Dopo il brevetto di Paul del 1738 relativo, come si è ricordato, ad un filatoio a cilindri, si devono citare il filatoio di Hargreaves del 1764 (perfezionato nel 1768), quello di Arkwright del 1769 e quello di Crompton, del 1799, che riunisce le migliori caratteristiche dei modelli precedenti.

La maggior disponibilità di filato stimola l'innovazione in campo tessile: dopo il già citato telaio automatico di Kay, del 1745, si debbono ricordare il modello migliorato di Barber, del 1774, e soprattutto quello di Cartwright, del 1787, che costituisce un progresso molto rilevante; successivi perfezionamenti sono dovuti ad Austen (1789), a Radcliff (1802), a Johnson (1803, 1805) ed a Horrocks (1810).

Un contributo importante che viene dalla Francia è il telaio Jacquard, per le stoffe operate, che è del 1804.

Sempre in campo tessile, per questo periodo si possono citare le macchine per la stampatura del cotone (Bell, 1803), a proposito delle quali è da ricordare la grande diffusione che ebbero per tutto l'Ottocento i tessuti di cotone stampati. Un altro contributo significativo è dato dalle macchine per la rasatura, realizzate negli Stati Uniti dal 1792.

A seguito di queste innovazioni tecniche, l'esportazione dell'industria tessile inglese in meno di due secoli (dal 1700 al 1870) aumenta di circa 3000 volte. Successivamente però si fa sentire la concorrenza di altri paesi industrializzati.

Nel periodo considerato (1750 - 1815) l'evoluzione tecnologica di cui si è detto dà luogo ad effetti importanti in campo sociale: gli artigiani autonomi non possono sostenere la concorrenza degli opifici e si riducono a salariati presso la stessa industria tessile; l'impiego delle macchine crea inizialmente una forte disoccupazione ed episodi (di cui si dirà parlando del periodo successivo) di distruzione di impianti; l'aumento della produzione tende però a riassorbire la manodopera disoccupata, ma ciò avviene attraverso fenomeni di tipo ciclico.

Le esigenze dell'industria tessile, ma anche quelle dell'industria del vasellame, dell'industria molitoria e, soprattutto, dell'industria pesante determinano una crescente richiesta di notevoli quantità di energia, cui si fa fronte soprattutto ricorrendo al **vapore**.

Questo, per altro, non costituisce l'unica soluzione in quanto nel periodo in esame si hanno apprezzabili innovazioni anche nelle ruote ad acqua e nei mulini a vento, per i quali Meikle introduce il governale e Cubitt, nel 1807, un meccanismo per regolare l'inclinazione delle pale.

Nel campo delle macchine a vapore continua ad essere largamente impiegata la macchina di Newcomen, che Smeaton perfeziona nel 1796. I contributi maggiori si debbono però all'opera di James Watt che realizza macchine che consentono concretamente lo sfruttamento industriale dell'energia prodotta.

Un problema importante era quello posto dall'esigenza di trasformare il moto alternativo delle macchine funzionanti a stantuffo nel moto rotativo di un albero. Una prima soluzione, ovviamente non pratica, era stata cercata sollevando acqua con una macchina tipo Newcomen per azionare con tale acqua una ruota idraulica. La soluzione più idonea fu trovata con il meccanismo a biella e manovella (il cui principio era già noto ma che fu brevettato da Pickard nel 1779 ed utilizzato da Watt per le sue motrici). Le innovazioni sostanziali rispetto alla macchina di Newcomen introdotte da Watt possono essere elencate come segue:

1765 *separazione del condensatore dallo stantuffo*, che così poteva essere mantenuto sempre a temperatura elevata (mentre nella macchina di Newcomen doveva venire ogni volta raffreddato e riscaldato),

1788 impiego del *regolatore di velocità cenrifugo* (a sfere rotanti),

1796 – adozione di un *indicatore di pressione*.

Le macchine a vapore di Watt rimangono, comunque, a pressione piuttosto bassa, ma i progressi della siderurgia consentono ben presto di utilizzare pressioni più alte (con un migliore rapporto potenza/volume) e ciò avviene con Trevithick in Inghilterra e con Evans negli Stati Uniti.

Altri perfezionamenti consistettero nell'adozione della doppia espansione del vapore in due successivi cilindri (macchine *compound*); la prima realizzazione, del 1784, è dovuta ad Hornblower ma l'impiego pratico si ebbe solo dal 1804, con i miglioramenti adottati da Woolf.

Con i perfezionamenti indicati le macchine a vapore furono adottate successivamente per vari tipi di applicazione. A questo proposito si può citare nel 1776 il loro impiego per l'azionamento di mantici nei forni delle ferriere Carron, nel 1777 l'impiego per l'azionamento dell'idrovora in una miniera della Cornovaglia, nel 1784 l'impiego per un maglio, nel 1785 quello in un mulino per la macinazione del grano; dal 1787 si hanno infine impieghi anche nel campo dell'industria tessile, destinati ben presto ad uno sviluppo crescente (tanto che nel 1850 l'energia termica utilizzata in tale industria raggiungerà un valore sette volte maggiore di quella idraulica).

Altri importanti impieghi della macchina a vapore si sono avuti nel campo della **navigazione** (inizialmente per la navigazione "interna", cioè su canali, fiumi e laghi, soprattutto negli Stati Uniti, ed in un secondo momento anche per la navigazione marittima ed in particolare oceanica). In questo campo furono fatti molti tentativi fra il 1785 ed il 1793, inizialmente concependo varie e curiose soluzioni per la propulsione (a getto, azionando gruppi di remi etc.), poi concentrando l'impegno sulla soluzione vincente dei *battelli a ruota*. La prima imbarcazione con motrice a vapore di successo fu la *Charlotte Dundas*, del 1802; molto significativo in questo campo fu il contributo di Robert Fulton, in particolare con il suo battello *Clermont*.

Ai successi nel campo nella navigazione si possono affiancare i primi tentativi nel campo dell'**aeronautica**: del 1783 sono i primi esperimenti di volo con palloni aerostatici dei fratelli Montgolfier, in Francia, cui seguono numerosi perfezionamenti del pallone (fra i quali l'uso dell'idrogeno anziché dell'aria calda) ed alcuni tentativi di realizzare palloni dirigibili.

Nel periodo che qui si considera si ebbero ulteriori innovazioni anche a vantaggio dell'**agricoltura**; si possono ricordare la macchina seminatrice di Cooke, del 1782, e la trebbiatrice di Meikl, del 1788. Come già ricordato, inoltre, dal 1802 si cominciò ad utilizzare motrici a vapore anche per l'azionamento delle macchine agricole.

L'interesse per le innovazioni tecnologiche si manifestò anche in vari altri campi. Non sembri fuor di luogo citare il fatto che nel 1778 Braham realizzò il primo servizio igienico a sifone e getto d'acqua (denominato *water closet* o, in sigla, WC). Nel 1784 furono realizzati nuovi modelli di serrature complicate (le cosiddette serrature "rompicapo"). Progressi si ebbero anche nell'industria cartaria, con le prime macchine per la fabbricazione della carta. Koenig nel 1810 realizzò una stampante a cilindri, che fu utilizzata dal 1814 anche per stampare il Times, con grandi incrementi nella tiratura.

Un altro settore di importanti innovazioni fu quello relativo ai **materiali**, alle **macchine utensili** ed ai **processi di produzione**. Si può anzi dire, in proposito, che molte delle realizzazioni finora citate sono state rese possibili dalla disponibilità di nuovi materiali e di nuove macchine utensili.

Nei periodi precedenti le macchine erano realizzate prevalentemente in legno, dato il costo di produzione del ferro e la difficoltà di lavorarlo.

Con il periodo in esame si passa invece ad un impiego sistematico del ferro e delle sue leghe. Per la **produzione del ferro** si usavano tradizionalmente fornaci che funzionavano a carbone di legna, situazione che metteva in condizioni di inferiorità l'Inghilterra, dove si cominciò a ricorrere al carbon fossile. Ciò poté essere fatto con successo intorno al 1717, sfruttando il brevetto di Darby, con la preventiva trasformazione del carbon fossile in *coke*. Si produceva così la ghisa, relativamente più fragile ma comunque utile per varie applicazioni, dalla quale si otteneva il ferro per *puddellaggio*. Il procedimento era difficoltoso fino a che nel 1784, ad opera di Cort, non si adottarono *forni a riverbero*. Nelle officine Wilkinson nello stesso anno, come già ricordato, venne impiegato un maglio azionato a vapore e l'impiego della macchina a vapore si diffuse ben presto nell'industria siderurgica; in proposito può essere interessante mettere in evidenza le influenze reciproche fra i progressi dell'industria siderurgica e quelli delle macchine a vapore: queste fornivano in modo efficiente l'energia necessaria ma le innovazioni nella lavorazione del ferro fornivano tecniche di lavorazione e materiali che rendevano possibili i progressi delle macchine a vapore (realizzazione di cilindri con giochi sufficientemente piccoli, realizzazione di caldaie idonee a sopportare pressioni più elevate etc.); da questo punto di vista è esemplare il rapporto fra Watt e Wilkinson, ciascuno dei quali forniva all'altro prodotti utili per il reciproco progresso.

Sempre nel campo dell'industria siderurgica si devono ricordare i progressi nel campo dei **laminatoi**, per i quali significativi perfezionamenti sono dovuti allo svedese Pohlen che li introdusse intorno al 1750. Nel 1784 Cort costruì un laminatoio che lavorava direttamente il lingotto. Dal 1796 data l'impiego di motrici a vapore anche per l'azionamento di laminatoi.

Nel campo delle **macchine utensili** notevole importanza (anche per la possibilità di ottenere cilindri per macchine a vapore con la precisione indispensabile per un buon funzionamento della macchina di Watt) riveste l'*alesatrice* di Wilkinson, del 1774 (progettata inizialmente per la lavorazione interna delle canne per bocche da fuoco). Importanti sono anche i progressi nel campo dei *torni* (per i quali già nel passato si erano adottate notevoli migliorie, però solo limitatamente a quelli per la lavorazione di pezzi di piccole dimensioni, specialmente nel campo dell'orologeria). Nel periodo che si considera Maudslay realizzò nel 1797 e nel 1800 due torni il cui impiego segna l'inizio di una nuova era nel campo delle

costruzioni meccaniche.

Caratteristico della rivoluzione industriale, anche se se ne possono rintracciare precedenti fin dal medioevo, è il tentativo di sviluppare sistemi di produzione che consentano la **lavorazione in serie** di pezzi uguali. Il problema non è molto difficile se si tratta di pezzi da usare singolarmente (come aghi, spilli, pennini) mentre difficoltà molto maggiori si hanno quando la produzione riguarda pezzi da collegare insieme ed in cui il singolo pezzo deve risultare intercambiabile affinché in caso di rottura o di usura, si possa sostituirlo con un pezzo di ricambio nel meccanismo in cui è stato inserito: il problema, inizialmente, si è posto in modo tipico nei meccanismi di sparo di fucili e pistole. Nel campo della produzione in serie di pezzi singoli, nel periodo considerato si può citare quella, dal 1808, di carrucole per l'Ammiragliato britannico. Nel caso dei pezzi intercambiabili, nel 1800 inizia la produzione in serie di parti per fucili (Withney) e poco dopo quella di parti per pistole (North).

Non si può concludere la pur sintetica rassegna delle innovazioni tecnologiche di questa prima fase della rivoluzione industriale senza accennare agli **effetti sociali dell'industrializzazione**. A grandi linee, ricordando quanto già detto a suo tempo a proposito della concorrenza dell'industria che, in molti campi, mette fuori mercato i prodotti dell'artigianato a base familiare, costringendo lavoratori autonomi ad entrare come salariati sottopagati in opifici industriali, si può constatare che in una prima fase l'industrializzazione dà luogo a *disoccupazione* (in quanto la stessa quantià di prodotti è ottenuta, grazie alle macchine, con un minore numero di lavoratori). Successivamente la disoccupazione viene gradualmente riassorbita in quanto si allarga il mercato (anche per i minori costi di produzione e quindi i minori prezzi di vendita) e la produzione aumenta. Tuttavia questa stabilizzazione della situazione occupazionale si verifica ad un livello caratterizzato da bassi salari, condizioni di lavoro molto pesanti (la settimana di lavoro è di 6 giorni di 12-16 ore lavorative), sfruttamento del lavoro minorile. A ciò si sommano gli effetti negativi dell'urbanizzazione, con l'immigrazione di grandi masse di persone, provenienti dalle campagne, nelle squallide periferie che si formano intorno alle città industriali. Ciò provoca in Inghilterra la rivolta *luddista* (denominazione che deriva dal cognome Ludd attribuito ad un fantomatico agitatore) ed al movimento per la distruzione delle macchine (tipicamente dei telai meccanici, visti come causa della disoccupazione in campo tessile), che aveva già avuto precedenti nel '600 ma che in questo periodo assume intensità e forme peculiari. Gradatamente, però, l'incremento della produzione ed il miglioramento delle tecniche agricole portano ad alcuni benefici, come si può anche constatare tenendo conto che l'incremento della popolazione in Inghilterra, in assenza di fenomeni di immigrazione, passa dai sei milioni e mezzo del 1750 ai circa 10 milioni del 1811.

3 Tabella riepilogativa

La prima fase della rivoluzione industriale (1750 – 1815)	
1768	Filatoio meccanico automatico
1765	Macchina alesatrice per cilindri, di Wilkinson
1776	Forno a riverbero per la raffinazione del ferro (si diffonde dal 1784)
1776	Prima motrice a vapore di Watt (primi tentativi dal 1769)
1781	Motrice a vapore composita (si diffonde dal 1804)
1781	Motrice a vapore di Watt per il moto rotativo
1782	Macchina seminatrice per applicazioni agricole (primi tentativi dal 1730)
1782	Motrice di Watt a duplice espansione
1783	Pallone aerostatico
1784	Laminatoio perfezionato, di Cort
1786	Trebbiatrice per il grano, di Meikle
1787	Telaio di Cartwright (si diffonde dal 1821)
1794	Tornio perfezionato, di Maudslay
1796	Pressa idraulica
1797	Locomotiva stradale, di Trevithick (si diffonde dal 1825)
1800	Tecniche di fabbricazione intercambiabile (Whitney) (primi tentativi dal 1725)
1800	Pila di Volta
1802	Motrice a vapore ad alta pressione
1804	Telaio Jacquard
1807	Piroscafo (Charlotte Dundas di Fulton) (precedenti nel 1788 e nel 1802)
1814	Locomotiva a vapore di Stephenson (tentativi precedenti nel 1803, 1811 e perfezionamenti nel 1829)

7 La fase ottocentesca della rivoluzione industriale (1815 - 1900)

Nel periodo che qui si considera si ha una fase di ulteriore sviluppo della rivoluzione industriale, caratterizzata dalla navigazione a vapore negli oceani, dalla diffusione delle ferrovie, dalle prime applicazioni dell'elettricità e dai motori a combustione interna, che si affiancano a quelli a vapore ed in molti casi li sostituiscono.

Uno dei fenomeni di maggior rilievo di questo periodo è dato dalla diffusione della **navigazione a vapore negli oceani**. In effetti, come si è visto, i primi esperimenti effettuati con successo nel campo della navigazione a vapore avevano avuto luogo negli Stati Uniti, ma erano limitati alla navigazione interna. Successivamente però l'iniziativa venne ripresa dalla Gran Bretagna con l'impiego di motrici a vapore per la navigazione oceanica. La prima traversata dell'Atlantico da parte di una nave che si giovava, oltre che delle vele, anche del vapore, è quella della nave *Savannah*, effettuata nel 1819. Il primo piroscafo per la navigazione oceanica che utilizzò unicamente il vapore fu il *Royal Williams*, che effettuò la sua prima traversata nel 1833.

Del 1839 è il primo impiego dell'elica per la propulsione di navi; il primo piroscafo con scafo in ferro (in lamiera d'acciaio) è del 1843 (il Great Britain).

Non meno importante è il fenomeno della diffusione delle **ferrovie a vapore**. A questo proposito si deve notare che si tratta di un fenomeno complesso, dovuto all'adozione combinata di tecniche che avevano già dei precedenti in campi diversi ma il cui impiego congiunto aveva conseguenze innovative di eccezionale portata.

In effetti l'uso di binari, prima in legno, poi rivestiti di lamiera, poi in ferro, aveva precedenti (nelle miniere) che risalivano al sedicesimo secolo. Si trattò quindi di adottarlo per altri sistemi di trasporto prima interni e poi stradali per passeggeri e, soprattutto, per merci (il che avvenne anche con trazione a cavalli, nel 1801, sulla tratta da Wandsworth a Croydon).

D'altra parte le primitive macchine a vapore, ma anche quelle perfezionate di Watt, erano state concepite per applicazioni statiche (azionamento di pompe o di macchine operatrici). L'idea di una motrice a vapore per trazione cominciò abbastanza presto a manifestarsi ed in proposito di possono citare le realizzazioni del carro automobile a vapore di Cugnot, in Francia, del 1770 (concepito per il trasporto di artiglierie) ed i tentativi di Murdoch (1784) e di Trevithick (1797) in Inghilterra.

L'idea di combinare una motrice a vapore locomobile e un percorso a binari metallici si deve allo stesso Trevithick, che però si servì di tale sistema solo per trasporti interni.

La fase finale fu quella di adottare locomotive a vapore per il traino su binari di carrozze per passeggeri e per merci (treno ferroviario) su lunghi percorsi. In questo campo assumono

particolare rilievo le figure di George Stephenson (1781-1849) e del figlio Robert Stephenson (1803-1859), che a differenza del padre aveva ricevuto un'adeguata formazione scientifica.

Particolarmente famosa è la locomotiva *Rockett*, di George Stevenson, la quale nel 1829 vinse il concorso che era stato bandito per favorire lo sviluppo del trasporto ferroviario nel quadro di una serie di leggi (in parte anche curiosamente limitative) promulgate in Gran Bretagna a partire dal 1821. Successivamente in Inghilterra si ebbe una battuta d'arresto ma poi una forte ripresa. Nel frattempo il sistema ferroviario si diffondeva in Europa. In Italia la prima linea ferroviaria fu la Napoli -Portici del 1839; poco dopo cominciarono le opere per la realizzazione della linea Venezia-Milano (i lavori per il ponte ferroviario translagunare da Venezia alla terraferma cominciarono nel 1841).

Un altro settore tecnologico di particolare importanza nel periodo considerato è quello delle *turbine idrauliche*, evoluzione moderna ed efficiente delle vecchie ruote ad acqua. È interessante notare che del problema si era già occupato nel diciottesimo secolo, dal punto di vista teorico, il grande matematico Leonhard Euler. Sul piano ingegneristico le turbine furono sviluppate soprattutto in Francia, ad opera di Burdin e di Fourneyron. La prima vera e propria turbina realizzata e messa in funzione è del 1827 e la sua potenza era di 6HP; il progresso fu però rapidissimo: già nel 1855 si costruivano turbine della potenza di 800 HP per unità.

Le *turbine a vapore*, che hanno lontani precedenti nel mulinello di Erone (*eolipila*) e nella ruota di Branca, costituiscono una conquista importante del diciannovesimo secolo, durante il quale furono sperimentate varie soluzioni per macchine di questo tipo. Solo verso la fine del secolo, però, si pervenne a risultati di interesse pratico: il brevetto di C. Parsons è del 1884. Nel 1892, con l'impiego del condensatore, il rendimento della turbina diventò superiore a quello delle macchine a stantuffo, consentendo il raggiungimento di potenze molto elevate. Gli impieghi più importanti si ebbero nel campo delle centrali termoelettriche ed in quello della propulsione navale (turbonavi): quest'ultimo impiego, però, fu attuato durante il secolo diciannovesimo solo in forme sperimentali ed ebbe invece applicazioni concrete (anche nella marina militare) solo con il ventesimo secolo.

Uno sviluppo inizialmente lento ma che poi verso la fine del secolo diciannovesimo e nel secolo ventesimo divenne impetuoso fu quello relativo alle applicazioni dell'**elettricità**.

Il campo dei fenomeni elettrici ancora nella prima metà del Settecento era considerato una curiosità di interesse salottiero. Successivamente si cominciarono a sviluppare studi di carattere più propriamente scientifico, ma fu soltanto con la *pila* di Volta, presentata alla Royal Society di Londra il 20 marzo 1800, che si aprì la possibilità di uno studio più approfondito e di concrete applicazioni dell'energia elettrica. Pochi anni dopo, nel 1808, Davy studierà il cosiddetto arco elettrico (o voltaico) il cui principio sarà poi utilizzato nelle lampade ad arco. Si svilupparono anche gli studi sulle relazioni fra fenomeni elettromagnetici e fenomeni meccanici, che sono alla base della realizzazione sia di *motori elettrici*, che trasformano l'energia elettrica in energia meccanica, sia di *generatori elettrici*, che operano la trasformazione inversa.

A proposito di queste macchine non è facile individuare il confine fra "esperimenti di fisica" nei quali un conduttore elettrico, immerso in un campo magnetico ed attraversato da corrente, risulta soggetto ad una forza, che ne determina lo spostamento, ed un vero e proprio "motore elettrico" suscettibile di impieghi pratici (e simmetricamente fra gli "esperimenti" in cui viene indotta una forza elettromotrice su un conduttore che si sposta in un campo magnetico ed un vero e proprio "generatore elettrico", in grado di sostituire, ad esempio, una batteria di pile). Nel campo degli esperimenti di fisica possiamo collocare

quelli del 1831, condotti dall'inglese Michael Faraday e dall'americano Joseph Henry, mentre possiamo già parlare di un vero e proprio motore a proposito del dispositivo realizzato nel 1828 da Peter Barlow (ed anche per quello contemporaneamente realizzato in Italia da Salvatore Dal Negro). Un generatore fu realizzato già nel 1832 dal francese Hippolythe Pixii. Vi furono poi vari altri tentativi, a proposito dei quali è doveroso ricordare il cosiddetto anello di Pacinotti, realizzato dal fisico italiano Antonio Pacinotti nel 1865 ma sulla base di studi che risalivano al 1859. Questa macchina fu, probabilmente, la prima *dinamo* veramente efficace (tale nome fu proposto da W. Siemens per un'analoga machina da lui progettata). La dinamo fu poi perfezionata dal belga Zenobe Gramme (cui spesso in altri paesi si attribuisce, impropriamente, il merito dell'invenzione) e poteva funzionare anche come motore.

Un miglioramento sostanziale nel campo dei motori elettrici si ebbe però solo con il *motore asincrono*, di elevato rendimento, che si basa sul *campo magnetico rotante* ideato da Galileo Ferraris nel 1885. Ferraris costruì anche un motore che nel 1888 presentò all'Accademia delle Scienze di Torino ma che non volle brevettare (e di questa situazione cercò di approfittare il tecnico croato operante negli Stati Uniti, Nikola Tesla, che comunque introdusse qualche miglioramento apprezzabile; dopo varie beghe giudiziarie, tuttavia, il merito dell'invenzione fu riconosciuto ufficialmente a Galileo Ferraris).

Grande rilievo ai fini dell'elettrificazione ebbe anche l'essenziale invenzione del *trasformatore*, la cui prima realizzazione efficiente, con caratteristiche simili a quelle tuttora in uso, è attribuibile a Stanley, nel 1886.

Un'importante applicazione ottocentesca dell'elettricità si ha dal 1833 con il *telegrafo elettrico* ma di questa si parlerà nella parte dedicata alla tecnologia dell'informazione.

Non meno importante fu l'impiego dell'elettricità a scopo di illuminazione. In questo campo abbiamo prima il perfezionamento (e l'utilizzazione pratica nei fari e per altri scopi di carattere particolare) della *lampada ad arco* (Foucault, 1844), poi una serie di dispositivi di notevole interesse ma non molto pratici, ed infine la determinante invenzione della *lampada elettrica ad incandescenza* (a proposito della quale si ricordano i tentativi preliminari di Swan e, nel 1880, la realizzazione di Edison delle lampadine a filamento di carbone). I primi impianti di illuminazione elettrica pubblica ad incandescenza (negli Stati Uniti) risalgono al 1882 e con essi e con la successiva utilizzazione per scopi domestici comincia a manifestarsi un'apprezzabile richiesta di energia elettrica.

Fra il 1881 ed il 1882 alternatori, trasformatori e dinamo sono divenuti già molto simili a quelli attuali e con essi inizia la costruzione di *centrali* di produzione, sia idroelettriche (il primo esempio importante di impianti di questo tipo è quello delle cascate del Niagara, la cui costruzione iniziò nel 1891; l'entrata in servizio ebbe luogo nel 1897), sia termoelettriche (nelle quali gli alternatori erano tenuti in rotazione da motrici termiche, a vapore o a gas). Le prime centrali elettriche erano in corrente continua (soluzione sostenuta da Edison) ed a bassa tensione, ma ben presto prevalse la scelta (sostenuta da Tesla e Westinghouse, negli Stati Uniti,) della corrente alternata e delle alte tensioni (queste ultime richiedevano il ricorso ai trasformatori di tensione, che d'altra parte, funzionavano solo in alternata). Tuttavia il trasporto dell'energia elettrica su grandi distanze cominciò ad essere realizzato su larga scala solo con la fine del secondo decennio del secolo ventesimo.

La diffusione dell'impiego dell'elettricità come fonte di energia dalla quale ottenere lavoro meccanico, utilizzando motori elettrici ad elevato rendimento, comincia a diventare una realtà importante solo dopo il 1890. Comunque si pu constatare che meno di un secolo dopo l'invenzione della pila si erano ottenuti risultati molto significativi e l'elettrificazione,

nei campi più diversi, stava divenendo un fenomeno di grande rilievo

Nel diciannovesimo secolo è notevole anche lo sviluppo dei *motori a combustione interna*, chiamati così perché in essi la trasformazione dell'energia chimica in energia termica (e cioè la combustione) non avviene separatamente, come nelle macchine a vapore, ma direttamente nello stesso cilindro nel quale l'energia termica, così generata, si trasforma in parte in energia meccanica.

Inizialmente furono realizzati *motori a gas*, utilizzando gas ottenuti dal carbone (motrice di Barnett). Il primo tentativo è del 1823; del 1857 è il motore a scoppio ideato, progettato e sperimentato dai fisici italiani Eugenio Barsanti e Felice Matteucci; del 1860 quello di J.J. Lenoir; del 1867 (con perfezionamenti nel 1876) quello a quattro tempi di N. Otto, basato sul ciclo termico detto, appunto, ciclo di Otto. I primi tentativi di motore a benzina risalgono al 1855 ma la loro prima realizzazione efficiente è del 1873; del 1885 è il motore di Daimler e del 1892 è il brevetto di R. Diesel per il tipo di motore che da lui ha preso nome.

La scelta del motore a scoppio costituisce l'elemento determinante per il successo dell'**automobile** e successivamente per quello dell'aeroplano. Alle applicazioni in campo aeronautico si dedicherà qualche cenno nel capitolo relativo al secolo ventesimo. Per quanto riguarda l'automobile si può parlare, come nel caso delle ferrovie, del confluire di varie soluzioni spesso preesistenti in altri contesti: l'utilizzazione del motore a scoppio (anziché di quello a vapore o di quello elettrico, come pure si era tentato di fare: allo scopo, in particolare, si prestò la soluzione brevettata da Benz nel 1886); l'adozione del radiatore "a nido d'ape", del 1897, che fu applicato alla Mercedes nel 1901; il passaggio da tricicli (come quello dello stesso Benz e, in Italia, quello di Bernardi) a veicoli a quattro ruote; il passaggio dall'adattamento di vetture preesistenti (concepite per la trazione animale) a carrozzerie studiate espressamente per l'automobile (tenendo anche conto, seppure in un secondo momento, di criteri aerodinamici); l'adozione, nel 1899 ad opera di Renault, del cambio di velocità. Può avere valore simbolico ricordare che, in chiusura del secolo, un'automobile superò per la prima volta la velocità di 100 chilometri all'ora (sul chilometro lanciato); in questo caso, però, il motore era un motore elettrico.

Il primo *autobus urbano* a motore a scoppio, realizzato da Benz, entrò in servizio nel 1895, facendo concorrenza ai tram a cavalli ed al filobus a motore elettrico, realizzato nel 1881 da W. Siemens, cui si deve anche il tram elettrico e la prima motrice elettrica per treno ferroviario

Nel **settore primario** (miniere e agricoltura) si hanno pure importanti progressi. Da un lato la *meccanizzazione dell'attività mineraria*, specialmente per il taglio del minerale, dall'altro la diffusione di *macchine agricole* di vario tipo: aratura a vapore (mediante verricelli, solo alquanto più tardi con trattori) a partire dal 1856; mietitura meccanica già dal 1834, con McCormick, ma soprattutto dal tempo della guerra di secessione americana (1861-1865), a causa della scarsità di mano d'opera; falciatura meccanica, ideata nel 1814 ma diffusasi dal 1850; impiego di mietitrebbiatrici, di raccoglitrici, di macchine per la semina delle patate etc. L'impiego di trattori a cingoli con motori a combustione interna si può far risalire al 1890 e ben presto porta ad una larga sostituzione dei cavalli e degli altri animali da tiro. Come risultato di queste realizzazioni, la popolazione agricola diminuisce progressivamente in termini percentuali ed assoluti: si è stimato che negli Stati Uniti gli agricoltori, verso la fine del diciottesimo secolo, costituissero il 95% della popolazione totale, mentre nel 1935 si erano ridotti al 20%. La tendenza continua a manifestarsi; infatti nel 1980 la popolazione attiva in agricoltura negli Stati Uniti è stata stimata a 3 milioni su un

totale di circa 225 milioni.

Accanto ai problemi della produzione agricola si possono considerare quelli per la *conservazione delle derrate* e, in particolare, quelli affrontati con le tecniche di *refrigerazione*. In questo campo si deve ricordare che, dopo vari tentativi (nel 1834 l'americano J. Perkins aveva brevettato il principio della macchina frigorifera), Carl von Linde nel 1873 realizzò una prima macchina frigorifera efficace, per la quale nel 1876 si avvalse dell'amoniaca (secondo una proposta già avanzata nel 1857 dal francese F. Carré). Lo stesso Linde nel 1895 costruì un apparecchio per la liquefazione dell'aria economicamente vantaggioso. Fin dal 1877 i congelatori ebbero notevoli applicazioni per la conservazione dei prodotti alimentari (in particolare per il congelamento della carne bovina sudamericana destinata all'esportazione).

Il secolo diciannovesimo è caratterizzato anche dall'introduzione di processi di **meccanizzazione** (per esempio per la produzione di pennini d'acciaio, di fiammiferi, di sigarette, di bottiglie di vetro etc.) e da numerose **invenzioni pratiche**. Fra queste ultime si citano le *macchine per cucire* (ideate nel 1829 ma per le quali il primo modello pratico è del 1846; il brevetto di Singer è del 1851), le *macchine per scrivere* (con vari modelli proposti dal 1829 al 1868, anno del brevetto di C. L. Sholes), la *linotype* (Mergenthaler, 1886). Del 1886 è anche la *bicicletta* di Pope e dell'anno precedente quella di Starley, che costituiscono il punto di arrivo di un'evoluzione partita dalla draisina del 1817 (così chiamata dal cognome del suo inventore, il tedesco Karl Drais) e dal *velocipede* di Michaud del 1861, caratterizzato dall'adozione dei pedali. L'impiego dei *pneumatici* è dovuto a Dunlop e data dal 1889.

Del 1855 è la *serratura Yale*, del 1862 l'*ascensore* di Otis, del 1867 il *rullo compressore stradale* (con motrice a vapore), del 1877 il *fonografo* a cilindri di Edison e del 1887 il *grammofono* a dischi di Berliner. Per il *cinematografo*, che vanta anch'esso vari tentativi precedenti, si può far riferimento al 1895, anno in cui i fratelli Lumière girarono la prima (brevissima) pellicola ed il 28 dicembre ebbe luogo la prima proiezione pubblica.

In campo **militare** il secolo diciannovesimo portò la *rivoltella a tamburo* di Colt (1835), la *mitragliatrice* di Gatling (1862) e quella automatica di Maxim (1884), il *siluro* di Luppis (1860, ma utilizzato concretamente solo nella guerra russo-giapponese del 1904-1905), il *sommergibile* moderno del quale, dopo il precedente di Fulton del 1801, vennero prodotti vari modelli soprattutto fra il 1890 ed il 1900: notevoli in particolare quello elettrico italiano di Pullino del 1890 e quello elettrico statunitense di Holland del 1898.

Nell'Ottocento furono compiuti grandi progressi anche nel campo della **chimica**, della **metallurgia** e della s**iderurgia**.

In particolare sono di rilievo le nuove tecniche per la produzione dell'acciaio direttamente dalla ghisa con il convertitore di Bessemer, brevettato nel 1855, e gli ulteriori progressi introdotti con i procedimenti Martin-Siemens e Siemens (dovuti a Karl Wilhelm Siemens (1823 - 1833), fratello di Ernst Werner Siemens (1816 - 1892) che si occup invece soprattutto di elettrotecnica). Importanti risultati furono ottenuti anche nel campo delle leghe di particolari caratteristiche, quali gli acciai al cromo e tungsteno (1855-1871), al manganese (1882), al nichel (1889) ed il cosiddetto "acciaio rapido" per utensili (1898).

Con il 1886 inizia l'applicazione del metodo elettrolitico per la produzione dell'alluminio (scoperto da Davy nel 1807 ed isolato da Oersted nel 1823 ma ottenuto, fino al ricorso all'elettrolisi, con procedimenti costosissimi). Da allora l'alluminio, prodotto a basso costo, trova svariatissimi impieghi.

Furono sviluppati nuovi materiali, fra i quali la gomma vulcanizzata (Goodyear, 1844) e il carborundum (1893). Grandissima importanza venne acquisendo, a fianco del carbone,

il petrolio (il primo pozzo entrò in funzione nel 1859), impiegato inizialmente soprattutto per le lampade.

Nel campo dei materiali da costruzione accanto a quelli tradizionali (legno, pietra, mattoni, leganti vari) cominciarono a trovare impieghi sempre più estesi il calcestruzzo (reinventato da Smeaton nel 1756), il cemento Portland (1824) ed il cemento armato (1892).

Notevoli progressi si ebbero anche nella **meccanica di precisione**, in particolare con i metodi per la filettatura introdotti dal 1833 da Whitworth, con i torni a copiare (1835), i torni a torretta (1845), la fresatrice universale e la rettificatrice cilindrica (degli anni Sessanta dell'Ottocento).

Anche in questo caso si ritiene opportuno concludere con alcune osservazioni sulle conseguenze economico-sociali delle nuove tecnologie: i lavoratori rinunciano alla lotta contro l'introduzione delle macchine e si organizzano in sindacati (che in vari paesi inizialmente sono dapprima vietati ma successivamente consentiti; in Gran Bretagna le Trade Unions, che riprendono il nome di organizzazioni operanti fin dall'inizio del '700, assumono gradualmente le caratteristiche di un sindacato moderno). Le lotte operaie per ottenere migliori trattamenti economici e migliori condizioni di lavoro vengono condotte mediante scioperi e mediante una forma di pressione politica che mira anche ad una modifica delle disposizioni legislative riguardanti il lavoro. Il progresso industriale si traduce gradualmente in una forma di progresso economico-sociale pur attraverso le alternanze di crisi, talora dovute alla sovraproduzione. Verso la fine del periodo considerato si manifestano sempre più di frequente tendenze ad accordi di cartello o al monopolio. Contemporaneamente la lotta per la conquista di nuovi mercati si affianca a politiche colonialiste e imperialiste.

1 Tabella riepilogativa

	La fase ottocentesca della rivoluzione industriale (1815 – 1900)
1818	Fresatrice per metalli
r. 1820	Piallatrice per metalli
1820	Macchina calcolatrice (de Colmar) (cfr. 1892)
1827	Turbina idraulica
1828	Soffiaggio di aria calda negli altiforni
1830	Filatura del cotone a ring
1832	Prime macchine elettriche (motori e generatori a elettromagneti) (numerosi successivi perfezionamenti per tutto il secolo)
1835	Revolver (Colt)
1836	Elica per propulsione navale
1837	Telegrafo elettrico (Morse)
1838	Motore a gas (Barnett) (precedenti nel 1823)
1839	Maglio a vapore
1844	Lampada ad arco elettrico (primi tentativi nel 1808)
1845	Macchina tipografica rotativa perfezionata
c. 1845	Tornio a torretta
1846	Macchina per cucire (Howe)
1849	Impiego di utensili ad aria compressa nelle miniere
c. 1850	Macchina falciatrice per impieghi agricoli
1855	Produzione dell'alluminio (migliorata sostanzialmente nel 1866)
1856	Convertitore Bessemer per la produzione dell'acciaio
1860	Motore a gas (Lenoir) (successivi perfezionamenti nel 1867 e nel 1876)
1860	Mietitrice combinata (successivi perfezionamenti nel 1875)
1861	Fresatrice universale
1861	Mitragliatrice
1867	Motore a gas (Otto)
1867	Machina seminatrice combinata

	La fase ottocentesca della rivoluzione industriale (1815 – 1900)	
1868	Macchina per scrivere	
1869	Macchina tagliatrice di carbon fossile per miniere	
c. 1870	Prime applicazioni di macchine frigorifere	
r. 1870	Tornio automatico	
1870	Forni elettrici per la produzione dell'acciaio	
1871	Utensili di acciaio rapido	10
1873	Frigorifero a compressione di ammoniaca (Linde)	
1873	Motore a benzina (primi tentativi nel 1855)	
1876	Telefono	
1877	Fotografia (dopo alcuni precedenti; perfezionamenti nel 1887)	
1878	Automobile di Benz (perfezionamenti nel 1889)	
1880	Lampada elettrica ad incandescenza	
1881	Illuminazione elettrica pubblica (negli USA)	
1882	Macchine elettriche motrici e generatrici perfezionate (precedenti nel 1832, 1835,1845,1865,1870, perfez. ulteriori 1880)	
1884	Turbina a vapore (Parson)	
1885	Motore a benzina (Daimler)	
r. 1885	Trasporto di energia elettrica	
1886	Saldatura elettrica	
1886	Produzione dell'allumino per via elettrolitica	
1887	Sistemi elettrici in corrente alternata polifasi (prec. 1885, perfez.1889)	
1887	Grammofono (precedenti 1877)	
1889	Pneumatici (Dunlop)	
1889	Automobile perfezionata	
1889	Alternatori in alta tensione (Ferranti)	
r. 1890	Tornio multiplo automatico	
1892	Macchina calcolatrice (Brunswiga) (cfr 1820)	
1893	Abrasivi sintetici	
1895	Aria liquida (sistema Linde)	

La fase ottocentesca della rivoluzione industriale (1815 – 1900)	
r. 1895	Cinematografo
1896	Radiotelegrafia (Marconi)
1897	Motore Diesel (precedenti 1892)
1898	Utensili di acciaio rapido perfezionati (cfr 1871)
r. 1898	Sommergibile
1900	Dirigibile Zeppelin (navigazione aerea)
r. 1900	Saldatura e taglio dei metalli con la fiamma ossiacetilenica

8 Il Novecento e la seconda rivoluzione industriale

Nel secolo ventesimo si assiste alla continuazione di linee di progresso tecnologico già affermatesi nella seconda metà del secolo precedente o all'affermazione di nuove linee, come quelle prevalse in campo aeronautico, che però si possono considerare, per vari rispetti, affini a quelle che avevano caratterizzato quanto meno la seconda metà dell'Ottocento.

Si assiste però anche a fenomeni relativamente nuovi che, soprattutto con riferimento all'**automazione** (di cui si comincia a parlare dopo la seconda guerra mondiale; lo stesso vocabolo è stato coniato nel 1947), hanno indotto a distinguere questa fase del progresso tecnologico da quella precedente usando l'espressione di *seconda rivoluzione industriale* (caratterizzata, come a suo tempo la prima, da imponenti innovazioni tecnologiche ma altresì da non trascurabili conseguenze socioeconomiche, fra le quali l'inversione della tendenza alla crescita numerica del proletariato industriale e il prevalere dell'occupazione nel settore terziario a scapito di quella nel settore secondario (industria) dopo che questa aveva, con la prima rivoluzione industriale, sostituito, in termini di importanza economica e demografica, quella nel settore primario dell'agricoltura e delle miniere).

Un altro aspetto che può valere la pena di mettere in evidenza è il tramonto della figura dell'inventore (che nella seconda metà dell'Ottocento aveva avuto in Edison un suo esponente emblematico). Nella nuova realtà non sono più sufficienti l'intuizione e l'esperienza ma diventa indispensabile una base scientifica molto solida; prevale inoltre la ricerca di gruppo, quale si svolge nei centri di ricerca e sviluppo delle grandi industrie e presso i grandi istituti scientifici pubblici e privati che coltivano stretti rapporti con la produzione industriale.

In questo contesto si assiste all'inversione di uno schema che si era affermato in precedenza; per esempio nel campo delle macchine a vapore, prima si erano avuti i grandi tecnici come Newcomen, Watt o George Stephenson e solo dopo era stata sviluppata, in particolare ad opera dei lavori pionieristici di Carnot, una teoria della termodinamica, che si era venuta dimostrando di notevole utilità per progettare e far funzionare meglio le macchine, al di là dei limiti che potevano essere raggiunti utilizzando solo l'intuizione e l'esperienza.

Nel ventesimo secolo, invece, prima vengono i fisici che sviluppano le teorie della fisica atomica e nucleare e poi i tecnici che progettano le centrali nucleari (questo esempio è evidente ma esempi simili potrebbero essere tratti da molti altri campi applicativi tuttora in fase di sviluppo).

Uno stimolo nel far convergere l'attenzione di gruppi di scienziati su programmi di ricerca applicata è venuto anche dalle due grandi guerre mondiali del 1914-1918 e del 1939-1945; basterà pensare alle iniziative che, nate inizialmente con riguardo a scopi militari,

hanno poi trovato larghe e significative applicazioni in campi diversi, quali quelle che hanno portato all'energia atomica, al radar, alla propulsione a getto etc.

Non è semplice dare un quadro convincente di quanto è accaduto in campo tecnico nel secolo ventesimo, anche perché si pu facilmente cadere in errori di prospettiva.

Per limitarci ad alcuni degli aspetti più appariscenti ci si può riferire anzitutto alla **chimica**, specialmente per la produzione di sostanze sintetiche (basterà pensare alle materie plastiche ed alla loro diffusione, che le ha portate a sostituire molti materiali tradizionali, dal legno al vetro, alla carta, ai filati di origine vegetale o animale etc.).

Si può altresì far riferimento alla diffusione ed alla velocizzazione dei trasporti, che in questo secolo ha come protagonista l'**aeronautica**, ai cui sviluppi si dedicheranno alcuni cenni in questo capitolo.

Accanto alla rete dei trasporti ha registrato successi ancora più clamorosi la grande rete delle **telecomunicazioni**, siano esse di tipo "punto a punto", come nel campo telegrafico ed in quello della telefonia detta "fissa", oppure di tipo "a diffusione circolare" (*broadcast*) come nel campo della televisione e della radio o, infine, nelle situazioni per qualche aspetto intermedie che si verificano nella più recente "telefonia mobile".

Non si può non citare il campo dei *satelliti artificiali* che, oltre agli aspetti legati all'attività aerospaziale, ne presenta anche di quelli legati al campo delle telecomunicazioni.

Né si potrà tacere del settore dell'*automazione*, cui si è già accennato come ad un elemento caratterizzante della "seconda rivoluzione industriale". A proposito dell'automazione si ricorda che la si è definita anche come l'impiego di *macchine per far andare altre macchine*, sostituendo così l'uomo non solo per quanto riguarda la sua capacità di fornire l'energia richiesta dal conseguimento di determinati scopi (e la sostituzione era già avvenuta in un passato lontano con il ricorso all'energia animale, a quella dell'acqua ed a quella del vento e, nella "prima" rivoluzione industriale, sfruttando il vapore, il gas, l'elettricità etc.) ma anche nell'attività di "prelevare informazioni" sul comportamento delle macchine da controllare, di "elaborare tali informazioni" ai fini di prendere decisioni sulle azioni da compiere ed infine di "svolgere" queste azioni di controllo.

Un altro settore fondamentale nel secolo ventesimo è quello dell'**informatica**, intesa come la scienza e la tecnica che si occupa dell'elaborazione automatica delle informazioni.

Come si è già detto, per lo sviluppo delle telecomunicazioni sono state determinanti da un lato la teoria dell'elettromagnetismo e dall'altra la teoria dell'informazione, ma un ruolo non minore ha svolto l'**elettronica** che, d'altra parte, è stata uno strumento essenziale ed insostituibile anche per lo sviluppo dell'informatica e dell'automazione.

La seconda parte di questo materiale didattico sarà integralmente dedicata ad una sintetica illustrazione delle **tecnologie dell'informazione** ed in essa si presenterà la nozione, formalizzata proprio nel secolo ventesimo, di *informazione*, intesa come una grandezza suscettibile di essere definita in modo rigoroso e misurata con procedimenti obiettivi e ripetibili, mostrando poi come di questa nozione ci si serva nei contesti della sua trasmissione (cioè nel campo delle telecomunicazioni), della sua elaborazione (cioè nel campo dell'informatica) e della sua utilizzazione per il controllo di flussi di materia o di energia (cioè nel campo dell'automatica, come è chiamata la scienza e la tecnica che si occupa dell'automazione).

In questo capitolo ci si limiterà invece ad alcuni cenni sul progresso dell'aeronautica.

Con riferimento a questo campo si può ricordare che il volo era stato sempre uno dei sogni dell'uomo, che però era rimasto sempre irrealizzato fino all'ascensione dei primi palloni aerostatici ad aria calda e poi ad idrogeno. Il tentativo di poterne "dirigere" il volo (con

velature, timoni, motori etc.) non aveva avuto successo pratico fino alla realizzazione dei grandi dirigibili di Ferdinand von Zeppelin (1838 - 1917), all'inizio del secolo ventesimo; con questi si attuò anche una linea di trasporto passeggeri attraverso l'Atlantico, quando ancora gli aeroplani non erano in grado di compiere efficacemente tale impresa. Una sciagura di grandi dimensioni pose però fine a questi tentativi.

L'alternativa era costituita dal volo con un mezzo "più pesante dell'aria" sostentato da ali, dotato di timoni di direzione e di profondità e con un motore per l' elica. Lungo il secolo diciannovesimo si ebbero vari tentativi, senza apprezzabili risultati pratici. In effetti una soluzione efficiente fu trovata dai fratelli americani Wilbur (1867 - 1912) ed Orville (1871 - 1948) Wright il cui aeroplano si sollev da terra e poi poté atterrare senza fracassarsi nel 1903. Gli sviluppi dell'aeronautica, dapprima lenti, si fecero poi più rapidi. Aeroplani furono utlizzati per scopi bellici già durante la guerra italo-turca del 1911-12 e poi, in modo massiccio, durante la prima guerra mondiale. Conclusa questa guerra, l'aviazione era ormai divenuta adulta e cominciarono i servizi per il trasporto di passeggeri e di posta aerea, nonché per il trasporto trasporto merci. Furono compiute traversate dell'Atlantico, prima con scali intermedi e poi, con il famoso volo di Lindbergh del 1927, senza scalo.

Ulteriori sviluppi si ebbero con la seconda guerra mondiale (nella quale l'aviazione ebbe un impiego massiccio). Nel 1923 fu sperimentato l'autogiro, dello spagnolo Juan de La Cierva (1895 - 1936), messo a punto negli anni successivi. Su di esso si erano riposte molte speranze ma i successivi eventi dimostrarono che, in questo caso, si era trattato di una linea di sviluppo destinata ad abortire e ad essere completamente sostituita dagli elicotteri, che avevano dei precedenti sperimentali (fra i quali quello dell'italiano Enrico Forlanini (1848 - 1930), del 1877) ma che possono essere fatti datare dal 1930 (elicottero D'Ascanio); il primo elicottero moderno commerciale fu progettato nel 1944 da Igor Sikorski (1889 - 1972).

Intorno al 1960 il traffico aereo prima raggiunse, poi super ed infine sostituì completamente quello navale dei cosiddetti transatlantici per il trasporto di passeggeri fra l'Europa e l'America.

Al periodo che precede la seconda guerra mondiale (ci si pu riferire alla data del 1937) risalgono i primi tentativi di aeroplano a reazione. Come è ben noto, ormai il volo "a getto" ha sostituito nella grande maggioranza degli impieghi il volo "ad elica" e la parola inglese jet è ormai entrata nell'uso comune in sostituzione di quella di aereo, visto che la soluzione più comunemente adottata per la propulsione è appunto quella a getto.

Pur dedicando alle tecnologie dell'informazione la seconda parte di questo materiale didattico, si ritiene utile inserire qui qualche sintetica notizia sui fatti più significativi del ventesimo secolo per quanto riguarda le telecomunicazioni e l'elettronica.

Nel campo delle **telecomunicazioni**, una data fondamentale è il 1895 in cui Marconi ottenne i suoi primi successi di trasmissione "senza fili" di segnali telegrafici (si ricorda che se in italiano l'espressione (telegrafo) "senza fili" è ormai desueta ed ha un sapore vagamente antiquario, le espressioni corrispondenti in inglese ed anche in francese hanno avuto una durata molto più lunga, prima di essere sostituite dal prefissoide radio-). Comunque è certo che le invenzioni, le scoperte e le iniziative di Marconi non si sarebbero potute verificare se non fossero state precedute dalla teoria dell'elettromagetismo di Maxwell, dagli esperimenti di Hertz e dai successivi studi di Augusto Righi.

La cosiddetta "radiotelefonia" compì passi successivi nel 1900, nel 1914 e nel 1920; la radiodiffusione circolare diventò una realtà concreta in vari paesi fin dagli anni Venti; esperimenti di radiotrasmissione delle immagini furono tentati dal 1907 e con maggiore impegno dagli anni Venti; già prima della seconda guerra mondiale si erano avviate trasmissioni te-

levisive sperimentali ma la loro diffusione, che ha avuto tanta influenza anche sul modo di vivere di grandi masse, è un fenomeno della seconda metà del secolo ventesimo.

Nel campo dell'**elettronica** si può fare riferimento all'invenzione delle *valvole termoioniche* (dette anche tubi elettronici): il *diodo* fu brevettato nel 1905 da Ambrose Fleming (1849 - 1945), il *triodo* nel 1906 da Lee de Forest (1873 - 1961). Questi tubi (ed altri, come il tetrodo, il pentodo, il thyratron etc.) continuarono ad essere perfezionati ed a trovare impieghi sempre più larghi in vari campi anche dopo l'invenzione del *transistor* (1948) ad opera di William B. Shockley (1910 - 1989), Walter H. Brattain (1902 - 1987) e John Bardeen (1908 - 1991). Il transistor divenne di costo accettabile e di impiego pratico solo nella seconda metà degli anni Cinquanta e da allora sostituì gradualmente i tubi elettronici in quasi tutti i campi. Nel 1958 viene realizzato da Jack Kilby il primo *circuito integrato* e con gli anni Sessanta si diffonde la miniaturizzazione che, realizzata inizialmente su bassa scala (il dispositivo miniaturizzato conteneva al massimo qualche decina di componenti attivi), pass a scale sempre più impegnative ed oggi ha raggiunto densità assolutamente impensabili quando questa tecnica ebbe i suoi inizi.

1 Tabella riepilogativa (Prima metà del XX secolo)

Il periodo dal 1900 al 1945	
1901	Martello pneumatico per applicazioni minerarie
1902	Aria liquida (sistema Claude)
1903	Aeroplano
1904	Valvola termoionica (diodo)
1906	Valvola termoionica (triodo)
1907	Radiogoniometro
1908	Saldatura a termite
1909	Duralluminio
1913	Catena di montaggio per la fabbricazione in serie
c. 1914	Diffusione del trattore (concepito dal 1890)
1916	Carro armato
r. 1916	Vari perfezionamenti dell'aeroplano (per esigenze militari)
r. 1916	Vari perfezionamenti della radio (per esigenze militari)
r. 1916	Vari perfezionamenti delle macchine utensili (per esigenze militari)
1918	Sviluppi della radiotelefonia (precedenti nel 1910, 1914; lteriori perfezionamenti nel 1920)
1920	Getti metallici a centrifugazione
1920	Telefonia automatica (precedenti dal 1887)
1923	Frigoriferi ad assorbimento
1924	Radiodiffusione circolare
1924	Registrazione elettrica del suono
c. 1925	Autogiro (precursore dell'elicottero)
c. 1926	Utensili al tungsteno
r. 1926	Radiotrasmissione di immagini (precedenti tentativi dal 1907)
1928	Film sonoro (precedenti tentativi nel 1906 e nel 1920)
c. 1928	Macchine utensili per la rettifica frontale (precedenti nel 1916)
c. 1930	Motoaratrice rotativa moderna (Gyrotiller) (precedenti nel 1868)
c. 1934	Elica a passo variabile (precedenti nel 1924)

Il periodo dal 1900 al 1945	
r. 1935	Generazione combinata di calore ed energia elettrica
r. 1936	Macchina raccoglitrice per il cotone
1936	Sistemi idraulici per l'escavazione ad espansione di carbon fossile
1937	Televisione (Emitron) (precedenti nel 1911 e nel 1926)
1937	Estrazione idromeccanica del carbon fossile
c. 1938	Gassificazione sotterranea del carbon fossile
c. 1938	Cinematografia tridimensionale (precedenti nel 1934)
c. 1939	Turbina a gas (precedenti nel 1935)
1939	Turbocompressore
c. 1941	Elicottero (precedenti nel 1938)
1941	Aeroplano a reazione (precedenti nel 1937)
c. 1941	Tecniche di controllo di qualità nella produzione in serie di pezzi intercambiabili (precedenti nel 1926)
1943	Motori per le "bombe volanti" (V2) (precedenti nel 1938)
1943	Radar (precedenti nel 1935 e nel 1940)
1943	Energia atomica

Parte II

Le tecnologie dell'informazione

9 Gli strumenti per lo sviluppo della Tecnologia dell'Informazione nel Ventesimo Secolo: l'elettronica ed i canali di comunicazione.

1 L'Elettronica

Nel secolo diciannovesimo erano state avanzate varie ipotesi sulla natura quantizzata della carica elettrica; in particolare Hermann Ludwig Ferdinand von Helmoltz (1821 - 1894) aveva sostenuto l'esistenza di "atomi di elettricità" e George Johnstone Stoney (1826 - 1911) nel 1874 aveva espresso la convinzione che solo con tale ipotesi si potessero giustificare le leggi dell'elettrolisi formulate fin dal 1833 da Michael Faraday (1791 - 1867). Lo stesso Stoney coniò nel 1891 la parola *elettrone* combinando il prefisso electr(o) con il suffisso delle parole inglesi corrispondenti ad "ione", "anione" e "catione" già largamente impiegate appunto a proposito dei fenomeni elettrolitici.

Tuttavia fu solo nel 1897, alla vigilia del ventesimo secolo, che Joseph John Thomson (1856 - 1940) (da non confodersi con William Thomson, meglio noto come Lord Kelvin, e con il premio Nobel, George Paget Thomson, figlio di Joseph John) diede evidenza sperimentale all'esistenza dell'elettrone, misurandone altresì la carica e la massa.

Sulla base della parola "elettrone" fu coniata, però solo una quarantina di anni dopo, la parola inglese *electronics* italianizzata in *elettronica*, con la tipica desinenza in -a di "fisica" e di altri termini analoghi, che in italiano sono sentiti come nomi femminili ma derivano da forme plurali di neutri latini o greci (ciò che dà conto della desinenza in *-s*, tipica dei plurali, dei termini "electronics", "physics" etc.).

> La prima definizione ufficiale di elettronica è stata data nel 1941, negli Stati Uniti, considerandola "*quella parte delle scienze elettriche che si occupa dello studio dei fenomeni associati al moto di flussi di elettroni nel vuoto e nei gas*". Come si avrà modo di chiarire più avanti, questa definizione è sostanzialmente tardiva, poiché alla data ci si occupava da tempo dei fenomeni cui essa fa riferimento e dei dispositivi in cui hanno luogo questi fenomeni; inoltre oggi, dopo più di mezzo secolo di "elettronica dello stato solido", appare completamente inadeguata.

Il primo dispositivo a proposito del quale si può parlare di elettronica (e cui ben si applica la definizione citata) è il *tubo a raggi catodici* (CRT), le principali varianti del quale furono realizzate da Johann Wilhelm Hittorf (1824 - 1914) nel 1869, da Eugen Goldstein

(1850 - 1930) nel 1876, da William Crookes (1832 - 1919) nel 1877 e da Karl Ferdinand Braun (1850 - 1918) nel 1897, cioè nello stesso anno in cui J.J. Thomson aveva dato la prova definitiva dell'esistenza dell'elettrone. Da tale tubo derivano direttamente gli oscilloscopi ed i cinescopi dei televisori.

Ben più importanti, ai fini degli sviluppi dell'elettronica, furono però il diodo ed il triodo e gli altri tubi elettronici con analoghe funzioni.

> La parola "tubi", di impiego internazionale assai diffuso (ingl. *tubes*), deriva dal fatto che, inizialmente, per la loro costruzione si ricorreva a tubi di vetro in cui venivano immessi gli elettrodi e che venivano chiusi ad un'estremità ed all'altra saldati ad uno zoccolo isolante, attraversato da conduttori. In italiano l'uso della parola "tubi" fu all'inizio molto contrastata e venne preferita la parola "valvola" suggerita dall'inventore del diodo, A. Fleming, e basata sull'analogia fra le funzioni del tubo elettronico e quelle di una valvola idraulica: con il primo (più precisamente con un triodo) si può controllare l'intensità di un flusso di elettroni, con la seconda la portata di un flusso liquido o gassoso. La denominazione completa era "valvola termoelettronica" ma l'aggettivo veniva generalmente omesso ove il contesto non lasciasse dubbi.

Il **diodo** (a vuoto) fu inventato da Ambrose Fleming (1849 - 1945), già attivo nell'ufficio londinese della Edison Lightning Company e poi collaboratore scientifico di Marconi.

> L'invenzione deriva dallo studio del cosiddetto "effetto Edison" che era stato preso in considerazione a seguito dei tentativi di Thomas Alva Edison (1847 - 1931) di evitare l'annerimento del bulbo delle lampadine elettriche, su cui si depositavano i vapori del filamento incandescente. Allo scopo Edison aveva pensato di poterli raccogliere su una piccola piastra metallica. L'effetto Edison fu preso in considerazione da vari fisici che misero in evidenza che tale effetto consisteva in un flusso di elettroni emessi dal filamento nelle condizioni di temperatura in cui questo veniva a trovarsi ed in particolare Fleming si rese conto che tale flusso poteva essere raccolto dalla placca solo quando questa era ad un potenziale positivo. Il tubo poteva così svolgere la funzione di raddrizzamento (in inglese *rectification*) godendo così di una proprietà che già nel 1874 K. F. Braun aveva individuato in taluni solfuri metallici e che sarebbe poi stata sfruttata nei radioricevitori a galena (solfuro di piombo); in inglese per questi dispositivi si preferì usare l'espressione *crystal detector*.

La data precisa dell'invenzione del diodo è, per certi rispetti, arbitraria in quanto fu certamente graduale il passaggio dalle esperienze sull'effetto Edison alla costruzione di un vero e proprio diodo, che venne poi ulteriormente perfezionato. Alcuni autori fissano tale data al 1902 e la scelta appare ragionevole tenendo conto che il primo brevetto di Fleming per il diodo ed il suo impiego in campo radiotecnico (nel quadro della collaborazione di Fleming con le imprese di Marconi) è del 1904.

Per il **triodo** è abituale attribuirne l'invenzione (il che non avvenne senza talune polemiche) all'ingegnere statunitense Lee de Forest (1873 - 1961), che sviluppò nel 1906 e brevettò nel 1907 un dispositivo, da lui chiamato *audion*, ottenuto aggiungendo un terzo elettrodo (la griglia) ai tubi elettronici allora in uso, e che si configura, sotto tutti gli aspetti, come un vero e proprio triodo. In effetti con il triodo si passava da tubi con funzioni di raddrizzatore a tubi con funzioni di amplificatore; ovviamente il segnale di tensione e

potenza più elevate rispetto a quello utilizzato per l'elettrodo di pilotaggio (la griglia) acquisiva la sua potenza a spese del circuito di alimentazione (generalmente un batteria) in cui erano inseriti il triodo ed il carico.

Sia la funzione di raddrizzamento sia quella di amplificazione si dimostrarono immediatamente preziose per gli sviluppi delle telecomunicazioni, in particolare per la radiotelegrafia e poi per la radiofonia.

Al triodo fecero poi seguito il **tetrodo** ed il **pentodo** ed altri tubi elettronici con un ulteriore numero di griglie ed eventualmente con più anodi, tubi in cui l'emettitore era riscaldato direttamente, facendolo attraverssare da un'opportuna corrente, e tubi in cui il riscaldamento dell'emettitore era indiretto (cioè dovuto ad un elemento riscaldatore attraversato da corrente, distinto dall'emettitore); tubi a riempimento gassoso (sempre a bassa pressione ma non "ad alto vuoto") quali il **tiratron** (*thyratron*) e le cosiddette ampolle a vapori di mercurio.

Vennero inoltre progettati circuiti formati da uno o più tubi e da componenti passivi, (resistori, induttori, condensatori, trasformatori), con varie funzioni fra le quali, tipicamente, quelle di *raddrizzamento*, di *amplificazione*, di *generazione di oscillazioni*, etc. utilizzati soprattutto in campo radiotecnico, in particolare il circuito ricevitore *eterodina*, già attuato in una prima forma fin dal 1902, ad opera di Reginald Aubrey Fessenden (1866 - 1932), dal quale si sviluppò successivamente il ricevitore *supereterodina*; cominciarono a venir realizzati, inoltre, i cosiddetti *circuiti a scatto* che tanta parte avrebbero poi avuto nell'elettronica per l'hardware dell'informatica, quali i *multivibratori* (astabili e bistabili) etc.

Fra i tubi speciali ideati in un secondo momento, meritano menzione anzitutto quelli per applicazioni a microonde, fra il quali il **magnetron**, un tubo inventato nel 1921 dal fisico americano Albert Wallace Hull (1880 - 1966) che in sostanza è un tubo in cui le funzioni di pilotaggio del flusso elettronico dal catodo all'anodo, anziché dalla tensione di griglia sono svolte da un campo magnetico, ed il **clistron** (*klystron*), che è un tubo a microonde in cui cavità risonanti metalliche, in grado di funzionare come circuiti oscillanti, tengono luogo degli elettordi metallici del triodo tradizionale. Il clistron fu sviluppato nel 1939 da un gruppo operante nel dipartimento di fisica di Stanford, di cui facevano parte i fratelli Russell e Sigurd Varian e William Hansen.

Non meno importanti i tubi studiati per le applicazioni televisive, fra i quali l'iconoscopio di Vladimir Zworykin (1889 - 1982), realizzato nel 1923, brevettato nel 1924 ed applicato poi industrialmente nel 1929, utilizzando idee sviluppate fin dal 1907 dal fisico russo Boris Rosing (1869 - 1933) e, indipendentemente, dal tecnico scozzese Archibald Campbell-Swinton dal 1908. Contemporaneamente (1923 e, rispettivamente, 1924) Zworykin realizzava e brevettava il **cinescopio**. Importante in questo campo è anche il tubo da ripresa **orticon** (*orthicon*) detto anche orticonoscopio, realizzato nel 1939 da James Rose, la cui versione perfezionata va sotto il nome di orticon-immagine (*image-orthicon*) e fu sviluppata nei laboratori della RCA nei primi anni Quaranta.

> Le date delle varie invenzioni fin qui citate (ad eccezione di quella relativa all'orticon immagine) mostrano dunque che, quando fu coniata la parola "elettronica", la corrispondente "parte delle scienze elettriche" di cui parla la definizione ufficiale esisteva già e si era consolidata ben prima che ne vensse coniato il nome. Lo studio dei suoi componenti (passivi ed attivi), dei suoi circuiti e delle loro applicazioni veniva allora inquadrato sotto denominazioni diverse e continuò ad esserlo abbastanza a lungo anche dopo il 1940: in Italia almeno fino alla metà degli anni Cinquanta.

Se ne parlava soprattutto nell'ambito della cosiddeta **radiotecnica** (ingl. *Radio Engineering*), che però includeva anche parti dedicate alla propagazione ed alle antenne, oltre che ad alcune tematiche comunicazionistiche. Altre espressioni frequentemente usate erano **tecnica delle correnti deboli** (in contrapposizione a quella delle *correnti forti*, cioè l'elettrotecnica), o anche **tecnica delle alte frequenze** (in contrapposizione a quella delle *frequenze industriali* dell'elettrotecnica - tipicamente in Europa 50 Hz (ma in alcune regioni italiane anche 42 Hz) ed in Nordamerica 60 Hz - ed eventualmente anche ai 400 Hz di talune applicazioni aeronautiche ed ai 2000 Hz di applicazioni nel campo dei sommergibili). Queste denominazioni erano particolari (e, per certi aspetti, improprie: ad esempio le applicazioni industriali dell'elettronica operavano a basse frequenze ed avevano a che fare con correnti piuttosto elevate) ma anche la citata definizione del 1941, che faceva riferimento a flussi di elettroni nel vuoto o nei gas, risultò ben presto inadeguata a fronte dell'esigenza di inquadrare nell'elettronica anche i dispositivi allo stato solido, basati sulle proprietà dei semiconduttori.

Già prima che venisse inventato il diodo, il raddrizzamento di correnti alternate era stato ottenuto utilizzando raddrizzatori all'ossido di rame od al selenio, ma l'impiego di questi dispositivi era considerato piuttosto nell'ambito dell'elettrotecnica che in quello della disciplina che più tardi sarebbe stata denominata elettronica. Nell'ambito della radiotecnica inoltre, come si è ricordato, a scopo di rivelazione (e specialmente in campo amatoriale) si utilizzavano, in alternativa ai tubi a vuoto, dispositivi basati sulle proprietà del solfuro di piombo (galena).

Nonostante questi precedenti, però , sembra legittimo individuare gli inizi dell'elettronica allo stato solido (che avrebbe gradamente sostituito quella dei tubi a vuoto per la maggioranza delle applicazioni) nella realizzazione del **transistore** (*transistor*: parola coniata come contrazione di *transfer resistor*), avvenuta nel 1947 ad opera di John Bardeen (1908 - 1991), Walter Houser Brattain (1902 - 1987) e di William Bradford Shockley (1910 - 1989), che ottennero per questa scoperta il premio Nobel nel 1956 (Bardeen ottenne poi nel 1972 un altro premio Nobel, assieme a L. Cooper e J. Schrieffer, per i loro studi sulla superconduttività). Come nel caso di varie altre invenzioni l'indicazione di una data ha quasi sempre un carattere convenzionale, trattandosi della scelta di un momento da considerare particolarmente significativo in una lunga catena di ricerche, tentativi e successivi perfezionamenti. L'attività di ricerca sui semiconduttori presso i Bell Laboratories era iniziata fin dal 1931 ed in questo campo Brattain aveva ottenuto interessanti risultati scientifici. Dopo una sospensione di queste attività nel periodo bellico (1942 - 1945 per gli U.S.A.) la ricerca era ripresa dal 1946 sotto la guida di Shockley ed in questo periodo Brattain e Bardeen scoprirono il cosiddetto "effetto transistor" e nel dicembre del 1947 dimostrarono che questo effetto poteva essere sfruttato per la costruzione di amplificatori elettronici allo stato solido. L'invenzione del transistore fu annunziata però solo nel luglio del 1948. Il primo dispositivo realizzato da Bardeen e Brattain era un transistore del tipo detto "a baffo di gatto" (o "a punta di contatto"); è invece da attribuire a Shockley la realizzazione (un mese dopo) del transistore a giunzione (la cui concreta utilizzazione pratica è fatta però risalire solo al 1951). In effetti dopo l'invenzione seguì un intenso periodo di studi, sperimentazioni ed attività di ingegnerizzazione, relative a vari materiali semiconduttori ed a varie tecniche di drogaggio, a conclusione del quale nella seconda metà degli anni Cinquanta il transistore cominciò a sostituire in moltissimi campi i tubi elettronici con cospicui vantaggi di costi, ingombri, velocità di funzionamento e consumi. La prima radio a transistori fu realizzata

nel 1954 ma la sua diffusione si ebbe solo alcuni anni dopo; il primo elaboratore elettronico a transistori è del 1957.

I circuiti elettronici a transistori degli anni Cinquanta erano del tipo detto "ad elementi discreti", cioè erano formati connettendo con i componenti passivi i singoli transistori, così come avveniva nel caso dei tubi elettronici. Già nel 1958, per , l'ingegnere americano Jack Kilby (nato nel 1923, premio Nobel nel 2000), operante presso la Texas Instruments, realizzò il primo circuito integrato, ottenendo con tecniche litografiche una piastrina di silicio includente più transistori e diodi allo stato solido, resistori e condensatori, nonché i loro collegamenti, in modo da costituire un circuito elettronico completo. Analogo risultato fu ottenuto nel gennaio 1959 dall'ingegnere americano Robert Noyce (1927 - 1990), operante presso la Fairchild, e ciò diede luogo a contestazioni sulla paternità e priorità dell'invenzione, risolte ufficialmente a favore di Kilby solo nel 1982.

I circuiti integrati cominciarono a diffondersi in pratica fin dai primi anni Sessanta e conobbero vertiginosi sviluppi passando dalla iniziale *small scale integration* (SSI) dei primi anni Sessanta, con una decina o, al più, poche decine di componenti sulla singola piastrina, alla *large scale integration* (LSI) degli anni Settanta, con oltre 100.000 componenti per piastrina, alla *very large scale integration* (VLSI), degli anni Ottanta, con oltre un milione di componenti per piastrina. A proposito dei successivi progressi in questo senso, prima ancora che essi fossero attuati ma quando già si fidava nel loro conseguimento, fu coniata la sigla ULSI, con il significato di *ultra-large scale integration*.

2 Cenni sugli sviluppi dei canali di comunicazione

I sistemi di telecomunicazione venivano tradizionalmente divisi in "sistemi da punto a punto" (*point to point*) ed in sistemi a radiodiffusione circolare (*broadcasting*).

Questi ultimi utilizzano necessariamente la propagazione elettromagnetica, la cui teoria si fonda su un lavoro di James Clerk Maxwell (1831 - 1879) apparso nel 1866 ed i cui risultati furono poi ripresi nel suo *Treatise of Electricity and Magnetism* del 1873.

Nella trasmissione da punto a punto si utilizzarono inizialmente collegamenti fisici anche se, nel secolo Ventesimo, vennero usati (e trovano tuttora largo impiego) i ponti radio mediante i quali il segnale viene trasmesso "attraverso l'etere" (come si sarebbe detto nei primi tempi della teoria elettromagnetica) da un'antenna trasmittente fortemente direttiva verso un'antenna ricevente.

Qui ci si limita a qualche cenno sui canali fisici di collegamento (dei quali si parlerà anche nel capitolo dedicato alle telecomunicazioni). Nell'Ottocento le comunicazioni telegrafiche terrestri utilizzavano i cosiddetti "fili telegrafici", conduttori metallici sostenuti da apposite palificazioni, che si dimostravano più economici dei cavi interrati. Per le trasmissioni attraverso bracci di mare (inizialmente la Manica) e poco dopo attraverso oceani, si dovette necessariamente far ricorso a cavi isolati e deposti sul fondo a mezzo di apposite navi, dette posacavi. L'idonea progettazione di questi sistemi fu possibile sulla base della teoria elettromagnetica applicata al comportamento di (lunghe) linee elettriche, e cioè utilizzando la cosiddetta *equazione dei telegrafisti* (più tardi chiamata anche equazione dei telefonisti), cioè l'equazione differenziale alle derivate parziali che lega l'andamento della corrente e della tensione in funzione del tempo e della posizione lungo la linea.

Maggiore cura richiesero le linee telefoniche, per le quali fu escogitato l'accorgimento della pupinizzazione (dal nome di Michael Idvorski Pupin (1858 - 1935), ingegnere ameri-

cano di origini ungheresi) cioè l'inserimento nelle linee telefoniche, ad intervalli regolari, di opportuni induttori (le bobine Pupin).

In campo telefonico prevalse ben presto, anche nei circuiti domestici, l'impiego del cosiddetto **doppino intrecciato** (*twisted pair*). Per la cosiddetta telefonia ad alta frequenza (con l'invio sullo stesso canale di più messaggi modulati su portanti diverse) intorno alla metà del Ventesimo secolo si diffuse, in alternativa ai ponti radio, l'impiego del **cavo coassiale**, costituito da due conduttori cilindirci, uno esterno tubolare e cavo, l'altro interno pieno, costituito da un filo cilindrico disposto lungo l'asse del primo, fra i quali è interposto uno strato di materiale isolante.

Gli sviluppi più recente in fatto di canali "fisici" è costituito dalle cosiddette **fibre ottiche**.

> L'espressione italiana *fibre ottiche* (come si preciserà anche parlando di telecomunicazioni) è in realtà l'adattamento (piuttosto che la traduzione) dell'espressione inglese *fiber optics* che letterlmente significa "ottica a fibre".

L'invenzione delle fibre ottiche è dovuta al fisico inglese di origine indiana Narinder Kapany, operante presso l'Imperial College di Londra, che nel 1955 realizzò un filo di vetro entro il quale la luce poteva viaggiare "nello stesso modo della corrente elettrica in un cavo", come fu spesso detto, anche se il filo non seguiva un percorso rettilineo. In effetti l'interesse dell'invenzione divenne concreto ed importante solo dopo l'invenzione del laser, del 1960, ad opera del fisico americano Theodor Maiman (nato nel 1927), operante nei laboratori della Hughes. Il grande sviluppo delle fibre ottiche ha avuto luogo soprattutto negli anni Ottanta e Novanta del Ventesimo secolo, durante i quali si è avuto un rapidissimo incremento della lunghezza delle tratte (inizialmente molto brevi, di qualche decina di metri) dopo la fine di ciascuna delle quali è necessaria un'amplificazione del segnale, attenuatosi al di sotto di livelli accettabili.

10 Acquisizione e memorizzazione di informazioni.

1 Acquisizione di informazioni: strumenti e metodi di misura

Probabilmente la forma più antica di acquisizione di informazioni quantitative è rappresentata dal conteggio (di oggetti, di persone, di animali etc.): il primitivo allevatore di ovini, ad esempio, aveva la necessità di contare le sue pecore, per esempio la sera quando rientravano all'ovile, allo scopo di accertarsi che fossero rientrate tutte. Il conteggio, per , non implica una vera e propria operazione di misura, nel senso corrente del termine, il che cominciò a verificarsi, nei tempi antichi, soprattutto in tre campi: quelli delle lunghezze, dei pesi e degli intervalli di tempo.

Per le lunghezze ed i pesi (oggi, ovviamente, si parlerebbe di masse, come avviene ad esempio nel Sistema Internazionale SI, ma per l'antichità sembra più appropriato parlare di pesi) il problema preliminare consiste nel disporre di ciò che, in termini moderni, potremmo chiamare un *campione*. Nel caso delle lunghezze questo poteva essere costituito da un'asta, di maggiore o minore lunghezza (a seconda del tipo di misura alla quale era adibita) o da una corda. Nel caso dei pesi da una pietra o da un pezzo di metallo.

Si trattava poi, sempre facendo uso di termini moderni, di adottare un "procedimento di misura" che consentisse di ottenere il risultato desiderato, eventualmente con l'aiuto di uno "strumento di misura".

Nel caso delle lunghezze il procedimento consisteva nello spostare successivamente l'asta in modo da sovrapporla a segmenti consecutivi della linea di cui si voleva valutare l'estensione, conteggiando il numero complessivo di spostamenti dell'asta stessa. Usando corde in luogo di aste si poteva valutare anche la lunghezza di archi di curve (ed è più che probabile che ciò sia effettivamente avvenuto già in tempi abbastanza antichi).

> Un'alternativa poteva essere costituita dall'utilizzazione, in luogo dell'asta o della corda, di parti del corpo umano: il dito (in particolare il pollice), il palmo, l'avambraccio (cubito), il piede, l'apertura delle due braccia, oppure l'estensione di un passo (o di un doppio passo, cioè la distanza fra la posizione assunta dalla punta di uno stesso piede quando questo viene portato da dietro a davanti l'altro piede, mentre quest'ultimo rimane fermo); in proposito si può ricordare che le parole utilizzate in questo elenco sono diventate, storicamente, le denominazioni di unità di misura molte delle quali sono rimaste in uso fino a tempi vicini a noi (ed alcune non sono ancora completamente abbadonate, anche se non sono inserite fra quelle ufficiali del Sistema Internazionale).

Il procedimento indicato porterebbe ad un numero intero di spostamenti dell'asta di misura che costituisce la valutazione approssimata (per eccesso o per difetto) della lunghezza da misurare. Ricorrendo però ad aste con tacche che le dividevano regolarmente in sottomultipli o a corde metriche con nodi regolarmente intervallati, l'approssimazione poteva essere notevolmente migliorata (si trattava, in sostanza, di un modo di ottenere lo stesso risultato che veniva ottenuto misurando una certa lunghezza a passi o a braccia e poi completando la misura, in piedi o cubiti, e poi ancora in spanne e pollici).

Nel caso dei pesi il procedimento di confronto con il campione richiedeva un vero e proprio strumento di misura che, sostanzialmente, era una leva. Tale è infatti la *bilancia a braccia uguali* (l'etimologia della parola è da *bis*= 2 e *lanx* = piatto) con la quale l'oggetto da pesare viene posto su uno dei due piatti e sull'altro si collocano, fino a raggiungere l'equilibrio, più pesi campione (di varia taglia per ottenere la precisione voluta senza dover ricorrere ad un numero troppo grande di pesi, come avverrebbe se questi fossero tutti uguali e di valore tanto più piccolo quanto maggiore è la precisione desiderata). Una leva è pure la *stadera*, ad un solo piatto, in cui l'equilibrio si ottiene spostando un contrappeso (il *romano*) su un'asta graduata.

In fasi più evolute dell'antichità si svilupparono, utilizzando la geometria, procedure indirette per la misura di superfici (piane) a partire da misure di lunghezze. Successivamente vennero messi a punto anche strumenti per la misura di angoli (come la tavoletta pretoriana con diottra sistematicamente adottata dai Romani ad esempio per i loro accampamenti).

Nel caso dei volumi, almeno per ciò che riguarda l'antichità, è più appropriato parlare di misure di *capacità*, per le quali si faceva uso di "contenitori campione" come anfore calibrate, otri o, nel caso degli aridi, anche sacchi; la parola " anfora" è rimasta a lungo la denominazione di un'unità di misura di capacità.

Per le misure relative al tempo si deve distinguere fra gli strumenti atti ad indicare l'ora del giorno (in corrispondenza alla posizione del sole) e quelli adatti a misurare intervalli di tempo.

Nel primo caso da un bastone piantato sul terreno della cui ombra si rilevava la posizione, si svilupparono le *meridiane* con gnomone verticale o orizzontale e con opportune scale graduate.

> In proposito vale la pena di ricordare che, fino allo sviluppo degli orologi meccanici, l'ora (diurna) era definita come la dodicesima parte del tempo intercorrente fra il sorgere ed il tramontare del sole e quindi la sua durata variava con le stagioni. Si può anche notare che, in varie culture, la divisione in periodi successivi dell'intervallo di tempo fra il tramonto e l'alba non si serviva dell'ora (notturna, più breve quanto più lunga era l'ora diurna e viceversa) ma di altre unità di misura, per esempio presso i Romani la notte era divisa in quattro *vigiliae* corrispondenti a turni di guardia.

Per gli intervalli di tempo si usavano dei veri e propri "campioni", quali tipicamente le *clessidre*, ad acqua o a sabbia, e per applicazioni particolari si poteva far riferimento anche a candele che si consumavano con regolarità diminuendo quindi di lunghezza per quantità uguali in tempi uguali.

In periodo ellenistico vennero anche costruiti *orologi ad acqua*, basati su meccanismi che garantivano la costanza della portata di un flusso d'acqua che si accumulava in un recipiente a pareti verticali il cui livello variava quindi linearmente con il tempo. Un'altra soluzione consisteva nel riempire alternativamente coppie di contenitori di ugual volume, congegnati

in modo che il completo riempimento di uno di essi ne provocasse lo svuotamento ed il passaggio del flusso di alimentazione all'altro contenitore.

Un orologio ad acqua del primo dei tipi indicati fu inventato ad Alessandria da Ctesibio (III secolo a. C;) ed è descritto da Vitruvio nel suo trattato *De Architectura*.

Orologi idraulici più o meno elaborati continuarono ad essere realizzati durante il Medioevo soprattutto fra i Bizantini e gli Arabi, gli uni e gli altri eredi della cultura greca ed ellenistica. In Occidente, invece, intorno alla metà del tredicesimo secolo furono inventati gli orologi meccanici del tipo a *verga e foliot*. I primi orologi a pendolo furono realizzati nel diciassettesimo secolo (uno ne progettò Galileo, poco prima di morire e suo figlio Vincenzo ne curò una parziale realizzazione, l'invenzione dell'orologio a pendolo è però abitualmente attribuita a Christiaan Huygens che ne costruì alcuni esemplari fra il 1656 ed il 1661).

Strumenti di misura per grandezze fisiche di altra natura cominciarono ad essere concepiti e realizzati solo quando l'evoluzione della fisica consentì di mettere a fuoco in modo corretto le relative nozioni.

Così i primi *termometri* (basati su vari principi ed utilizzati anche a scopo clinico) cominciarono ad essere costruiti nei primissimi anni del diciassettesimo secolo da Galileo e da Santorio Santorio (1561 - 1636), ma le scale termometriche furono fissate solo nel 1724 da Gabriel Daniel Fahrenheit (che nel 1714 era stato il primo a sostituire il mercurio all'acol nel tubo termometrico), nel 1728 da RenéAntoine de Reaumur e nel 1741 da Anders Celsius.

> Come è noto, Fahrenheit aveva scelto lo zero della sua scala alla temperatura più bassa alla quale congela l'acqua salata, e aveva fissato il valore 100 in corrispondenza alla temperatura di una febbre abbastanza elevata nell'uomo (più precisamente la temperatura corporea fisiologica - poco meno di 37 gradi centigradi - corrispondeva al grado 96 della scala di Fahrenheit); Reaumur e Celsius scelsero i punti base della scala in corrispondenza al punto di congelamento dell'acqua pura ed al suo punto di ebollizione alla pressione atmosferica ma Reaumur divise questo intervallo in ottanta gradi mentre Celsius lo divise in cento gradi e per questo le rispettive scale vengono chiamate anche scala ottantigrada e scala centigrada.

Il barometro per le misure di pressione (inizialmente soprattutto della pressione atmosferica) fu inventato nel 1644 da Evangelista Torricelli (1608 - 1647). Barometri di uso più pratico, non impieganti mercurio e perciò detti *aneroidi* (cioè senza liquido) o *olosterici* (cioè completamente solidi) furono inventati solo nel diciannovesimo secolo; il primo modello, del 1843, si deve al francese Lucien Vidie (1805 - 1866).

Con lo sviluppo della fisica ed anche in rapporto ad esigenze del progresso tecnico e delle applicazioni pratiche si misero a punto strumenti (tipicamente a galleggiante, già concepiti per applicazioni particolari nell'antichità) per la misura di livelli di liquidi e strumenti (inizialmente del tipo a mulinello) per la misura di portate. In questo campo va ricordato il *tubo di Pitot*, dovuto al fisico ed ingegnere idraulico francese Henri Pitot (1695 - 1771).

Attenzione particolare, in quest'ambito, meritano gli strumenti di misura relativi alle grandezze elettriche, sia perché di più diretto interesse nel campo delle tecnologie dell'informazione, sia perché si riferiscono a quantità di cui non si ha una percezione diretta con gli organi di senso (vista, tatto etc.) come avviene per lunghezze, pesi, temperature, livelli ed anche (in qualche misura) per portate e pressioni.

> Non è un caso che nelle scuole di ingegneria l'insegnamento delle "misure elettriche" (e poi anche elettroniche) abbia avuto un ruolo di particolare rilievo ed una

diffusione ben maggiore di quelli relativi alle "misure meccaniche e termiche" o alle "misure idrauliche" (anche se un discorso completamente diverso, nel campo dell'ingegneria civile, va fatto per gli insegnamenti di "topografia"). Per quel che riguarda la situazione italiana si possono ricordare cattedre di misure elettriche istituite già nel periodo fra le due guerre ed il fatto che, nel riordinamento degli studi di ingegneria del 1960, l'insegnamento di Misure Elettriche era inserito fra quelli obbligatori sul piano nazionale per i corsi di laurea in Ingegneria Elettrotecnica ed in Ingegneria Elettronica mentre un ruolo analogo non veniva riconosciuta ad altri insegnamenti di misure (se si prescinde dalla Topografia).

A proposito degli strumenti di misura per le grandezze elettriche si può sostenere che nel decennio dal 1788 al 1798 Volta abbia posto le basi dell'elettrometria moderna, costruendo singificativi strumenti (elettrometri etc.); questo suo interesse per tali problemi è ben compendiato dalla sua esclamazione "E che mai può farsi di buono, se le cose non si riducono a gradi e misure?" che mostra come sentisse profondamente l'esigenza di passare dagli aspetti qualitativi a quelli quantitativi dei fenomeni elettrici.

Ad opera prima di fisici e poi di ingegneri, nel XIX secolo e nella prima metà del XX furono messi a punto, perfezionati, prodotti industrialmente e commercializzati i principali strumenti per la misura di grandezze elettriche (voltmetri, amperometri, wattmetri, ohmmetri e "contatori" cioè misuratori di energia erogata o assorbita) nonché di procedimenti di misura (in vari casi automatizzabili), quali quelli che si basano sull'equilibramento di *ponti*.

A questi strumenti si vennero affiancando quelli "elettronici"; i primi di essi, per esempio i cosiddetti *voltmetri a valvola*, suscitarono dapprima varie perplessità (era abituale paragonare il loro impiego a "misure di lunghezza fatte con un metro di gomma!"); ben presto, tuttavia, si adottarono schemi impieganti amplificatori operazionali, che consentivano precisione ed affidabilità di misure completamente soddisfacenti, eliminando nel contempo i problemi tradizionalmente costituiti dall'effetto "di carico" esercitato dallo strumento di misura sul generatore della grandezza da misurare (per esempio la differenza di potenziale fra due nodi di una rete, concepita in base al principio di Thévenin (Leon Thévenin, 1857 - 1926) come equivalente, ai fini della misura considerata, ad un generatore di tensione ideale in serie con un'impedenza).

L'ultimo cinquantennio nel campo delle misure è stato caratterizzato dal passaggio da *tecniche prevalentemente analogiche* a *tecniche digitali*, incorporando nello strumento convertitori analogico-digitali, e da un'automatizzazione sempre più spinta, incorporando nello strumento di misura, accanto al visualizzatore finale del risultato, anche i componenti di un procedimento di misura (per esempio quelli di un ponte di impedenze) ed i componenti per l'esecuzione automatica di tale procedimento (nel caso del ponte, quelli per il suo equilibramento automatico).

Lo strumento di misura, in tal modo, diventa uno strumento complesso in cui la parte finale di visualizzazione ha un rilievo relativamento modesto rispetto alle operazioni di *elaborazione dell informazione* che portano dalla grandezza fisica di ingresso al segnale digitale che viene visualizzato (e spesso anche registrato).

In molti casi lo strumento include anche il cosiddetto *sensore* (o trasduttore) cioè il dispositivo fisico dove ha luogo un fenomeno in cui la grandezza da misurare (per esempio una temperatura) influenza in modo univoco una grandezza elettrica (per esempio una differenza di potenziale) che viene poi amplificata, condizionata, convertita in forma digitale ed infine elaborata.

2 Registrazione e memorizzazione

Forme primitive di memorizzazione di dati possono essere individuate nelle tacche incise dall'uomo primitivo su ossa, corna di animali, rami d'albero etc. per eseguire e registrare i risultati di operazioni di conteggio. In questo caso, per usare un termine moderno, si può dire che il sistema di numerazione adottato fosse quello unario, con cui si possono rappresentare gli interi positivi utilizzando un solo simbolo (la tacca) ripetuto tante volte quante corrispondono alla cardinalità dell'intero che si considera.

Ovviamente si potrebbe parlare di memorizzazione di informazioni anche a proposito delle immagini pittoriche di cui si sono conservate testimonanze e tuttavia, in questi casi, generalmente, si tende a pensare che l'aspetto che qui potrebbe interessare più direttamente sia assai meno rilevante di quelli magico-religiosi o, eventualmente, estetici.

Il discorso è invece molto più concreto quando si ha a che fare con i sistemi di scrittura, in particolare per quelli alfabetici, e con i sistemi di rappresentazione dei numeri (in un secondo momento anche razionali e non solo interi, e dal terzo secolo a.C., almeno in Cina, anche negativi).

In questi contesti, infatti, si ha un supporto materiale su cui avviene la registrazione (le tavolette d'argilla mesopotamiche o le lastre di marmo, di granito, di pietra , poi il papiro, più tardi la pergamena, infine la carta) ed un alfabeto finito di simboli (*grafemi*) con i quali si codificano parole (tipicamente le lettere dell'alfabeto) e numeri (tipicamente le cifre). In altre culture (per esempio in quella andina) si hanno anche altri sistemi (per esempio gruppi di nodi su sistemi di cordicelle). Tuttavia si è ancora su un piano abbastanza diverso da quello cui appartengono i moderni sistemi di memorizzazione tipici delle tecnologie dell' informazione.

Ci si avvicina molto di più a questo campo con l'invenzione di Jospeh-Marie Jacquard (1752 - 1834) che nel 1801 realizzò un telaio in cui, mediante schede perforate (il termine *scheda* è recente, ai tempi di Jacquard si parlava di "cartoni" o "carte", in inglese *card*) si comandavano i fili di ordito da sollevare durante il percorso orizzontale della navetta volante (inventata da J. Kay che l'aveva brevettata nel 1733). La scheda perforata come elemento di memorizzazione fu poi presa in considerazione da Charles Babbage per il suo secondo progetto di macchina calcolatrice, l'*Analytical Engine*, concepito a partire dal 1834 e quindi entra a buon diritto fra i dispositivi di memoria di interesse per l'informatica. Accanto alle schede, specialmente per le elaborazioni statistiche, vennero poi usati anche i *nastri perforati* che, assieme alle schede, continuarono ad avere largo impiego nella prima fase dell'informatica del XX secolo, venendo poi sostituiti da nastri, tamburi e dischi *magnetici* (dei tipi adatti per segnali digitali) ed infine da dispositivi elettronici allo stato solido.

Negli elaboratori della prima generazione si utilizzarono anche altri tipi di memorie: in un primo momento si ebbe a che fare con dispositivi piuttosto curiosi, quali quelli utilizzanti linee di ritardo di vario tipo o quelli elettrostatici, e poi le memorie *a nuclei di ferrite*, organizzate in pagine, eventualmente raggruppate in modo da costituire un insieme tridimensionale.

In ambiti diversi da quello dell'informatica si possono citare come tecniche di memorizzazione (analogica) quelle della fotografia, sviluppatasi a partire dai primi tentativi del 1826 di Nicéphore Niepce (1765 - 1833) e del 1839 di Louis-JacquesMandé Daguerre, e poi della cinematografia che, dopo vari interessanti tentativi, ebbe la sua prima realizzazione concreta con il brevetto del 1895 dei fratelli Auguste Lumière (1862 - 1954) e Louis-Jean Lumière (1864 - 1948).

Per la registrazione dei suoni si possono citare il fonografo a cilindro del 1877, di Thomas Alva Edison (1847 - 1931) ed il grammofono a disco (di dieci anni dopo, ma già concepito nello stesso 1877 da Charles Cros (1842 - 1888)) di Emil Berliner (1861 - 1929). Per la registrazione di segnali analogici del tipo di quelli per i quali si utilizzavano i dischi grammofonici, inteno alla metà del secolo Ventesimo si vennero diffondendo registratori a filo (metallico magnetizzabile), ben presto abbandonti e poi a nastro magnetico, a densità di registrazione a mano a mano crescente).

Per la registrazione di linee del piano, di forme d'onda etc. vennero sviluppati vari tipi di registratori (alcuni per finalità specifiche come gli elettrocardiografi, gli elettroencefalografi ed altre apparecchiature per uso clinico); un'alternativa all'impiego di questi può essere considerato l'oscillografo (più precisamente l'oscilloscopio) a memoria in cui una funzione del tempo veniva continuamente rigenerata in modo da consentire la permanenza sullo schermo della sua immagine; un'ulteriore alternativa fu quella di fotografare immagini oscilloscopiche.

Come nel campo degli strumenti di misura la tendenza attuale per la registrazione/memorizzazione di segnali analogici (unidimensionali o bidimensionali) è quella di convertire il segnale analogico in un segnale digitale, di elaborare quest'ultimo se opportuno o necessario, per esempio per eliminare artefatti, filtrare rumori etc. e procedere alla registrazione del segnale digitale.

11 Trasmissione di informazioni: le telecomunicazioni

1 I primordi delle telecomunicazioni

Il problema delle telecomunicazioni si manifesta in rapporto all'esigenza di ottenere una trasmissione di messaggi fra siti inaccessibili e/o in tempi più brevi di quelli che possono essere ottenuti con il trasporto materiale del supporto fisico del messaggio (per esempio il foglio su cui è scritto un testo) ad opera di corrieri.

> Anticamente i messi si spostavano a piedi ed erano quindi particolarmente addestrati alla corsa; fra i Greci è rimasto famoso Fidippide, che portò ad Atene la notizia della vittoria sui Persiani a Maratona (e morì per lo sforzo cui si era sottoposto nel desiderio di far pervenire ai concittadini quanto più presto possibile la testimonianza di quel successo militare; in ricordo di tale evento ancor oggi si dà il nome di Maratona ad una gara di corsa su una distanza corrispondente a quella da Maratona ad Atene). Più tardi si ricorse a messi a cavallo, che poterono poi avvalersi di un servizio di stazioni di "posta" (cioè di impianti in cui far riposare e rifocillare i cavalli o, all'occorrenza, sostituirli con cavalli freschi, eventualmente pernottare e consumare dei pasti); da tali stazioni deriva il nome del moderno servizio di dispacciamento delle lettere (il servizio "postale", appunto) ed anche, per analogia di funzioni, quello del relé dei primi collegamenti telegrafici elettrici: la parola francese rélais, prima di indicare tale dispositivo tecnico, era stata usata per il cambio di una muta di cani, durante la caccia, e poi - più tipicamente - per quello dei cavalli nelle stazioni di posta.

Quando l'urgenza di far arrivare l'informazione era maggiore ci si servì di segnali luminosi (falò o anche lanterne; segnali di fumo etc.).

> Una delle testimonianze più antiche di questa pratica si ha nel prologo dell'Agamennone di Eschilo nel quale la vedetta, sulla rocca di Argo, prima dichiara: "E ora spio il segnale di fiaccola, bagliore di fuoco che di Troia porti annuncio e voce di conquista" e poco dopo il segnale gli appare ed egli esulta: " Salve o face di notte che diurna luce rechi...Iù, Iù, a gran voce io annuncio alla casata di Agamennone [...] che [...] Ilio è stata presa, come questo fuoco rifulgendo annuncia".

Allo scopo potevano essere usati anche segnali acustici: nell'Europa del basso medioevo, ad esempio, le campane utilizzate per indicare le ore del giorno ed in particolare quelle dedicate alle funzioni del culto; ma anche le stesse campane suonate a martello per avvertire dell'imminenza di qualche disastro; ancora le campane oppure le trombe per chiamare a

raccolta la popolazione di una città; infine - di recente - le sirene, sia come segnalazione di pericolo, per esempio in tempo di guerra nel caso di incursioni aeree, sia per indicare l'inizio e la fine dei turni di lavoro negli opifici industriali.

Un limite alle possibilità di questi sistemi era posto dalla difficoltà di usare codici capaci di diversificare il messaggio da trasmettere in modo corrispondente alle necessità.

> Nell'antichità e nel medioevo (tipicamente fra i Bizantini) si ricorse ad espedienti ingegnosi; per esempio ci si basava sull'accordo che, all'invio di un segnale luminoso da parte della stazione trasmittente, si sarebbe accesa una candela "tarata" sia nella stazione trasmittente sia in quella ricevente, e che le due candele sarebbero state entrambe spente quando fosse partito il secondo segnale luminoso dalla stazione trasmittente; alla durata dell'intervallo fra i due segnali veniva associato, secondo un codice concordato, un determinato messaggio e tale durata veniva scelta nella stazione trasmittente in base al messaggio da trasmettere e valutata in base al consumo della candela, mentre il consumo (che si supponeva pressoché uguale) della candela nella stazione ricevente permetteva in tale sede di identificare la durata dell'intervallo fra i due segnali e quindi il messaggio trasmesso.
>
> Un altro sistema era quello di associare ciascun messaggio di un insieme (evidentemente molto limitato) di messaggi diversi ad una specifica ora (della notte) nella quale veniva inviato il segnale luminoso dalla stazione trasmittente. Per distanze elevate (come quelle fra la frontiera siriana dell'Impero bizantino e la capitale Costantinopoli) si ricorreva ad un certo numero di stazioni ripetitrici intermedie; in tal caso una nuova difficoltà derivava dalla differenza di longitudine, per la quale l'ora "locale" della stazione trasmittente era apprezzabilmente diversa da quella della stazione ricevente finale e bisognava tener conto di questa differenza.
>
> In alternativa si potevano usare codici relativi alle lettere dell'alfabeto (ed eventualmente alle cifre utilizzate per la rappresentazione dei numeri) ma i codici di questo tipo utilizzati più di frequente erano alquanto inefficienti, come lo è, ad esempio, quello di cui si legge in vari romanzi (in particolare nella Certosa di Parma, di Stendhal) in cui ciascuna lettera dell'alfabeto veniva rappresentata da una sequenza di simboli elementari (colpi battuti su un muro, accensioni e spegnimenti di una lanterna cieca etc.) il cui numero corrispondeva alla posizione, nell'alfabeto di corrente impiego, della lettera che si voleva a mano a mano trasmettere (ad esempio un colpo o un impulso luminoso per la lettera A, due per la lettera B etc.).

Un momento importante nello sviluppo dei sistemi di trasmissione ottica si verificò in corrispondenza alle iniziative del fisico francese Claude Chappe (1763 - 1805), che aveva pensato di risolvere i problemi delle comunicazioni a distanza mediante segnali acustici (e forse anche elettrici) ma si era poi orientato verso l'impiego di segnali ottici, costituiti in un primo momento dall'esposizione dell'una o dell'altra delle due facce di un pannello di legno con una faccia bianca ed una nera. Questo metodo fu sperimentato con successo nel marzo del 1791, utilizzando come stazioni trasmittenti/riceventi o ripetitrici campanili, torri o altri punti elevati, in visibilità reciproca (con l'aiuto di un cannocchiale). Dopo ulteriori esperienze, nel marzo 1972 Chappe presentò all'Assemblea Legislativa la sua invenzione: si trattava, ora, di utilizzare "semafori" (la parola fu usata in questa occasione nel senso etimologico di portatori di "segni" informativi) nei quali certe assicelle di legno venivano posizionate utilizzando un sistema di funi e pulegge: ogni combinazione di posizioni di ciascuna delle assicelle corrispondeva ad un simbolo e doveva essere ripetuta sul semaforo della stazione successiva della catena di trasmissione.

Il sistema venne denominato inizialmente *tachigrafo* e poi, ben presto, *telegrafo*. La denominazione di "telegrafo ottico" fu adottato più tardi, in contrapposizione al telegrafo elettrico.

> Sulla base di relazioni favorevoli, il progetto di Chappe fu approvato dalla Convenzione (la "camera" elettiva che era succeduta all'Assemble Legislativa) e questa il 4 agosto del 1793, in pieno Terrore, decise la costruzione di una linea telegrafica fra Parigi e Lille. L'anno successivo, il 15 agosto 1794, poco dopo la caduta di Robespierre e l'istaurazione del regime termidoriano, il telegrafo permise di trasmettere tempestivamente a Parigi la notizia di un importante successo militare: la resa di Quesnoy; il 13 ottobre di quell'anno fu decisa la realizzazione di una linea fra Parigi e Landau; poco dopo Hoche fece attivare una linea fra Parigi e Brest a sostegno della sua campagna contro i Vandeani.

Il telegrafo ottico ebbe ben presto una larga diffusione, passando dagli impieghi militari, ai quali era stato inizialmente adibito, all'uso per finalità civili. Lo stesso Chappe pensò di trarre partito dalla sua invenzione sfruttandola per il commercio e la meteorologia; si trovò però di fronte a spregiudicati concorrenti che avevano adottato con minimi adattamenti i suoi metodi e che portarono al fallimento delle sue iniziative commerciali, spingendolo infine al suicidio.

2 I progressi delle telecomunicazioni nel diciannovesimo secolo.

Si desidera anzitutto far presente che il titolo di questa sezione non va preso alla lettera, in quanto si riferisce alle tecniche di telecomunicazione che sono iniziate ed hanno raggiunto una fase di maturità già nel diciannovesimo secolo, accennando però anche ai loro sviluppi nel secolo successivo. L'indicazione fornita dal titolo ha, quindi, più valore tematico che valore cronologico.

Come si è accennato Chappe, e del resto anche altri prima e dopo di lui, avevano pensato di servirsi dell'elettricità per trasmettere messaggi ma la cosa divenne concretamente possibile solo dopo l'invenzione della pila (1800).

Si arrivò così al telegrafo elettrico. Anche a proposito di questa invenzione, come del resto per molte innovazioni tecnologiche, è opportuno distinguere fra l'enunciazione di una possibilità, le prime sperimentazioni intese a dimostrare la fattibilità del progetto, la messa a punto di un sistema efficiente ed economico e la diffusione del suo impiego pratico.

Già nel 1833 Karl Friedrich Gauss (1777 - 1855) e Wilhelm Eduard Weber (1804 - 1891), nel quadro dei loro studi sul magnetismo, avevano messo a punto un sistema elettrico per una pronta trasmissione e registrazione delle loro misure; nel 1835 il fisico inglese Charles Wheatstone (1802-1875) brevettò il primo telegrafo ad ago di uso pratico; nel 1837 brevettò un ulteriore tipo di telegrafo elettrico e, con William Cooke (1806 - 1879), ne sviluppò l'attuazione nel quadro di una collaborazione con la London and Birmingham Railway Company. Si trattava però di un sistema piuttosto complesso in cui si ricorreva a cinque galvanometri il cui ago, spostandosi su un quadrante, indicava lettere dell'alfabeto, in modo da formare parole. Nel 1841 Wheatstone realizzò il primo telegrafo stampante e nel 1845 il telegrafo ad un solo ago.

Nel frattempo l'americano Joseph Henry (1797 - 1858) aveva realizzato, già nel 1835, il relé cioè un elettromagnete che, in corrispondenza al passaggio della corrente nel suo circuito di alimentazione, apre o chiude un interruttore inserito in un altro circuito. In

coerenza con i suoi atteggiamenti generosamente disinteressati, Henry, per , non richiese un brevetto per questa sua invenzione.

Il relé permise la realizzazione del sistema telegrafico che si affermò poi definitivamente, ad opera dell'inventore e pittore americano Samuel Finley Breese Morse (1791 - 1872). Merito di Morse è da un lato l'aver pensato di sfruttare il relé per la trasmissione di segnali, dall'altro quello di aver ideato un codice di notevole efficienza.

Le prime idee in proposito furono concepite da Morse fin dal 1832, durante la traversata atlantica che lo riportava negli Stati Uniti, sua patria, dall'Inghilterra dove si era recato per studiare pittura. In un primo momento aveva pensato di adottare un codice efficiente ma poco pratico in cui si utilizzava un certo insieme di parole, ciascuna rappresentata da un numero; questo codice fu messo definitivamente a punto nel 1837 ma fu poi abbandonato fin dall'anno successivo, a favore del codice che va sotto il nome di "alfabeto Morse". Di questo si dice correntemente che utilizza solo due simboli, il punto e la linea. Sarebbe più corretto dire, per , che in esso si utilizzano tre simboli in quanto, oltre alla linea ed al punto, svolge una funzione essenziale anche l'intervallo fra le sequenze di punti e/o linee che corrispondono a ciascuna lettera, dato che queste sequenze sono formate da un numero diverso di elementi e, quindi, è necessario indicare quando ciascuna sequenza termina.

Il sistema di telegrafo elettrico di Morse si avvaleva, per la trasmissione, di un tasto che interrompeva e richiudeva un circuito elettrico facendo circolare la corrente per intervalli di tempo più brevi, corrispondenti ai punti, per intervalli più lunghi, corrispondenti alle linee e lasciando il circuito interrotto, alla fine di ciascuna sequenza corrispondente ad una lettera, per un intervallo di tempo maggiore di quelli che separano i punti e le linee all'interno di una stessa sequenza. In ricezione un elettromagnete azionava una punta scrivente che imprimeva su una strisica di carta un segno più corto o più lungo. Fra la stazione trasmittente e la stazione ricevente erano interposte stazioni ripetitrici nelle quali un relè azionato dalla corrente circolante nel canale di arrivo, colegava l'apposita batteria locale al circuito che costituiva il canale di collegamento verso la successiva stazione ripetitrice o la stazione ricevente. L'invenzione poteva considerarsi compiuta, nei suoi vari aspetti (concernenti sia la circuiteria, sia il codice), fin dal 1838 ma il brevetto chiesto da Morse gli fu concesso solo nel 1854, dopo lunghe e defatiganti controversie legali con altri inventori.

È interessante notare che Morse aveva intuito (anche se forse non in maniera completamente conscia) l'importanza del problema di efficienza del codice, tanto è vero che associò la sequenza più semplice (e più breve), quella costituita da un solo punto, alla lettera alfabetica più frequente in inglese (che è la E); la sequenza immediatamente meno breve (una linea) alla lettera che è la seconda per numero di ricorrenze (cioè la T, sempre nel caso dell'inglese; in italiano sarebbe la I) e così via, in modo da utilizzare simboli (sequenze di punti e linee) la cui trasmissione richiede minor tempo per le lettere che si incontrano più di frequente e simboli a mano a mano più lunghi per le lettere più rade. Allo scopo, per altro, Morse non si giovò di tabelle di frequenza basate sullo spoglio di un opportuno insieme di testi ma, con brillante intuizione, fece riferimento al numero di caratteri contenuti nei diversi scomparti delle cassette dei tipografi (che l'esperienza aveva portato a tenere a disposizione più caratteri per le lettere di impiego più frequente e meno per quelle di uso più rado).

In concreto la scelta di Morse si rivelò molto efficace, tanto che, adottando criteri moderni, la velocità di trasmissione potrebbe essere aumentata solo del 15%.

La costruzione delle prime linee telegrafiche su distanze apprezzabili impose la scelta fra linee aree e cavi interrati, che si risolse a favore delle prime perché i cavi davano

luogo a fenomeni di *distorsione* inaccettabili. Tuttavia, se su percorsi in terraferma si poteva evitare il cavo (interrato), il suo impiego diveniva indispensabile nelle trasmissioni transoceaniche, dove fu necessario ricorrere a cavi sottomarini, con tutti i problemi che tale scelta obbligata comportava e per i quali si dovettero studiare opportune soluzioni (non solo per il funzionamento elettrico ma anche per gli aspetti logistici relativi alla posa del cavo, per la quale furono concepite, realizzate ed impiegate apposite navi, chiamate appunto "posacavi"); il primo cavo sottomarino fu quello che collegò l'Inghilterra alla Francia nel 1851; il primo cavo transatlantico fra l'Inghilterra e gli Stati Uniti, dopo alcuni fallimenti dovuti alle enormi difficoltà, entrò in funzione nel 1858.

Le distorsioni sono dovute al fatto che un segnale telegrafico, che in trasmissione ha una forma costante a tratti (assumendo alternativamente l'uno o l'altro di due valori di tensione), in ricezione assume la forma di un segnale che sale gradualmente fino al valore più elevato e poi ridiscende altrettanto gradualmente al valore più basso, presentando così una "coda" abbastanza lunga. Ciò ha, inevitabilmente, effetti negativi sul ritmo al quale possono essere trasmessi treni di impulsi rettangolari se si vuole evitare che la "coda" del precedente si sovrapponga alla fase di avvio del successivo, in modo da poterli agevolmente individuare in ricezione.

Un altro fenomeno che danneggia l'intelligibilità di un messaggio ricevuto è legato al manifestarsi di *rumori*, sovrapposti al segnale utile, dovuti ad esempio a scariche atmosferiche, a tempeste magnetiche etc.

Da problemi nati nel contesto di applicazioni pratiche venivano così emergendo concetti, come appunto quelli di distorsione e di rumore, che non erano legati in modo diretto alla natura fisica dei segnali in gioco e che avrebbero trovato invece un inquadramento soddisfacente nell'ambito della teoria dell'informazione.

Altri problemi di questo tipo si vennero ponendo quando, con le invenzioni di Antonio Meucci (1808 - 1889) e di Alexander Graham Bell (1847 - 1922)), cominci a diffondersi il telefono e quindi si ricorse a segnali che, per usare la terminologia odierna, dovremmo chiamare analogici, anziché digitali come i segnali telegrafici.

Meucci, nato a Firenze ed emigrato, per motivi politici, prima a Cuba e poi negli Stati Uniti, era un autodidatta interessato ai fenomeni dell'elettricità e del magnetismo che nel 1857 aveva costruito un apparecchio, costituito da un diaframma vibrante collegato ad un magnete, atto a trasdurre segnali acustici in segnali elettrici e viceversa e che poteva essere utilizzato per trasmettere suoni (trasdotti in segnali elettrici, trasmessi a distanza con un opportuno collegamento e ritrasdotti in segnali acustici). Il sistema fu brevettato nel 1871.ò

Bell era un fisiologo americano di origine scozzese (docente di fisiologia degli organi vocali all'Università di Boston) che, partendo dallo studio di problemi di rieducazione e di protesi per audiolesi, arriv a realizzare un apparecchio telefonico che brevettò nel 1876 e per il cui sfruttamento industriale costituì la Bell Company. Sorse quindi una lunga disputa giudiziaria fra Bell e Meucci, che si concluse - sul piano formale - con l'accertamento, nel 1886, della priorità dell'invenzione di Meucci, il cui brevetto era però già scaduto da 13 anni (in quanto non rinnovato per le difficoltà economiche in cui versava l'inventore) mentre - sul piano concreto - l'accordo fra la Bell Company e la Western Telegraph determinò il successo di fatto delle iniziative industriali di Bell.ò

Come in altri casi, del resto, anche in quello del telefono vi furono parecchi altri tentativi, precedenti o contemporanei alle realizzazioni di Meucci e di Bell. In particolare in Italia l'aostano Innocenzo Manzetti (1826 - 1877), inventore e realizzatore di ingegnosi dispositivi meccanici, nel 1840 ide un dispositivo, che chiam "telegrafo parlante", e nel 1844 ne concepì

l'impego per la trasmissione a distanza della voce, realizzando dieci anni dopo un sistema praticamente funzionante che però non pensò di brevettare.

Dal punto di vista dell'impiego, il sistema telefonico si distinse ben presto dal sistema telegrafico per un aspetto di rilevante importanza ma non strettamente tecnico: il messaggio telegrafico doveva essere "battuto" in codice Morse con l'apposito tasto (più tardi si sarebbero utilizzate le telescriventi) e ciò richiedeva un operatore "specializzato", inoltre il messaggio ricevuto andava decodificato; invece l'impiego dell'apparecchio telefonico, ben più complesso del tasto telegrafico, non richiedeva una competenza particolare da parte dell'utente, in quanto in trasmissione si trattava semplicemente di parlare ed in ricezione di ascoltare.

Per tali motivi chi voleva inviare un telegramma doveva rivolgersi ad un ufficio telegrafico (e l'ufficio ricevente avrebbe poi fatto recapitare al destinatario il testo in chiaro di quel messaggio) mentre nel caso del servizio telefonico l'apparecchio ricevente e trasmittente poteva essere installato nell'abitazione privata dell'utente.

Ciò però comportava un problema con aspetti nuovi rispetto a quelli del sistema telegrafico e cioè quello di collegare l'utente chiamante con l'utente chiamato, essendo ovviamente assurdo pensare, al di sopra di un minimo numero di utenti, all'adozione di una linea fissa di connessione fra un utente e ciascun altro utente. La prima soluzione fu quella della centrale telefonica non automatica, in cui ciascun utente disponeva di un collegamento fisico bidirezionale fisso con la centrale e chiedeva all'operatore residente nella centrale (la "signorina", come si diceva, trattandosi quasi sempre di personale femminile) di collegare la sua linea a quella di un altro specificato utente, ciò che veniva fatto manualmente (ben presto con l'impiego di un apposito elemento di connessione detto jack).

Successivamente si pass , gradualmente, al sistema automatico, con il quale nell'apparecchio telefonico chiamante lo "sgancio" del microtelefono (cioè dell'auricolare o, successivamente, dell'unico elemento, il cosiddetto "osso da morto" che comprende sia il microfono sia il microtelefono) stabilisce il collegamento con la centrale (normalmente interrotto quando il microtelefono è agganciato) ed un apposito dispositivo (inizialmente il disco combinatore, successivamente la tastiera) invia un segnale digitale che attiva organi di commutazione (prima elettromeccanici, tipicamente i selettori, poi sostituiti da sistemi più evoluti, come quello denominato crossbar, e successivamente sistemi elettronici, tipicamente allo stato solido ed oggi ad elevato livello di integrazione) i quali collegano il terminale in centrale della linea dell'utente chiamante a quello della linea dell'utente chiamato. Il sistema si è successivamente evoluto fino al livello attuale di completa automatizzazione su scala mondiale (in Italia fino agli anni Settanta del Ventesimo secolo i collegamenti interurbani venivano ancora effetttuati maualmente).

I problemi tecnici della telefonia venivano così articolandosi in due settori distinti: quelli relativi alla trasmissione e quelli relativi alla commutazione.

Ai problemi di commutazione si è già fatto cenno; per quanto riguarda quelli di trasmissione si possono citare i provvedimenti intesi a migliorare il comportamento delle linee, riducendo la distorsione, limitando l'attenuazione ed interponendo stazioni amplificatrici (utilizzanti prima tubi elettronici, con funzioni analoghe a quelle dei relé nei collegamenti telegrafici, e poi transistor).

I problemi relativi furono affrontati sia da scienziati (in particolare da fisici) sia da tecnici (ingegneri). Per esempio nel 1855 William Thomson (1824 - 1907), che successivamente sarebbe stato insignito del titolo di Lord Kelvin sotto il quale è più noto, calcolò il valore dell'intensità di corrente che deve essere ricevuta attraverso un cavo sottomarino

in corrispondenza alla trasmissione di un segnale telegrafico. Ovviamente i risultati fondamentali di James Clerk Maxwell (1831 -1879) sulla teoria dell'elettromagnetismo, messi a punto fra il 1861 ed il 1873, furono di rilievo in molti campi delle telecomunicazioni (ma soprattutto nel campo della radiotecnica). Importanti contributi ai problemi più legati alle questioni di telegrafia e telefonia vennero dati anche dal grande matematico e fisico matematico francese Henry Poincaré (1854 - 1912) e dall'inglese Oliver Heaviside (1850 - 1925) una figura irregolare di studioso, per vari rispetti eccentrica ma certamente geniale.

Venendo ad aspetti più strettamente tecnici si possono citare i contributi di Thomas Alva Edison (1847 - 1931), che nella sua straordinaria versatilità si occupò anche di telecomunicazioni e del fisico Mihailo (Michael) I. Pupin (1858 - 1935), nato nella Voivodina, allora parte del Regno d'Ungheria nell'ambito dell'Impero Austroungarico ma operante negli Stati Uniti. Pupin nel 1899 suggerì di inserire ad intervalli regolari lungo le linee telefoniche opportuni avvolgimenti (le cosiddette "bobine Pupin"); il procedimento, detto "pupinizzazione", si dimostrò molto efficace. Sono comunque da ricordare anche altri accorgimenti intesi a limitare gli effetti di diafonia e l'impiego, ai diversi livelli, di conduttori di tipo adatto, quali il cosiddetto doppino telefonico (*twisted pair*) e più tardi, sulle lunghe distanze, il cavo coassiale o i"ponti radio" e, verso la fine del Ventesimo secolo, i collegamenti in fibra ottica, come si è già accennato nel capitolo II.1.

Un altro ritrovato molto importante fu quello di utilizzare uno stesso collegamento fisico per trasmettere più messaggi (per esempio ciascuno su una propria banda) ma questo tipo di trattamento si attua non solo per la telefonia ma anche per la radiofonia e, quindi, se ne tratterà successivamente, in termini più generali.

3 Le telecomunicazioni nel ventesimo secolo

Radiotelegrafia e Radiofonia

Come si è ricordato, James Clerk Maxwell nella seconda metà del diciannovesimo secolo diede un fondamentale contributo alla teoria dell'elettromagnetismo, suscitando in tutto il mondo scientificamente avanzato il più vivo interesse per tale tema, sia sul piano teorico sia su quello delle possibili applicazioni. Ulteriori passi fondamentali in tale area furono compiuti ad opera del fisico tedesco Heinrich Rudolph Hertz (1850 - 1894) che diede dimostrazioni sperimentali dell'esistenza delle onde elettromagnetiche. In Italia a questi temi si dedicò particolarmente Augusto Righi (1850 - 1920), già allievo di Pacinotti e professore di Fisica a Palermo ed a Padova prima di passare alla cattedra di tale materia nella sua città natale, Bologna. In Russia operò in questo settore Aleksandr Stepanovic Popov (1859-1906, ma 1905 secondo il calendario giuliano allora vigente in Russia) il cui nome è noto al gran pubblico per le polemiche (postume) circa la priorità, oggi ufficialmente riconosciuta a Guglielmo Marconi, della trasmissione di segnali mediante onde elettromagnetiche.

Guglielmo Marconi (1874-1937) dimostrò notevolissime qualità di inventore e di imprenditore, ed anche - in certa misura ed in un suo modo non canonico - di scienziato. Egli fu sostanzialmente un autodidatta, che non seguì corsi di studio regolari ma ebbe modo di conoscere Augusto Righi e di frequentare il suo laboratorio. Uno dei meriti principali di Marconi fu certamente quello di aver intuito la possibilità di trasmettere segnali a distanza per mezzo di onde elettromagnetiche, e quindi senza la necessità del collegamento a mezzo di un conduttore elettrico fra la stazione trasmittente e la stazione ricevente: questo aspetto della nuova tecnica fu quello che colpì maggiormente il gran pubblico, come è

testimoniato anche sul piano linguistico dal fatto che prima che si diffondesse il prefissoide "radio-" (come ad esempio in radiocomunicazioni, radiotecnica etc.) si usarono le parole *wireless* in inglese, *sans fils* in francese e *senza fili* (per esempio in "telegrafia senza fili") in italiano.

Questa possibilità non era stata tenuta in conto da Augusto Righi e, prima di lui, Hertz l'aveva volutamente ignorata.

I primi esperimenti significativi in questo campo furono fatti da Marconi durante la primavera del 1895, nella Villa Griffone, presso Bologna, dove abitava la sua famiglia. Si servì di un tipo di generatore di onde elettromagnetiche sviluppato da Righi, di un'antenna trasmittente piuttosto semplice ed utilizzò come rivelatore un dispositivo ideato dal fisico italiano Temistocle Calzecchi-Onesti (1853-1922) ed indipendentemente dal fisico francese Edouard Branly (1844-1890) e dal fisico inglese Oliver J. Lodge (1851-1940) che gli diede il nome di *coherer* con il quale è ricordato ancor oggi. I primi esperimenti consistettero inizialmente nella trasmissione di un segnale telegrafico (i tre punti della lettera S nell'alfabeto Morse) dalla soffitta della villa al giardino e poi, con esito più significativo, sulla distanza di poco più di un chilometro e superando un ostacolo, dalla villa ad un sito al di là della Collina di Cappuccini.

Marconi cercò di interessare il governo italiano alle possibili applicazioni dei suoi risultati nel campo delle telecomunicazioni ma non trovò ascolto e decise di operare in Gran Bretagna (dove la famiglia della madre gli consentiva utili possibilità di contatti in vari ambienti). Dopo ulteriori tentativi che ebbero esito positivo anche su distanze apprezzabili (poco meno di dieci miglia), nel 1896 brevettò il suo sistema; fondò anche una sua Società, la Marconi, che fu a lungo leader nel settore, e si dedicò impegnativamente all'impiego su larga scala ed a perfezionamenti tecnici della sua invenzione. Nel 1898 ottenne il brevetto n^{c}*irc* 7777 relativo all'impiego di generatori, ricevitori, antenne trasmittenti ed antenne riceventi operanti alla stessa frequenza; nello stesso anno 1898 la regina Vittoria espresse a Marconi il suo compiacimento per aver egli realizzato un collegamento telegrafico fra il palazzo reale ed il panfilo in cui il Principe di Galles trascorreva una convalescenza.

Un successo molto notevole fu ottenuto alla fine del 1901 con la prima trasmissione transatlantica (dalla Cornovaglia a Terranova).

Fra i risultati successivi si possono ricordare l'impiego di un rivelatore (detector) magnetico nel 1902, l'impiego di valvole elettroniche fin dal 1904, l'adozione di un sistema per generare onde elettromagnetiche da modulare (nel 1912) che, con un più specifico impiego di valvole termoioniche (1913), portò nel 1914 alle prime applicazioni di radio(tele)fonia, premessa per i sistemi di radiodiffusione circolare (broadcasting) che successivamente ebbero largo sviluppo.

Nel frattempo (1909) Guglielmo Marconi aveva ottenuto il premio Nobel per la Fisica assieme a Karl Ferdinand Braun (1850-1918). Poco dopo, l'impiego della radiotelegafia ebbe un ulteriore motivo di grande risonanza nell'opinione pubblica mondiale in occasione dell'affondamento del Titanic (1912), che lanciò un S.O.S. raccolto da altre navi incrocianti nella zona, che così poterono intervenire salvando una parte dei naufraghi (l'impiego della radiotelegrafia nei transatlatnici datava ormai da una decina d'anni; fin dal 1903, inoltre, su questo tipo di navi erano stati attivati servizi di agenzia che consentivano di ricevere notizie aggiornate su quanto stava accadendo sulle due sponde dell'Atlantico).

Altri programmi significativi dell'attività di ricerca e delle sperimentazioni di Marconi e dei suoi collaboratori riguardarono, nel 1922, le tecniche di rilevazione della presenza di oggetti a distanza (che in certo modo prefiguravano il radar; attività più specifiche in

questo campo furono svolte nel 1933), il passaggio dalle onde lunghe alle onde corte (1928), l'utilizzazione di radiofari ad onde corte (1934). Negli ultimi anni Marconi si occupò anche della sperimentazione di trasmissioni televisive.

Quello che può essere considerato il risultato più notevole di Marconi, e cioè la realizzazione delle prime trasmissioni transatlantiche, mette bene in rilievo certi limiti, ma anche molti meriti della sua personalità. I fisici dell'epoca (e fra essi Righi) erano convinti che le onde elettromagnetiche non avrebbero potuto seguire la curvatura della Terra ma avrebbero dovuto propagarsi in linea retta; Marconi - a differenza degli scienziati "professionali" - non tenne conto dei loro pareri e con tenacia perseguì il suo obiettivo; in questo ebbe successo, ma ciò fu dovuto ad un fenomeno che non conosceva e non poteva prevedere, e cioè alla presenza della ionosfera, formata da strati ionizzati che riflettono le onde elettromagnetiche.

L'esistenza della ionosfera fu ipotizzata nel 1902, proprio per spiegare il successo della trasmissione transatlantica, indipendentemente da Arthur Edwin Kennelly (1861-1939) e da Oliver Heaviside (1850-1925) i cui nomi furono utilizzato per indicare quello che oggi viene chiamato lo strato E della ionosfera. La dimostrazione sperimentale della riflessione delle radioonde sugli strati della ionosfera fu data solo nel 1924 (e poi nel 1926 per uno strato più alto) da Edgar Victor Appleton (1892-1965) cui fu conferito il premio Nobel nel 1947.

Come si è accennato, le trasmissioni "senza fili" furono utilizzate, inizialmente, per trasmettere segnali di tipo telegrafico (il radiotelegrafista veniva spesso chiamato "marconista"); in un secondo momento si passò alla trasmissione di segnali telefonici (radiotelefono) e poi, utilizzando lo stesso principio, per la radiodiffusione circolare di programmi vocali e musicali (la cui organizzazione cominciò negli anni Venti del Novecento) ed infine per quella di segnali "audio" e "video" televisivi.

Sul piano tecnico la cosa fu possibile da un lato per gli sviluppi dell'elettronica - dai primi sistemi "a galena" (che utilizzavano le proprietà non lineari di un contatto "a baffo di gatto" - come si sarebbe detto a proposito di un tipo primitivo di transistori - con tali cristalli di solfuro di piombo) a quelli che impiegavano valvole elettroniche con caratteristiche raddrizzatrici ed amplificatrici - e dall'altro per quelli delle antenne trasmittenti e riceventi.

Nel campo delle radiocomunicazioni, accanto alla figura pionieristica di Marconi sono da ricordare il fisico tedesco Karl Ferdinand Braun (1850 - 1818), che condivise con Marconi il premio Nobel del 1909 ed al quale si deve l'idea di separare l'antenna dal circuito trasmittente, superando così i limiti intrinseci delloscillatore hertziano a scintilla, nonché il tecnico canadese Reginald Aubrey Fessenden (1866 - 1932) al quale è dovuto il passaggio dalla radiotelegrafia alla radiofonia, cioè alla trasmissione della voce umana (e del suono in genere) su grandi distanze, ricorrendo alla modulazione di ampiezza; la prima trasmissione radio fu effettuata la vigilia di Natale del 1906, da Brant Rock nel Massachusetts e fu captata a centinaia di chilometri di distanza. A Fessenden si deve anche il circuito eterodina, diretto precursore della supereterodina, largamente utilizzata nel campo delle trasmissioni radiofoniche. Quest'ultimo circuito fu brevettato negli anni Venti dall'ingegnere americano Edwin Armstrong (1890 -1954) al quale si deve anche il brevetto del 1933 per la radio a modulazione di frequenza.

> A proposito dei sistemi di modulazione di una portante (in ampiezza e poi anche in frequenza e successivamente di vari altri tipi) si può rilevare che la caratteristica intrinseca del vettore adottato nella radiotelegrafia e nella radiofonia (cioè le onde

elettromagnetiche) rendeva opportuno (ed in vari contesti inevitabile) modulare, con i segnali (telegrafici o vocali) che portavano l'informazione da comunicare, oscillazioni portanti (*carrier*) di frequenza molto più elevata che venivano emessi dall'antenna trasmittente e captati da quella ricevente. L'esigenza di consentire la ricezione di trasmissioni diverse, tutte diffuse nello spazio libero, comportò l'assegnazione di portanti diverse alle varie stazioni trasmittenti e l'adozione di filtri variabili per la sintonizzazione (*tuning*) sulla stazione desiderata: si trattava cioè di adattare il circuito risonante (filtro) del ricevitore in modo da lasciar passare la banda includente la portante modulata di interesse e da bloccare le altre, il che veniva fatto impiegando un condensatore variabile. Nell'evoluzione degli apparecchi radioriceventi, questo sarebbe stato poi comandato con una manopola (detta comando di sintonia), analoga a quella utilizzata per la regolazione del volume (cioè del livello di amplicazione) ed a quella introdotta successivamente per il *tono* (cioè per sagomare opportunamente lo spettro nella banda di interesse).

La prassi di servirsi di portanti modulate venne applicata anche in campo telefonico, affiancando alla cosiddetta telefonia a frequenza vocale la telefonia "multipla" (o "in alta frequenza") con la quale su uno stesso supporto fisico (linea aerea, cavo coassiale o ponte radio) vengono sistemati più "canali", cioè bande su ciascuna delle quali è trasmesso un diverso segnale modulato sulla portante caratteristica di quel canale.

Il primo apparecchio radioricevente a transistor entrò in commercio nel 1954 (in Europa nel 1955); la sua diffusione fu dapprima lenta ma già verso la fine degli anni Cinquanta le radio a transistor (le cui dimensioni minime erano determinate dall'altoparlante ed erano praticamente poco più grandi di quelle di un pacchetto di sigarette) erano diventate un oggetto di uso comune.

I servizi di radiodiffusione circolare furono organizzati (soprattutto in Europa) come enti pubblici nazionali; la maggior parte di questi risale agli anni Venti (il più noto e prestigioso era la BBC: British Broadcasting Corporation); molto più recente è la liberalizzazione (nei vari paesi europei) del settore radiofonico (e televisivo); la natura stessa di tale servizio impone però la necessità di forme di regolamentazione, quanto meno per l'assegnazione delle frequenze.

Televisione

Il segnale telegrafico e quello acustico (modulati, ove necessario, su una portante) sono segnali unidimensionali (cioè assumono un valore scalare in corrispondenza ad ogni istante di tempo).

La trasmissione di immagini (anche nel caso semplice di immagini fisse in bianco e nero) ha a che fare con segnali (per esempio l'intensità luminosa) che sono funzione di due coordinate spaziali (l'ascissa e l'ordinata di ciascun punto nel piano dell'immagine). E' dunque necessario ricorrere alla trasformazione dell'immagine in un segnale funzione del tempo, che verrà trasmesso con le tecniche usuali.

La soluzione adottata allo scopo fin dagli inizi fu quella di esplorare l'immagine per righe, associando un numero (in teoria reale, in pratica razionale) all'intensità luminosa in corrispondenza a ciascun punto di ciascuna riga e, quindi, ad un determinato istante, corrispondente alla posizione del punto di quella riga (cioè all'ascissa del punto stesso nel piano dell'immagine) ed alla riga esplorata (cioè all'ordinata discretizzata del punto dell'immagine piana). Per la trasmissione di immagini in movimento si ricorrerà, come nel

cinematografo, alla trasmissione consecutiva di una successione di quadri, corrispondenti ad istanti regolarmente intervallati e sufficientemente vicini in modo che l'occhio umano, a causa della persistenza delle immagini, possa avere la sensazione di un movimento continuo.

Il principio di esplorazione per righe (di un'immagine fissa in bianco e nero ai fini della sua trasmissione a distanza) è stato sfruttato per la prima volta per il cosiddetto *fac-simile* (termine oggi abitualmente abbreviato in fax) e solo molto dopo utilizzata per la televisione.

Un sistema di fac-simile fu brevettato per la prima volta dall'inventore scozzese Alexander Bain (1818 - 1877) nel 1843 e fu poi perfezionato e commercializzato nel 1856 dall'abate senese Giovanni Castelli (1815 - 1891), emigrato in Francia. L'apparecchio di Castelli, chiamato da lui *pantelegrafo*, ottenne ben presto una larga diffusione; in particolare in Francia nel 1865 entrò in funzione il primo servizio pubblico di teletrasmissione.

Il pantelegrafo si basava su figure riportate con un inchiostro isolante su una lastra di rame ed esplorate mediante una punta conduttrice. Il circuito formato dalla lastra, dalla punta e dai loro collegamenti ad una sorgente di alimentazione risultava quindi chiuso quando la punta toccava direttamente la lastra ed interrotto quando invece la punta passava su un tratto inchiostrato. Si generava così un segnale elettrico a tutto o niente, che poteva essere trasmesso con le usuali tecniche telegrafiche.

Una forma di esplorazione ottica venne invece adottata nella *ruota di Nipkow*, inventata nel 1984 da Paul Nipkow (1860 - 1940). Sulla periferia di questa ruota era disposta una serie di fori a distanza decrescente dal centro della ruota (in modo che i centri dei singoli fori venivano a trovarsi su un arco di spirale). Ponendo in veloce rotazione il dispositivo, ciascun foro passava in successione su una sottile striscia dell'immagine, che veniva così esplorata per righe dall'alto al basso. L'intensità luminosa emessa in questa esplorazione veniva trasdotta in un segnale elettrico mediante una batteria di fotocellule; il segnale elettrico veniva teletrasmesso, convertito in un segnale luminoso, mediante una lampada al neon, ed inviato alla corretta posizione nell'immagine utilizzando una ruota identica a quella del sistema trasmittente.

La ruota di Nipkow fu utilizzata dall'ingegnere britannico John Logie Baird (1888 - 1946) che, dopo varie sperimentazioni iniziate nel 1923, nel 1926 costruì un prototipo di apparecchio elettromeccanico per quella che egli chiamò *Radiovision*; nel 1927 la BBC realizzò la prima stazione per trasmissioni televisive, che potevano essere captate in un raggio di 20 chilometri; Baird nel 1929 produsse il primo programma commerciale e nel 1939 propose anche un sistema di televisione (elettromeccanica) a colori.

Si può però dire che la televisione elettromeccanica, cui spetta la priorità temporale, sia nata morta in quanto in parallelo alle sperimentazioni di Baird venivano mossi i primi passi della televisione elettronica che avrebbe dominato successivamente il campo. La figura eminente in questo settore è quella del fisico e ingegnere Vladimir Zworykin (1889 - 1982), nato in Russia, nel cui esercito aveva servito durante la prima guerra mondiale come ufficiale del genio telecomunicazioni, ed emigrato nel 1919 negli Stati Uniti, di cui assunse la cittadinanza nel 1924. In tale anno brevettò l'iconoscopio ed il cinescopio utilizzando (come si è ricordato nel capitolo II.1) idee che erano già emerse in precedenza, in particolare nel 1907 ad opera del fisico russo Boris Rosing (1869 - 1933) e, indipendentemente, nel 1908, ad opera dell'ingegnere scozzese Archibald Campbell-Swinton (1863 - 1930). All'epoca, però , la tecnolgia dei tubi elettronici non era ancora adeguata e la cosa non ebbe seguito. Le possibilità della televisione elettronica, intrinsecamente molto più elevate di quelle raggiungibili con soluzioni elettromeccaniche, ed ulteriormente valorizzate da successive invenzioni, quali quelle relative all'ortionoscopio, furono ben presto comprese

dall'industria radiotecnica; in particolare David Sarnoff (1891 - 1971), presidente della RCA (Radio Corporation of America, della quale più tardilo stesso Zworykin sarebbe diventato vicepresidente), nel 1931 realizzò la prima televisione moderna.

Un ulteriore perfezionamento della televisione è quello che porta alla trasmissione di immagini a colori. Come ricordato la cosa era già stata proposta da Baird nel 1939 anche per il sistema elettromeccanico. Nell'ambito dei sistemi elettronici, la prima trasmissione a colori fu realizzata nel 1940, ad opera dell'inventore americano di origine ungherese Peter Carl Goldmark, operante presso la CBS; tale sistema era basato sulla trasmissione di segnali corrispondenti ai tre colori fondamentali quali risultavano dalla scomposizione tradizionalmente attuata anche in campo tipografico con la tricromia. Questa non risultò tuttavia la linea vincente che fu invece quella sviluppata da David Sarnoff nel suo televisore a colori del 1949 nel quale l'informazione teletrasmessa è divisa nei due segnali di luminanza (utilizzabile anche da un ricevitore in bianco e nero) e di crominanza. Le prime trasmissioni commerciali a colori iniziarono negli Stati Uniti nel 1953 sulla base dello standard NTSC. Successivamente in Francia nel 1960 l'ingegenre Henri de France (che aveva svolto ricerche in camo televisivo fin dai primi anni Quaranta) sviluppò lo standard SECAM (Sequentiel couleur à memoire), ed il tecnico tedesco Walter Bruch (1908 - 1990) ideò lo standard PAL (Phase Alternative Line); questi standard (in loro successive varianti) furono adottati a partire dalla seconda metà degli anni Sessanta nei paesi europei.

Radar

Pur non trattandosi di un sistema di telecomunicazioni in senso stretto il radar è comunque un sistema nato nell'ambito della radiotecnica e ragionevolmente inquadrabile in essa assieme ai sistemi di telecomunicazione veri e propri che si servono di onde radio. Il nome è un acronimo corrispondente all'espressione *RAdio Detection And Ranging*, che può essere tradotta come "rivelazione (di un obiettivo) e (sua) localizzazione (a mezzo di onde) radio".

La possibilità di avvalersi di radioonde riflesse da un oggetto materiale per i citati scopi di rivelazione e localizzazione era stata presa in considerazione da vari tecnici ed inventori, fra i quali lo stesso Marconi. Non era però facile arrivare ad una realizzazione efficace di un sistema che consentisse di ottenere il risultato voluto; d'altra parte si trattava di ricerche di notevole interesse in campo militare che quindi venivano condotte nel più assoluto segreto.

Pur in questo contesto di grande riservatezza si può fare riferimento al 1935 come all'anno nel quale furono ottenuti i primi risultati significativi in questo campo. Fu infatti in tale anno che il fisico scozzese Robert Alexander Watson-Watt (1892 - 1973) presentò alle autorità militari britanniche un sistema di localizzazione basato sulla riflessione di impulsi radio (pacchetti d'onda ad altissima frequenza), che aveva messo a punto dopo un periodo più che decennale di studi ed esperienze. Determinante, allo scopo, era risultato l'impiego del magnetron (inventato nel 1921, cfr. II.1).

L'apparecchio era in grado di determinare la presenza di oggetti (in grado di riflettere gli impulsi ad alta frequenza) a distanze superiori a quelle consentite dalla visibilità ottica; inoltre l'intervallo di tempo fra l'emissione dell'impulso ed il ritorno dell'eco, nota la velocità di propagazione dei fenomeni elettromagnetici, consentiva di valutare la distanza dell'oggetto rivelato. L'apparecchiatura sperimentale di WatsonWatt suscitò immediatamente l'interesse che meritava e così i National Physics Laboratories della Gran Bretagna furono in grado di istallare una rete di avvistamento radar che fu di grandissimo rilievo per l'esito della cosiddetta Battaglia (aerea) d'Inghilterra nel 1940. L'impiego del radar risultò

molto importante anche in campo navale, influendo pesantemente, ad esempio, sull'esito delle battaglie navali fra la flotta inglese e quella italiana nel Mediterraneo.

Conclusasi la seconda guerra mondiale, il radar continuò a venire perfezionato e sviluppato non solo per il suo interesse in campo militare ma anche per numerose applicazioni civili, in particolare nel campo della navigazione marittima e, soprattutto, aerea.

Sistemi radar di adeguate caratteristiche vennero applicati anche come supporto alla navigazione interna e se ne è spesso auspicato l'impiego anche in campo automobilistico per garantire condizioni di sicurezza in caso di scarsa visibilità, particolarmente per nebbia.

Telecomunicazioni e sistemi di rilevamento e radiolocalizzazione a mezzo di satelliti artificiali

L'utilizzazione di satelliti artificiali per scopi di telecomunicazione risale agli anni Sessanta del Ventesimo secolo. In particolare nel 1960 fu lanciato un satellite con funzioni di ripetitore passivo, l'Echo-1, ma ben presto si ricorse a satelliti con comportamento attivo, cioè con propria capacità di ricezione, elaborazione e ritrasmissione. Il primo di questi ful il Telstar-1, del diametro di poco meno di un metro e del peso inferiore al quintale, che ospitava a bordo una circuiteria con un migliaio di transistor e consentiva di ricevere e ritrasmettere un canale televisivo o, in alternativa, un migliaio di canali telefonici. Il primo collegamento televisivo USAEuropa via satellite ebbe luogo il 23 luglio 1962, dopo neppure due settimane dal lancio di Telstar-1. Il primo satellite commerciale per telecomunicazioni, con una capacità di 240 canali telefonici, fu l'Intelsat-1 (EarlyBird), del 1965.

L'impiego dei satelliti artificiali per scopi di rilevamento (con i relativi problemi di acquisizione, elaborazione e ritrasmissione a terra di dati) risale al 1972, anno in cui fu messo in orbita il satellite Landsat-1; il primo satellite europeo per telerilevamento (Ers-1) fu lanciato nel 1991.

Un altro importante e più recente campo di impiego dei satelliti artificiali è quello della radiolocalizzazione, consentita dalla messa in orbita di un sistema di satelliti che percorrono orbite tali che, da qualsiasi punto del globo terrestre, rimanga sempre in condizioni di visibilità un certo numero di satelliti. Ogni satellite invia segnali sincronizzati da un orologio atomico (e quindi di grandissima precisione); in qualsiasi punto della superficie terrestre (o al di sopra di essa, come nel caso di aeroplani) utilizzando i segnali emessi da tre satelliti si è così in grado di determinare in modo molto preciso la latitudine, la longitudine e l'altitudine del punto stesso (nonché la sua velocità, se il punto è in movimento).

Questo risultato è stato ottenuto con il sistema GPS (*Global Positioning Satellite*) Navstar, messo in funzione fra il 1978 ed il 1993; che consta di 24 satelliti (più 3 di riserva) ruotanti su 6 orbite circolari (4 per orbita). I segnali sono sincronizzati al milionesimo di secondo; l'errore di stima della posizione risulta dell'ordine del metro e quello della velocità dell'ordine di 0.1 m/sec.

3.1 Telefonia mobile

Nell'ultimo quarto del Ventesimo secolo si è venuta diffondendo, con crescente velocità, la telefonia mobile che ha avuto ben presto un notevole impatto anche su molti aspetti della vita di tutti i giorni.

Come si è ricordato, i sistemi di telecomunicazione sono stati a lungo classificati nelle due categorie dei sistemi da punto a punto e dei sistemi a diffusione circolare. I

primi erano tipici della telegrafia e della telefonia su supporto fisico (conduttori e cavi), i secondi erano invece tipici della radio- e tele-diffusione, utilizzante la propagazione di onde elettromagnetiche nello spazio libero.

Un'eccezione era rappresentata dall'impiego di ponti radio che, utilizzando antenne direttive, stabilivano un collegamento fra punti fissi a mezzo di radio onde e, quindi, senza una connessione fisica (in cavo metallico o fibra ottica).

Con la telefonia mobile si realizza, in buona parte mediante radioonde, un collegamento fra due punti non in posizione fissa (e quindi nota a priori) attraverso una rete ai cui nodi sono disposte stazioni ricetrasmittenti fisse, collegate fra loro in modo stabile (ma non necessariamente con connessione fisica).

Il problema tecnico, sul quale qui non si entra in dettaglio, è quello di garantire il collegamento bidirezionale fra ciascun apparecchio chiamante (fisso o mobile) e qualsiasi altro apparecchio (fisso o mobile), nel caso in cui almeno uno dei due sia mobile (altrimenti si ricorre al collegamento telefonico tradizionale):

- in modo riservato (cioè senza che altri utenti del sistema possano sapere della chiamata in corso o, peggio, ascoltare la conversazione) ed
- utilizzando tecniche di ricerca dell'apparecchio chiamato, nel caso in cui questo non sia fisso.

Ciò comporta la suddivisione del territorio in celle (da cui il nome di telefonia cellulare), nel caso ideale della forma di un esagono regolare; il segnale di chiamata emesso dal chiamante (se mobile) viene ricevuto dalla stazione fissa della cella in cui il chiamante si trova e questa avvia una tecnica di ricerca, sulla rete, dell'apparecchio chiamato (che periodicamente segnala la sua presenza) ed una volta individuatolo (con una comunicazione che viene rivelata solo da tale apparecchio) stabilisce il contatto fra chiamante e chiamato, che viene mantenuto anche se l'uno o l'altro si spostano dalla cella in cui inizialmente si trovavano.

Varie società operanti nel campo delle telecomunicazioni erano interessate a sviluppi di tecniche di questo tipo. Una delle prime a dedicarsi a questo settore fu la AT&T che già nel 1968 aveva messo a punto uno schema di suddivisione del territorio in celle dotate di una stazione radio ricetrasmittente, con il trasferimento automatico ad una nuova cella (*roaming*) quando l'utente vi si sposta.

Il primo apparecchio telefonico mobile efficiente è stato realizzato da Martin Cooper, della Motorola, che il 3 aprile del 1973 fu in grado di chiamare con il cellulare di sua invenzione, da una strada di Manhattan, una stazione ricevente di New York che lo mise in collegamento, su sua richiesta, con l'apparecchio telefonico di Joel Engel, il suo "rivale", che in quel periodo lavorava con lo stesso obiettivo nella AT&T.

Il primo servizio pubblico di telefonia mobile fu attuato in Giappone dalla NTT e negli USA dalla AT&T nel 1979.

Il primo sistema di telefonia mobile su base cellulare, che si diffuse nei primi anni 80 era contrassegnato dalla sigla TACS (*Total Access Communication System*). Il passo successivo fu computo verso la fine degli anni 80 con il GSM (*Global System for Mobile communication*) caratterizzato dal passaggio dall'analogico al digitale e da uno standard in grado di consentire il *roaming* internazionale. Si passò poi al GPRS (*General Packet Radio Service*) con velocità più elevate, basato sull'invio di pacchetti numerati e trasmessi separatamente e poi riordinati in ricezione in base al numero che li contraddistingue. Un ulteriore passo avanti è costituito dall'UMTS (*Universal Mobile Telecomunications System*) che consente velocità di trasmissione di 2000 kilobit/sec.

12 Elaborazione di informazioni: l'informatica

1 Premessa

La parola francese *informatique* è stata coniata in Francia nei primi anni Sessanta del ventesimo secolo come contrazione dei termini *information* e *automatique* e si è diffusa in Italia ("informatica") ed in Germania (*Informatik*) mentre nei paesi di lingua inglese il suo impiego è più rado, venendo preferite le espressioni computer science o computer technology.

Secondo la definizione che ne ha dato la *International Federation for Information Processing*, l'informatica è la parte della scienza e della tecnologia che riguarda l'*elaborazione di rappresentazioni* di idee, di oggetti, di fatti, di relazioni etc. *opportunamente formalizzate* in modo da poter essere comunicate e manipolate per mezzo di un opportuno processo.

In quest'ambito si inquadrano perfettamente i problemi di elaborazione dell'informazione numerica, cioè del vero e proprio calcolo automatico, ma vanno certamente inserite anche le problematiche più recenti che riguardano la manipolazione di simboli associati ad un'informazione non numerica.

2 La preistoria delle macchine da calcolo

Fin dall'antichità l'uomo ha cercato di aiutarsi a compiere operazioni di calcolo numerico con artifizi e strumenti adatti allo scopo ed uno di questi può essere considerato l'*abaco* su cui venivano opportunamente disposti sassolini, dal cui nome latino (*calculi*) deriva appunto la parola calcolo.

Per certi versi possono essere considerati strumenti di calcolo anche certi orologi complicati e soprattutto certi astrarii (dalla macchina di Anticitera, del periodo ellenistico, all'astrario del Dondi, del quattordicesimo secolo); ausili per il calcolo, che oggi chiameremmo di tipo analogico, erano forniti anche da strumenti geometrici (per la soluzione grafica di particolari equazioni) o da taluni strumenti astronomici. Qui, tuttavia, è il caso di concentrare il nostro interesse sulle macchine ideate e realizzate nel secolo diciassettesimo per l'esecuzione di operazioni aritmetiche.

La prima di queste macchine è dovuta a Wilhelm Schickard (1592 - 1635), astronomo, matematico, filosofo, inventore e costruttore di strumenti, professore nell'università di Tubinga prima di lingua ebraica e poi di astronomia. Schickard fu convinto sostenitore delle teorie astronomiche di Johann Kepler, al quale propose metodi meccanici per il calcolo delle efemeridi e descrisse, in una lettera, la macchina aritmetica che aveva progettato e

costruito (ma l'esemplare realizzato andò distrutto nelle vicissitudini che sconvolsero la Germania durante la guerra dei trent'anni).

La prima macchina costruita in più esemplari e che ebbe già allora una larga notorietà è quella ideata, progettata e realizzata nel 1642 da Blaise Pascal (1623 - 1662). Suo padre, Etienne Pascal, nel 1640 era stato nominato da Richelieu commissario per il riordinamento dei tributi nell'Alta Normandia e Blaise, allora diciassettenne, lo aveva seguito a Rouen dove era stato associato a pesanti e tediosi lavori di calcolo che che gli suggerirono l'idea di una macchina addizionatrice, oggetto di ammirato stupore da parte dei contemporanei che la chiamarono, dal suo nome, *pascaline*.

> Il principio di funzionamento dell'addizionatrice di Pascal è piuttosto semplice, anche se la realizzazione pratica, a causa della povertà della tecnica di allora, gli pose non pochi problemi, per altro brillantemente superati. Presentando tale principio come se si fosse trattato di eseguire la somma di numeri interi espressi in un sistema decimale si potrebbe dire che si trattava di far girare ruote dentate che muovevano dischi alla cui periferia erano indicate le cifre da 0 a 9; la cifra che si trovava nel punto più alto del disco appariva attraverso una finestrella praticata sul coperchio della macchina, che nascondeva le altre cifre. Ciascuna ruota veniva mossa a scatti, mediante una manovella, di tante posizioni quante ne indicava la corrispondente cifra dell'addendo che doveva essere sommato al totale già memorizzato nella macchina: così se - in corrispondenza alle unità - nella macchina era immagazzinata la cifra 2 (che appariva attraverso la finestrella) e le si doveva sommare la cifra 3, la manovella faceva girare la ruota delle unità di tre scatti e nella finestrella compariva la cifra 5.
>
> Quando, a seguito di queste rotazioni, su una finestrella compariva la cifra 0 (ed eventualmente veniva superata), un apposito meccanismo spostava di uno scatto la ruota adiacente (nel caso dell'esempio quella delle decine), relizzando così il "riporto". Quando anche la ruota delle decine passava per la cifra 0 (completando un numero intero di giri rispetto alla posizione iniziale) veniva provocato uno scatto nella ruota corrispondente alla cifra delle centinaia e così via.
>
> In realtà il problema affrontato da Pascal era meno semplice di quello che si può pensare facendo riferimento all'addizione di numeri decimali in quanto gli importi da sommare erano espressi in un numero intero di "lire", più un numero intero di "soldi", pari ad 1/20 di lira, più un numero intero di "denari", pari ad 1/12 di soldo (secondo la tradizione della "lira di 240 grossi", comune anche in Italia fin dal Medioevo e conservata, fino a pochissimo tempo fa, dalla (lira) sterlina inglese, di 20 scellini, ciascuno di 12 pence). La macchina appariva, così, come una cassetta di legno, contenente dei ruotismi, sul coperchio della quale figuravano delle finestrelle in cui comparivano, da destra verso sinistra, le cifre corrispondenti ai numeri dei denari, dei soldi e delle lire. Queste finestrelle costituivano quindi l'unità di uscita dell'addizionatrice, come diremmo nel gergo dei moderni calcolatori; sotto di esse erano disposte le manovelle mediante le quali si davano ai ruotismi gli scatti corrispondenti alle cifre degli addendi (e che quindi costituivano l'unità di ingresso).

Il successivo passo avanti nella realizzazione di macchine da calcolo fu compiuto neppure un trentennio dopo, nel 1671, ad opera di Gottfried Wilhem Leibniz (1646 - 1716), e potrebbe essere fonte di riflessioni di un certo interesse il constatare che, agli inizi del calcolo meccanico, si incontrano non dei tecnici pratici ma dei matematici ed anzi dei matematici con forti interessi in campo speculativo e filosofico.

La macchina ideata da Leibniz era una moltiplicatrice, basata sull'impiego di ruote a gradini, che continuarono poi a venire adottate per molto tempo nel campo dell'esecuzione

meccanica di operazioni aritmetiche (e la cui messa a punto pose a Leibniz seri problemi): il meccanismo fondamentale era il cosiddetto "trapositore", realizzato mediante una ruota a denti di diverse lunghezze.

> Un'altra macchina per calcoli aritmetici fu costruita all'inizio del diciottesimo secolo da Giovanni Poleni (1683 - 1761), veneziano, professore nell'Università di Padova, matematico, fisico, idraulico e uomo di larghissimi interessi culturali. Poleni fece costruire la macchina da lui inventata e ne descrisse la struttura e le modalità d'impiego in un saggio (raccolto in una Miscellanea del 1709) che, nel 1959, ha consentito di ricostruirla (l'originale era andato distrutto già ai tempi di Poleni). In tale saggio Poleni dice di aver avuto notizia che Pascal e Leibniz avevano costruito "*duas machinas arithmeticas*" ma di non esser riuscito a sapere come funzionassero e che quindi era stato indotto ad immaginare come potevano esser fatte (e, in realtà, a proporre una sua soluzione originale).

Fino alla seconda metà del diciannovesimo secolo non si può parlare di produzione industriale (e neppure artigianale) di macchine da calcolo ma solo della progettazione (e non sempre della costruzione completa) di singoli esemplari, raramente replicati. La realizzazione industriale di macchine da calcolo, meccaniche e poi elettromeccaniche, che ha avuto ancora ampio spazio di sviluppo nel ventesimo secolo, si collega invece ad invenzioni e brevetti della seconda metà dell'Ottocento, fra i quali si segnalano quelli dello svedese W. T. Odhner (1875).

Un altro importante filone delle iniziative che si avvalgono di strumenti meccanici per scopi di calcolo è legato ai censimenti. Negli Stati Uniti, il Bureau of Census nel 1880 assunse Hermann Hollerith (1860 - 1929) che studiò nuove soluzioni per l'elaborazione dei dati raccolti, ciò che portò nel 1890 alla costruzione delle prime macchine da calcolo a schede perforate, nelle quali i dati venivano immessi e letti mediante la chiusura di circuiti elettrici ad opera di aghi che passavano attraverso i fori delle schede. Nel 1910 l'operazione fu ripetuta con James Power. Le iniziative per la progettazione e realizzazione industriale di impianti meccanografici a schede perforate sono alla base della fondazione di varie aziende, fra le quali quelle che, successivamente passate a produrre elaboratori elettronici, hanno assunto la denominazione di IBM (dal 1924) e di Unisys.

3 La figura pionieristica di Charles Babbage

Gli odierni elaboratori sono però sostanzialmente diversi dalle macchine calcolatrici tradizionali, non tanto per il ricorso alla tecnologia elettronica (che pure è stata determinante per il loro sviluppo) quanto per la concezione generale, in cui si affida alla macchina non solo l'esecuzione delle singole operazioni ma anche il programma secondo il quale eseguire sequenze di operazioni aritmetiche ed anche di operazioni logiche, dalle quali consegue la scelta fra distinte alternative.

Una macchina che può essere considerata un vero e proprio precursore degli elaboratori moderni fu l'Analytical Engine (1834), progettata e parzialmente realizzata dal matematico inglese Charles Babbage (1791 - 1871), che aveva in precedenza progettato un'altra importante macchina da calcolo, denominata *Difference Engine* (1823).

Una caratteristica importante dei progetti di Babbage era relativa all'impiego di schede perforate che erano già state utilizzate nel Settecento da Jean-Baptiste Falcon e dal famoso costruttore di automi Jacques de Vaucanson (1709 - 1782) ed inoltre, come si è ricordato,

erano state impiegate a livello industriale da Joseph-Marie Jacquard per i suoi telai. Le schede perforate consentivano una forma di memorizzazione di istruzioni (oltre che di dati) che avrebbero potuto consentire il funzionamento delle macchine di Babbage le cui difficoltà principali erano dovute all'inadeguatezza della tecnologia meccanica dell'epoca.

La figura di Babbage è, sotto molti rispetti, affascinante e merita anche per altri motivi l'attenzione che oggi le viene dedicata soprattutto per la sua attività pionieristica nel campo dei calcolatori. Figlio di un banchiere, Charles Babbage compì la sua formazione universitaria presso il Trinity college di Cambridge, dove era entrato nel 1810; della sua vita e della sua opera viene data abitualmente un'immagine non scorretta ma riduttiva, che lo vede come un matematico applicato il quale, rendendosi conto dei molti errori delle tavole numeriche disponibili all'epoca, s'impegnò nella progettazione e nel tentativo di costruire macchine capaci di eseguire in modo corretto e ragionevolmente efficiente i calcoli necessari per ottenere, ad esempio, attendibili tavole di logaritmi con molte cifre decimali. Per la realizzazione di questi progetti Babbage spese buona parte dell'eredità paterna e si giovò anche di sussidi pubblici, che tuttavia furono ad un certo punto sospesi per il mancato conseguimento di risultati (per i quali, in effetti, la tecnologia meccanica dell'epoca, come si è detto, non disponeva di mezzi adeguati e che solo la tecnologia elettronica del secolo successivo ha permesso di raggiungere).

> La macchina di Babbage non fu mai costruita interamente durante la vita del suo inventore e quella del figlio (che dopo la morte del padre aveva tentato di realizzarne alcune parti). Cionondimeno la sua concezione generale, straordinariamente moderna, non può non colpire e giustifica il fatto che si sia parlato di essa come di uno dei più grandi avvenimenti intellettuali della storia dell'uomo. Tali motivi spiegano l'interesse che, nel Ventesimo secolo è stato manifestato per la figura di Babbage e per la sua cerchia alla quale appartenne Lady Ada Lovelace, figlia del poeta George Gordon Byron, al cui nome (Ada, appunto) è stato intitolato negli anni Settanta del ventesimo secolo, un linguaggio di programmazione: Ada Lovelace, in effetti, può essere considerata la prima persona ad aver formulato un programma di calcolo per una macchina.
>
> Babbage fu un personaggio notevole anche da altri punti di vista; un suo biografo, Anthony Hyman, lo ha definito "il figlio di due rivoluzioni": il movimento riformista e liberale della prima metà dell'Ottocento (con i più autorevoli esponenti del quale Babbage fu in contatto, non solo in Inghilterra ma anche in Francia ed in Italia) e la rivoluzione industriale che proprio in Inghilterra aveva cominciato a svilupparsi dalla seconda metà del Settecento. In proposito è da rilevare che Babbage, con notevole lucidità di giudizio, si rendeva conto che la rivoluzione industriale stava per avere prospettive di successo più notevoli in altri paesi, dato che in Inghilterra tendeva a prevalere un interesse praticistico, nel senso deteriore del termine, caratterizzato da un'insufficiente attenzione a quei progressi della scienza che avrebbero poi di fatto reso possibili ulteriori significativi progressi delle applicazioni tecniche. Era anzi in questo quadro che Babbage riteneva indispensabile che in Inghilterra si potesse disporre, nell'interesse dell'industria, del commercio e dell'economia, di tavole numeriche precise e quindi di stumenti deguati per costruirle.

Una macchina ispirata al *Difference Engine* di Babbage e resa d'uso più pratico in quanto attrezzata anche per la stampa dei risultati fu costruita nel 1856 dall'ingegnere svedese Georg Scheutz (1785 - 1873), con l'aiuto del figlo Edvard (1821 - 1881) ed utilizzata per la costruzione di tavole numeriche nell'Osservatorio astronomico di Albany.

4 Il primo sviluppo degli elaboratori elettronici

Come per molte invenzioni di apparati tecnici complessi, anche per gli elaboratori non è facile fissare una data precisa che corrisponda alle prime realizzazioni significative attribuibili con sicurezza a questo campo.

Di massima si può fare riferimento al periodo della seconda guerra mondiale ma la fama delle macchine costruite a quel tempo non dovrebbe far dimenticare l'intensa attività che anche nel decennio precedente era stata svolta per tentare di adottare tecniche elettriche ed elettroniche allo scopo di automatizzare procedure di calcolo. Questi tentativi seguirono due vie, che avrebbero portato ai calcolatori analogici e, rispettivamente, a quelli digitali.

> I calcolatori analogici debbono il loro nome al fatto di essere derivati da modelli fisici basati sul principio dell'analogia (anziché su quello della *similitudine*), in particolare modelli elettrici di fenomeni relativi a grandezze fisiche di altra natura (per esempio meccanica o termica). L'aggettivo "analogico" perse poi il suo significato originario e fu utilizzato per indicare fenomeni in cui le grandezze in gioco venivano rappresentate da funzioni (generalmente del tempo) suscettibili di assumere qualsiasi valore in un intervallo di numeri reali. In contrapposizione gli aggettivi "numerico" e "digitale" vennero usati nel caso di funzioni che assumevano valori suscettibili di essere messi in corrispondenza biunivoca con i numeri interi; più precisamente l'aggettivo "digitale" viene usato quando i numeri vengono rappresentati mediante simboli appartenenti ad un alfabeto finito, le cifre (in inglese *digit*).

I calcolatori analogici, nella versione più tipica di *analizzatori differenziali*, cioè dispositivi per la soluzione di equazioni differenziali ordinarie, hanno un interessante precedente in un gruppo di contributi del 1876 di William Thomson (meglio noto come Lord Kelvin) in cui si suggeriva di utilizzare due (o più) integratori meccanici (del tipo di quello ideato da suo fratello James Thomson) inseriti in uno schema a retroazione.

A partire dal 1931 (e negli anni successivi) Vannevar Bush (1890 - 1974), che nel 1941 sarebbe stato chiamato a dirigere l'*Office for Scientific Research and Development* (OSRD) degli U.S.A., progettò e realizzò analizzatori differenziali meccanici ed elettromeccanici dai quali derivarono quelli elettronici, largamente usati dagli anni Cinquanta alla prima metà degli anni Sessanta, il cui elemento fondamentale è l'amplificatore operazionale (con funzioni di integratore e di sommatore).

Nel campo dei sistemi di calcolo digitale l'attività progettuale riguardò l'impiego di relé elettromagnetici (e di altri dispositivi entrati in uso nella commutazione telefonica) e ad essa sono legati i cosiddetti relay computers realizzati in vari modelli presso i *Bell Laboratories* da George R. Stibitz fra la fine degli anni Trenta e gli anni Quaranta del ventesimo secolo.

In questo contesto va ricordata anche l'attività del tedesco Konrad Zuse (1910 - 1995) che si servì inizialmente di tecnologie meccaniche e poi (specialmente per iniziativa del suo collaboratore Helmut Schreyer) di tecnologie elettroniche per costruire i successivi modelli di elabortore digitale (binario) chiamati Z1 (1938), Z2 considerato con interesse dal *Deutsche Versuchanstalt für Luftart* che finanziò il successivo modello Z3, ultimato nel 1941 ma distrutto nel corso di un bombardamento nel 1944, e Z4 (che Zuse provvide a nascondere nelle Alpi bavaresi, per evitare che cadesse nelle mani degli alleati ma che fu trovato dagli occupanti francesi). Le sue creazioni furono ideate senza che egli fosse a conoscenza dei precedenti tentativi di Babbage e di quanto si faceva negli Stati Uniti e si

segnalano per la notevole compattezza, a fronte delle ingombranti realizzazioni americane dello stesso periodo.

Per quanto riguarda gli U.S.A. rimase a lungo trascurata l'opera di John Vincent Atanasoff (1903 - 1995) al quale, con un verdetto del 1973, con cui si è dichiarato nullo il brevetto dell'ENIAC, è stato invece rivendicato il merito della concezione e della parziale costruzione (con l'aiuto dell'allievo Clifford Berry) del primo calcolatore elettronico (nel senso moderno del termine): la macchina ABC (Atanasoff Berry Computer), alla quale i progettisti si erano dedicati dal 1937 al 1942, quando Atanasoff venne chiamato alle armi come ufficiale della marina militare. L'idea della macchina era stata suggerita ad Atanasoff dalle esigenze di calcolo per la soluzione di equazioni alle derivate parziali connesse al suo campo di ricerca. L'ABC è in effetti la prima macchina che fa uso sistematico di tubi elettronici anziché di relé.

Nel caso di Atanasoff (e per certi rispetti anche in quello di Zuse) la guerra e le sue conseguenze ebbero effetti negativi sullo sviluppo della ricerca; le esigenze belliche furono invece di stimolo ad un'attività che si può considerare come un preludio importante dell'informatica, quale quella della cifrazione e decifrazione. I tedeschi avevano messo a punto la macchina Enigma per mettere in cifra messaggi segreti e gli inglesi svilupparono la serie delle macchine *Colossus* (il cui nome allude alle loro cospicue dimensioni) con le quali riuscirono a decifrare i messaggi in codice dei tedeschi. In entrambi i casi si trattava di manipolare liste di simboli appartenenti ad un alfabeto finito e quindi, pur non avendosi a che fare con il calcolo numerico inteso in senso stretto, si era senza dubbio nel campo dell'informatica secondo la definizione dell'IFIP citata all'inizio.

Accanto a queste attività legate alla realizzazione "fisica" (ancora in buona parte elettromeccanica) di macchine per l'elaborazione dell'informazione, non si può non citare l'opera di Alan M. Turing (1912 - 1954) che, occupandosi dei problemi di computabilità, concepì - sia pure come modello ideale del quale interessava il principio di funzionamento e non la realizzazione costruttiva - la "macchina" che da lui prese il nome, né i fondamentali contributi di Johann (John) von Neumann (1903 - 1957) che, fra l'altro, nel quadro della sua collaborazione con l'OSRD diretta da Vannevar Bush, fu il principale esponente del gruppo di lavoro che diede le linee guida per la ricerca nel campo dell'informatica ed in particolare lo schema di elaboratore con memoria condivisa da dati e istruzioni che, da lui, prese il nome di "architettura di von Neumann".

Ritornando alla progettazione e costruzione di macchine destinate all'esecuzione automatica di sequenze di operazioni numeriche e logiche, le prime per scopi generali (general purpose) portate a termine negli Stati Uniti furono concepite e realizzate durante il periodo bellico o nell'immediato dopoguerra.

È del 1944, in particolare, la macchina ASCC (*Automatic Sequence Controlled Computer*), detta anche Mark I, costruita da Howard Aiken nell'università Harvard, con il determinante contributo dell'IBM. Nel 1946 John Presper Eckert (1919 - ?) e John William Mauchly (1907 - 1980), con la collaborazione di Herman H. Goldstine (1914 - ?) e della di lui moglie Adele, realizzarono presso la Moore School Engineering, a Filadelfia, la macchina ENIAC (E*lectronic Numerical Integrator And Computer* - secondo altre fonti *Calculator*) che presentava molte delle caratteristiche a suo tempo considerate da Babbage per il progetto dell'*Analytical Engine* e si serviva di una tecnologia completamente elettronica.

L'ENIAC conteneva 18 000 tubi elettronici, ciò che costituiva un risultato notevolissimo per la tecnologia dell'epoca, ed assorbiva 100 kW; ovviamente la manutenzione

era molto impegnativa e richiedeva la sostituzione incessante dei tubi elettronici, che presentavano guasti con grande frequenza: basti pensare che se, molto ottimisticamente, si fosse potuto attribuire a tubi opportunamente selezionati una vita media di 10 000 ore, il tempo medio di intervallo fra guasti consecutivi sarebe stato di circa mezz'ora.

Quando l'ENIAC era già in fase avanzata di costruzione, fu avviato presso l'*Institute of Advanced Studies* (IAS) di Princeton, il progetto di una nuova macchina, l'EDVAC (*Electronic Discrete VAriable Computer*) che doveva evitare alcuni inconvenienti manifestatisi nell'ENIAC; lo sviluppo di questo nuovo progetto si deve soprattutto a von Neumann, con il quale collaborarono i Goldstine e Julian Bigelow. Mentre l'ASCC/Mark 1 e l'ENIAC adottavano lo schema che fu chiamato "architettura Harvard", che impiegava memorie separate per i dati e per le istruzioni, già nell'EDVAC si adottò la citata architettura di von Neumann, superiore dal punto di vista concettuale ed in grado di consentire un cospicuo potenziamento dell'elasticità funzionale dell'elaboratore.

L'architettura di von Neumann, oltre che nell'EDVAC, fu adottata anche nelle macchine EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator), il cui primo esemplare fu realizzato nel 1948 nell'Università di Cambridge (G.B) da un gruppo guidato da Maurice-Vincent Wilkes (1913 - ?); da queste derivò il calcolatore comerciale inglese LEO (*Lyons Electric Office*).

Il primo elaboratore in cui si trovano applicati praticamente tutti i principi concepiti da Babbage per l'Analytical Engine può essere considerato il SSEC (*Selective Sequence Electronic Calculator*), della IBM, realizzato anch'esso nel 1948 ed installato poi in una vetrina della sede di Manhattan di tale ditta, dove suscitò a lungo grande interesse nel pubblico dei passanti.

5 Gli sviluppi dell'informatica nella seconda metà del ventesimo secolo

L'inizio della diffusione commerciale degli elaboratori può essere fissato, convenzionalmente, al 1950 (non con riferimento ad un evento di particolare significatività di quell'anno ma solo per la suggestione del cosiddetto "numero tondo", così come si parla del 1750 a proposito dell'avvio della rivoluzione industriale in Inghilterra).

Le prime fasi dello sviluppo degli elaboratori elettronici possono essere caratterizzate efficacemente con riferimento alle "mutazioni" della tecnologia degli elementi attivi per l'esecuzione delle operazioni logiche nell'unità centrale. Allo scopo, infatti, furono usati prima tubi elettronici ad alto vuoto, poi transistori, poi circuiti integrati: si parlò quindi di tre generazioni successive di elaboratori.

In proposito si può osservare che una classificazione risulta effiace quando appare valida anche adottando punti di vista diversi da quelli che sono serviti a stabilirla. La classificazione delle prime tre generazioni di elaboratori ha appunto questa caratteristica, in quanto rimane sostanzialmente valida anche se ci si riferisce alla tecnologia delle memorie (a tamburo magnetico nella prima generazione, a nuclei di ferrite nella seconda, a semiconduttori nella terza) ed anche a certe caratteristiche *software*, quali l'introduzione di linguaggi di programmazione ad alto livello (ad esempio il *Cobol* ed il *Fortran*) nella seconda generazione e le possibilità legate al funzionamento in *time-sharing* ed all'adozione di sistemi operativi nella terza.

Più tardi, pur continuandosi ad adottare circuiti integrati (ma a livelli di integrazione sempre più spinta), si è ritenuto di poter parlare di una quarta generazione e di prevederne a breve una quinta, in rapporto a determinate modifiche nell'architettura e nel software. Il progresso è continuato a ritmi sostenuti ma l'uso di far riferimento a generazioni indicate con numeri successivi è stato abbandonato.

Fare delle date precise è sempre un po' arbitrario. Ad ogni modo per la prima generazione ci si può riferire al decennio dal 1948 al 1957.

Il primo modello di elaboratore a transistori (a carattere ancora sperimentale e non destinato alla produzione di serie) è del 1955 ma la sostituzione dei transistori ai tubi non è stata immediata; in particolare è solo nel 1958 che sono stati immessi sul mercato quattro elaboratori commerciali a transistori: il PDP-1 della Digital Equipment, il 7070 dell'IBM, il 2002 della Siemens (che aveva rilevato le attività di Zuse nel campo dell'informatica) ed un modello della Sperry Rand. Così il 1958 può ragionevolmente essere considerato l'anno di inizio della seconda generazione. Questa può esser fatta durare convenzionalmente fino al 1963, consentendo di far riferimento al 1964 come data di inizio dell terza generazione, che alcuni fanno durare fino al 1971, anno in cui furono realizzati i primi microprocessori (questo termine per designarli fu però coniato solo nel 1972); altri ritengono invece più corretto estendere la terza generazione a tutti gli anni Settanta, e forse anche un po' oltre.

Facendo riferimento ai valori medi dei parametri che caratterizzano ciascuna generazione di elaboratori dai punti di vista più significativi e posti convenzionalmente uguali ad 1 quelli relativi alla prima generazione, si può dire - sia pure con inevitabili arrotondamenti - che passando alla seconda e poi alla terza generazione la capacità di memoria è aumentata da 1 a 10 a 1000, la velocità di elaborazione da 1 a 10 a 100, l'affidabilità (stimata ad esempio in termini della durata media dell'intervallo fra due guasti consecutivi) da 1 a 100 a 1000, le dimensioni sono diminuite da 1 a 1/100 a 1/1000, il consumo energetico (dissipazione) da 1 a 1/1000 ed il costo da 1 a 1/10 a 1/100.

Uno degli aspetti più significativi dell'ulteriore evoluzione è legata all'avvento dei microprocessori, per i quali ha avuto gran parte il fisico italiano operante negli Stati Uniti Federico Faggin (n. 1941) che, assieme agli americani Marcian Hoff (n. 1937) e Stan Mazer, nel 1971 realizzò per l'Intel il primo microprocessore, noto sotto il nome di Intel 4004. In questo erano integrati in un solo chip di 3-4 cm una CPU (*Central Processing Unit*) con un sommatore parallelo da 4 bit, 16 registri da 4 bit, un accumulatore ed un *pushdown stack*, per un totale di 2250 componenti. Nel 1972 vennero realizzati microprocessori da 8 bit, nel 1964 da 16 bit e nel 1981 da 32 bit.

Nel decennio dal 1971 al 1981 il numero di dispositivi per chip è aumentato di 200 volte, la velocità di elaborazione è aumentata di 30 volte, ed il *throughput* (cioè, in termini grossolani, la quantità di informazione elaborata passando dall'ingresso al'uscita) di due o tre ordini di grandezza; il progresso nel campo dei microprocessori nel suo primo decennio è stato dunque molto più veloce di quello dei grandi elaboratori nello stesso periodo.

I progressi in fatto di densità di integrazione e di incremento della velocità di elaborazione sono poi ulteriormente continuati. Per quanto riguarda la densità di integrazione, nel 1970 si era al margine inferiore della tecnologia LSI (*Large Scale Integration*), con circa 2000 componenti per chip. Ben prima della fine del decennio, si sono raggiunti i 100 000 componenti per chip; intorno alla metà degli anni Ottanta si era già superato il milione di componenti per chip. Contemporaneamente dal 1970 al

1990 la velocità di elaborazione espressa in termini di milioni di istruzioni al secondo è passata da poco più di 1 a quasi 100 nei grandi calcolatori (mainframe), da poco più di 0.1 a 10 nei minicalcolatori e da 0.05 a 5 nei personal computer, che dopo il 1990 hanno fornito prestazioni largamente sovrapposte a quelle dei minicalcolatori, in pratica sostituendoli.

Il microprocessore ha ben presto ottenuto una diffusione straordinaria, trovando impiego in una larghissima varietà di campi per fornire capacità di elaborazione specializzata agli strumenti più diversi, dalle bilance automatiche della distribuzione commerciale alle apparecchiature più sofisticate. Negli anni Ottanta molti erano apparsi increduli di fronte alla previsione che il microcomputer si avviasse ad avere una diffusione paragonabile a quella dei motori elettrici di piccola taglia, già allora praticamente onnipresenti; in brevissimo tempo la previsione si è completamente avverata, nel quadro della tendenza dell'elettronica moderna al passaggio dall'analogico al digitale e dalla logica "cablata" (il cui *hardware* è predisposto per l'esecuzione di una sola, sia pur complessa, operazione) alla logica "programmabile" (con la quale, mediante strumenti *software*, si possono fa compiere ad uno stesso *hardware*, di tipo generale, operazioni diverse).

Nel contempo si è manifestato il passaggio da architetture SISD (*Single Instruction - Single Data*), tipiche dei primi elaboratori, ad architetture più elaborate quali la SIMD (*Single Instruction - Multiple Data*) delle macchine vettoriali, la MISD (*Multiple Instruction - Single Data*) per il trattamento in pipeline ed infine la MIMD (*Multiple Instruction - Multiple Data*) e si è affermato l'interesse per il calcolo parallelo (attuato più lentamente di quanto in un primo mometo si prevedesse) della *Connection Machine* e di altri più o meno avvenirstici progetti.

Quanto detto a proposito della velocità del progresso tecnico nel campo dell'informatica e dell'allargamento delle tematiche di potenziale interesse ha indotto alcuni a parlare di "shock da futuro", pensando che la velocità di adattamento dell'uomo sia inferiore a quella che ha caratterizzato lo sviluppo dell'informatica; ciò per sembra molto dubbio se ci si riferisce non all'adattabilità del singolo individuo maturo ma a quella delle nuove generazioni che vengono ben presto a contatto con l'informatica e che dimostrano di saper benissimo convivere con essa.

Guardando le cose da un diverso punto di vista si può dire, comunque, che si è pervenuti ad un contesto in cui:

- il campo delle telecomunicazioni e quello dell'informatica si vengono fondendo nella cosiddetta *telematica* e divengono di accesso sempre più vasto grandi reti, come Internet la cui attuazione presenta aspetti legati alla memorizzazione, alla trasmissione ed all'elaborazione di informazione (Internet nasce nel 1973 come protocollo di trasmissione fra reti di computer, nell'ambito della Difesa degli USA (DARPA) e nel 1977 viene messo in commercio il modem, che renderà possibile il grande boom successivo di Internet);

- l'elettronica, con le tecniche di integrazione su scala sempre più spinta, fornisce uno strumento essenziale per lo sviluppo dell'informatica e questa, a sua volta, si configura come uno strumento insostituibile per la progettazione di circuiti integrati a densità sempre più elevata;

- l'informatica realizza obiettivi di automazione sia ad alto livello, quando i compiti di controllo richiedono complesse elaborazioni per l'identificazione, l'adattamento e

l'ottimizzazione, sia a livelli più modesti con l'impiego di microprocessori nei PLC e nei controllori digitali;

- anche le tecniche di acquisizione e memorizzazione di dati si avvalgono sempre più di "soluzioni intelligenti" che implicano compiti di elaborazione.

Si deve dunque constatare che l'informatica di oggi è sempre più, come spesso si dice, *invasiva* e *pervasiva* e che, in conseguenza di ciò, se da un lato la vasta area delle tecnologie dell'informazione, per la sua stessa estensione, richiede che chi vuol approfondire un determinato settore si occupi prevalentemente di esso (esigenze di specializzazione), dall'altro l'intrecciarsi delle varie tecnologie in ciascun campo particolare richiede una formazione con basi comuni abbastanza larghe (esigenze di preparazione a largo spettro).

13 L'impiego dell'informazione per gestire flussi di materia e di energia: l'automazione e l'automatica

1 Automazione, automatica, controllo: alcune precisazioni terminologiche

.

I due primi termini che compaiono in questo titolo derivano dalla parola "automa", italianizzazione di una parola greca già usata da Erone nel titolo di un suo libro (*La Costruzione degli Automi*).

Da "automa" è derivato, come nelle altre lingue europee, l'aggettivo "automatico", normalmente usato per indicare una macchina o un procedimento che non richiedono l'intervento diretto dell'uomo (e che per questo si contrappongono ad una soluzione precedente nella quale l'uomo era più direttamente coinvolto). Il termine inglese *automation* è stato introdotto nel 1947 (da D. S. Harder, vicepresidente della Ford) come contrazione in una sola parola dell'espressione *automatic* production ed è stato usato con riferimento alle procedure che in quel periodo venivano introdotte nelle industrie automobilistiche per rendere più spedita ed efficiente la produzione.

Una suggestiva definizione che ne è stata data è relativa all'impiego di "macchine per far andare altre macchine" (*machines to run machines*). L'adattamento italiano "automazione" è stato inizialmente deprecato dai puristi ma poi è entrato largamente nell'uso.

La parola francese *automatique* (come aggettivo sostantivato per indicare una disciplina scientifica e tecnica) è stata usata per la prima volta nel 1956 come titolo di un congresso internazionale e si è diffusa abbastanza rapidamente (in effetti la forma russa *avtomatika* era già in uso da tempo nel titolo del periodico scientifico *Avtomatika i Telemekhanika*). La traduzione italiana "automatica" è stata ufficializzata fin dagli anni Sessanta del Novecento come titolo del periodico scientifico "Ricerche di Automatica".

Quando all'inizio degli anni Cinquanta si è cominciato a parlare diffusamente di automazione, accanto ad alcuni tentativi (non sempre felici) di definizione si è cercato di precisare il concetto elencando le principali tecniche con le quali all'epoca si conseguiva un consistente aumento della produttività (intesa come rapporto fra volume di produzione e personale impegnato). Queste tecniche erano allora: - il controllo automatico a retroazione

di singole macchine o parti di impianto; - l'impiego di macchine transfer di vario tipo (che si veniva sempre più imponendo nelle industrie manifatturiere):

- l'adozione di automatismi combinatori o sequenziali (allora esclusivamente a relé e con temporizzatori elettromeccanici) per l'avvio o la cessazione di azioni svolte da singole macchine o parti di impianto;
- la centralizzazione della strumentazione di misura e di intervento, particolarmente nelle centrali elettriche, negli impianti petrolchimici etc.;
- l'impiego di elaboratori (non solo per quella che poi si sarebbe chiamata *office automation* ma anche - almeno in prospettiva - per il controllo di processi).

Oggi con la parola "automatica" ci si riferisce soprattutto alla prima di queste tecniche, quella del controllo automatico a retroazione, inserito nel contesto più vasto della teoria dei sistemi dinamici: l'automatica viene infatti spesso definita come la disciplina che si occupa della ***teoria dei sistemi (dinamici) e del (loro) controllo (e delle applicazioni di tale teoria, non solo in campo industriale)***.

> La parola italiana "controllo" deriva, tramite il francese, dall'espressione del latino medioevale *contra rotulus*, usata per indicare un registro (*rotulus*) di riscontro, in cui venivano riportati elenchi contenuti in un altro registro: scopo della duplicazione delle indicazioni era quello di consentire, mediante il confronto fra i due registri, ciascuno dei quali conservato da una delle due parti interessate, che non ci fossero state aggiunte (nell'interesse di una delle due parti) o abrasioni (nell'interesse dell'altra). La parola francese *contrôle* passò poi ad indicare la nozione astratta di verifica e conserva tuttora questo significato, che del resto è quello prevalente anche nell'uso della parola italiana *controllo*.
>
> Invece la parola inglese *control*, derivata anch'essa da quella francese, assunse il significato di azione intesa ad imporre un determinato comportamento (e tale significato è stato acquisito da espressioni italiane adattate dall'inglese, quali autocontrollo, controllo delle nascite e, appunto, controllo automatico).
>
> In alternativa all'anglismo "controllo (automatico)", da parte di chi voleva conservare alla parola italiana il significato etimologico di "verifica", è stato proposto l'uso del termine "comando (automatico)", sul modello del francese *commande*, ma questa soluzione non è prevalsa ed oggi , nel contesto considerato, ci si serve quasi esclusivamente della parola "controllo", anche se non è stato sempre così. Come nel campo dell'elettronica si sono a lungo usate le espressioni "radiotecnica", "tecnica delle alte frequenze", "tecnica delle correnti deboli", così nel campo del controllo si è parlato inizialmente soprattutto di "regolazione automatica" (termine tuttora usato ma spesso con un significato più particolare) e poi di (teoria e tecnica dei) "servomeccanismi"; dalla fine degli anni Cinquanta del Novecento, per , la parola più usata in Italia (anche a livello ufficiale, nei titoli di insegnamenti universitari) è senza dubbio "controllo".

2 Il controllo automatico a retroazione

Il controllo automatico di un impianto o di una macchina, o meglio di una grandezza fisica che viene considerata come la variabile di "uscita" (*output*) di quell'impianto o di quella macchina (per esempio la velocità di rotazione di un motore, la posizione dell'utensile di

un tornio o di un trapano, la temperatura o la pressione all'interno di un reattore chimico) consiste nelle seguenti operazioni:

- acquisire (mediante opportuni *sensori* o *trasduttori*) l'informazione sul valore o sull'andamento della grandezza da controllare;

- elaborare questa informazione quanto meno confrontandola (mediante un opportuno *comparatore*) con il valore o l'andamento che si vorrebbe far assumere alla grandezza controllata e, più in generale, calcolando (mediante un *controllore*) l'andamento temporale della grandezza destinata ad agire sul processo da controllare per conseguire gli effetti voluti;

- agire sul processo nel modo che si è calcolato, il che richiede il ricorso ad *amplificatori* per elevare il livello di potenza ai valori necessari per influenzare il processo e di *attuatori* (detti anche esecutori, per esempio servovalvole, servomotori etc.) per ottenere una grandezza della natura fisica necessaria per intervenire sul processo.

Gli organi preposti a queste funzioni formano con il processo da controllare un anello chiuso che dà luogo alla cosiddetta "retroazione" (*feedback*) dall'uscita verso l'ingresso del processo.

Sistemi di controllo sono stati realizzati fin dall'antichità ma la formulazione di una teoria che consenta di progettare adeguatamente il controllore ha cominciato a configurarsi (in termini ancora generici) verso la fine del diciannovesimo secolo, è stata sviluppata fra gli anni Venti e Trenta del Novecento nell'ambito della radiotecnica ed ha cominciato a venir applicata concretamente alla progettazione di sistemi di controllo (prima militari e poi anche industriali) solo a partire dagli anni della seconda guerra mondiale.

Nell'antichità classica sono stati ideati dispositivi che è possibile interpretare in termini di sistemi di controllo a retroazione. Nella maggior parte di questi si utilizzava un galleggiante che aveva contemporaneamente il compito di trasduttore del livello raggiunto dall'acqua in un sebatoio, di comparatore fra tale livello e quello che si voleva venisse mantenuto ed anche di attuatore, dato che al galleggiante era collegato l'elemento mobile di una valvola idraulica che, lasciando passare una portata maggiore o minore di acqua dal tubo di alimentazione, influenzava il livello nel serbatoio.

Una tecnica di questo tipo è stata usata da Ctesibio (vissuto ad Alessandria al tempo di Tolomeo II Filadelfo (285 - 247 a.C.), che Vitruvio cita e paragona ad Archimede). In particolare Ctesibio la adottò per un orologio idraulico (descritto nel *De Architectura* di Vitruvio) in cui da un orifizio alla base del serbatoio a livello costante si preleva una portata che rimane anch'essa costante e quindi fa crescere linearmente il livello in un secondo serbatoio nel quale un altro galleggiante regge l'indice che si sposta su una scala graduata, segnando l'ora.

Lo stesso principio è stato utilizzato anche da Filone di Bisanzio, vissuto nella seconda metà del II secolo a.C., per la regolazione di una lampada ad olio e da Erone, vissuto nel I secolo d.C., per vari dispositivi interpretabili come sistemi a retroazione (e descritti nella sua opera intitolata *Pneumatica* e non in quella sulla costruzione di automi, dove invece parla di meccanismi a funzionamento programmato rigidamente e non di meccanismi a retroazione nei quali l'obiettivo viene conseguito tenendo conto di quale è la situazione effettiva momento per momento).

Analoghe sono le caratteristiche di alcuni orologi idraulici medioevali, realizzati da vari tecnici bizantini e, soprattutto, islamici che si rifacevano all'antica tradizione di Alessandria ed alla cultura ellenistica.

Diverse sono invece le caratteristiche degli orologi meccanici "a verga e foliot" concepiti autonomamente nel tardo Medioevo in Europa occidentale, per i quali pure è stata proposta un'interpretazione a retroazione (che consente di considerarli come sistemi di controllo di una velocità (media) di rotazione o anche come oscillatori a retroazione).

Il primo sistema a retroazione inventato nell'Europa moderna indipendentemente da modelli antichi e con chiara consapevolezza del meccanismo impiegato è un termostato (regolatore di temperatura) ideato e costruito da Cornelis Drebbel (1572 - 1633), nato in Olanda e attivo in vari stati europei ma soprattutto in Inghilterra. Tale termostato si basa sull'impiego di un termometro (ad alcool o ad aria, nelle diverse realizzioni) che, mediante opportuni collegamenti, comanda il registro di tiraggio disposto sul condotto di uscita dei fumi di una fornace che contiene il recipiente dove si vuole mantenere costante la temperatura. Quando questa si abbassa, il registro provoca l'aumento del tiraggio e così la fiamma si ravviva e la temperatura aumenta; quando invece questa è più elevata del voluto, il tiraggio viene ridotto, la fiamma si affievolisce e la temperatura si abbassa. E'interessante rilevare che a Drebbel fu attribuita l'invenzione del termomentro, come pure del microscopio e del telescopio, anche se, verosimilmente, fu soltanto il primo che introdusse in Inghilterra questi strumenti (di cui comunque studiò varianti e perfezionamenti): in effetti non si sarebbe potuto concepire un controllo a retroazione della temperatura senza un dispositivo che fornisse un segnale di uscita, legato alla temperatura stessa ed in grado di comandare la valvola di tiraggio, e questo dispositivo era, comunque, un termometro.

La personalità di Drebbel presenta aspetti diversi e parzialmente contraddittori: fu certamente un abile tecnico aperto alle novità scientifiche della sua epoca ma si interessò anche di alchimia (per altro in un momento in cui nell'ambito dell'alchimia moveva i primi incerti passi la chimica scientifica). Dei vari termostati che quasi certamente realizzò rimane testimonianza di due, uno dei quali destinato ad una finalità pratica (un'incubatrice per uova), mentre l'altro era inserito in un atanor (cioè in un forno alchemico per la produzione della pietra filosofale).

Sempre del diciassettesimo secolo è un altro dispositivo di cui può essere dato uno schema interpretativo a retroazione, cioè la pentola (oggi diremmo "a pressione") di Denis Papin (1647 - 1714), realizzata nel 1680. In sostanza si tratta di un sistema di controllo a tutto o niente della pressione del vapore all'interno di un recipiente: quando la pressione supera il valore voluto, determina l'apertura di una valvola di scarico, superando la forza di un contrappeso di valore opportuno; si ha così sfiato e quindi un abbassamento della pressione; di conseguenza, la valvola si richiude per il prevalere dell'azione del contrappeso e la pressione non diminuisce ulteriormente. Nel diciottesimo secolo furono realizzati altri sistemi di controllo della temperatura o della pressione, che però non ebbero applicazioni concrete di tipo pratico.

Grande rilievo ebbe invece, nel contesto della rivoluzione industriale, il regolatore di velocità applicato nel 1787 alle motrici a vapore da James Watt (1736 - 1819). Questo era basato sull'impiego del dispositivo centrifugo a sfere rotanti, già impiegato nei mulini a vento (all'inizio, probabilmente, come volano ad inerzia variabile, bassa alle velocità inferiori e più elevata a quelle più alte). In termini moderni si può dire che il dispositivo centrifugo svolge le funzioni di *trasduttore* dalla velocità angolare di un asse (collegato all'albero della motrice) alla posizione del suo colletto che risulta tanto più bassa quanto

minore è la velocità e quindi la divaricazione delle masse rotanti. Le funzioni di comparatore vengono svolte da una leva, ad un estremo incernierata sul colletto, all'altro in una posizione corrispondente al valore che si vuol far assumere alla velocità di rotazione della motrice: un opportuno punto intermedio di questa leva assume dunque una posizione legata alla differenza fra valore desiderato e valore effettivo della velocità ed in base a tale posizione si agisce sull'afflusso del vapore nel cilindro dello stantuffo.

Il regolatore di Watt, con diversi miglioramenti ed adattamenti, rimase per tutto il diciottesimo secolo il protagonista del controllo automatico della velocità di rotazione, prima nelle motrici a vapore e poi anche in altri tipi di motore.

Da allora la tecnologia del controllo ha attraversato varie fasi evolutive: da sistemi totalmente meccanici (o con componenti oleodinamici e pneumatici) si è passati all'utilizzazione di dispositivi elettrici (sia come trasduttori, sia come elmenti di elaborazione, sia come attuatori: i "servomotori" elettrici), poi intorno alla metà del ventesimo secolo, ad un uso sempre maggiore dell'elettronica (specialmente per scopi di elaborazione e di amplificazione), prima con soluzioni prevalentemente analogiche e poi ricorrendo sempre più di frequente a soluzioni digitali.

Al progresso della tecnologia in questo campo ha però contribuito in misura rilevante la formulazione di una teoria del controllo che ha lo scopo di suggerire le elaborazioni da compiere sulle grandezze prelevate da sensori e trasduttori ai fini di svolgere l'azione più efficace sul processo da controllare ai fini di portarne l'uscita al valore voluto (o per farle assumere l'andamento temporale desiderato).

In effetti per diverso tempo la progettazione e la messa a punto dei controllori si è basata sull'esperienza e sull'intuizione, senza un solido supporto formale. Il primo contributo a carattere scientifico in questa direzione è contenuto in una nota presentata da James C. Maxwell nel 1867 alla Royal Society. In tale contributo si ha un'analisi rigorosa, in termini di equazioni differenziali, del funzionamento di sistemi di regolazione della velocità (con particolare riferimento a quelli usati dall'astronomo George Biddel Airy (1801 - 1892) nel suo osservatorio).

> La nota di Maxwell si intitola *On governors*, utilizzando un termine allora di corrente impiego, oggi desueto, per indicare i regolatori. A tale termine si ispirò Norbert Wiener (1894 - 1964) quando coniò - appunto in omaggio a Maxwell - la parola "*cibernetica*" usata per il titolo della sua opera del 1948, il cui sottotitolo era "*Control and Communication in the Animal and the Machine*"; la parola inglese *cybernetics* è formata sulla parola greca *kubernetes*, "nocchiero", cui corrisponde il termine latino *gubernator* che è alla base della parola inglese *governor*.

Uno dei fenomeni che preoccupava i progettisti dei sistemi di controllo (e che Maxwell prende in considerazione) è l'insorgenza, a seguito di una scelta inopportuna di parametri, di violente oscillazioni a proposito delle quali, fra i tecnici del settore, venivano usati il termine inglese *hunting* o il francese *pompage*. Si tratta dei fenomeni che oggi vanno sotto il nome di instabilità e che Maxwell mette correttamente in relazione alla presenza di radici con parte reale positiva dell'equazione caratteristica associata all'equazione differenziale del sistema. Non è però in condizione di fornire un criterio per la verifica della stabilità (senza risolvere l'equazione caratteristica) per il caso generale. La soluzione a questo problema verrà data nel 1877 dal matematico inglese, di origine canadese, Edward John Routh (1831 - 1907) ed indipendentemente, nel 1895, dal matematico tedesco Adolf Hurwitz (1859 -

1919), del Poltecnico di Zurigo, al quale il problema era stato sottoposto dallo specialista di turbine idrauliche Aurel Boleslaw Stodola, dello stesso Politecnico.

Successivi passi avanti, largamente utilizzati nella moderna teoria dei sistemi ma all'epoca non presi in considerazione dalla maggior parte dei tecnici del controllo, ebbero luogo nel contesto della meccanica razionale e della fisica matematica (con Henry Poincaré (1854 - 1912) e vari studiosi della scuola russa).

Un ulteriore passo significativo, determinante ai fini del progresso tecnologico in questo settore, si ebbe negli anni Venti del Novecento, però non con riferimento a problematiche di controllo automatico ma a quella di sistemi elettronici che presentavano anelli di retroazione. Che, in questo caso, si tratti di applicazioni basate su una precisa consapevolezza delle caratteristiche intrinseche della struttura formale di quei sistemi, può esser provato dal fatto che proprio in quest'epoca ed in quest'ambito venne coniata la parola *feedback* (documentata per la prima volta in un articolo della rivista *Wireless*).

Nel caso specifico si trattava di attribuire a circuiti elettronici ed a sistemi di telecomunicazione le caratteristiche volute; in particolare di compensare distorsioni ed altri tipi di disturbo che avevano luogo in amplificatori a tubi elettronici impiegati nel servizio telefonico transcontinentale degli Stati Uniti. A questo fine Harold S. Black (1898 - 1983), che per diversi anni si era occupato del problema fornendo anche ingegnosi contributi alla sua soluzione, nel 1927 adottò uno schema a retroazione nel quale uno stesso amplificatore veniva fatto attraversare dal segnale in arrivo e da un segnale corrispondente alla sua uscita, adeguatamente attenuata, in modo tale da avere la combinazione degli effetti utili e la compensazione delle distorsioni. Analoghi schemi a retroazione furono proposti anche per per circuiti che utilizzavano tubi elettronici per modificarne il guadagno o la banda o per ottenere oscillatori da utilizzare nel campo della radiotecnica.

In tutti questi casi il comportamento del sistema è poco intuitivo ed è necessario disporre di una teoria che fornisca metodi di analisi adeguati per prevedere il comportamento del sistema e metodi di sintesi adatti per progettarlo affinché si comporti nel modo desiderato. Questi metodi vennero messi a punto soprattutto negli anni Trenta ad opera dello stesso Black, di Harry Nyquist (1889 - 1976) e di Hendrik Wade Bode (1905-1982).

Durante la seconda guerra mondiale e poi nel decennio seguente ebbe luogo il trasferimento di tali metodi allo studio di veri e propri sistemi di controllo: inizialmente, in rapporto alle esigenze belliche, per il controllo di sistemi di puntamento per antenne radar e armi antiaeree, successivamente per i servomeccanismi impiegati nelle applicazioni industriali. Contemporaneamente, per il controllo di processi (in particolare in campo termico e chimico) venivano sviluppati i controllori del tipo PID (nei quali l'azione di controllo sull'impianto da controllare è ottenuta combinando tre termini proporzionali allo scostamente fra valore desiderato e valore effettivo della grandezza da controllare, all'integrale di tale scostamento ed alla sua derivata). Un contrbuto fondamentale per la predisposizione di tali controllori fu fornito in un lavoro del 1942 di J.G. Ziegler e di N.B. Nichols.

Dalla fine degli anni Cinquanta lo studio del controllo si è giovato fondamentalmente dei contributi della teoria dei sistemi dinamici, sviluppata in termini di variabili di stato, ed ha affrontato problemi connessi al controllo di sistemi non lineari, all'ottimizzazione delle azioni di controllo, alla identificazione del modello per descrivere il processo da controllare.

Gli sviluppi dell'elettronica digitale e dell'informatica hanno poi portato ad una diffusione sempre crescente del controllo digitale e del controllo coordinato di processi ricorrendo ad elaboratori che non solo si occupano di calcolare le grandezze controllanti per i diversi anelli di controllo ma gestiscono in modo organico l'intero sistema.

L'automazione industriale con controllori a logica programmabile Come si è detto, la parola *automazione* venne coniata negli anni Quaranta del Novecento con riferimento ad applicazioni in campo automobilistico, nel quale operavano le macchine transfer in buona parte basate sull'impiego di circuiti logici, combinatori o anche sequenziali, per determinare l'avvio o la fine di ciascuna delle operazioni svolte dalla macchina, senza l'intervento dell'uomo.

Riferendoci inzialmente a sistemi puramente combinatori, il problema era quello di individuare le condizioni in corrispondenza alle quali attivare un intervento o farlo cessare, il che doveva avvenire, tipicamente, quando erano presenti determinate circostanze e quando erano assenti altre, cioè in corrispondenza al risultato di un'operazione logica su variabili booleane associate alla presenza o all'assenza di delle circostanze cui si è accennato. La logica veniva realizzata con relé (normalmente aperti o normalmente chiusi) collegati in serie o in parallelo (in modo da eseguire l'operazione AND o l'operazione OR).

Spesso si verificava però l'esigenza di intervenire solo dopo che fosse trascorso un prefissato intervallo di tempo dal verificarsi delle circostanze influenti (e l'intervallo poteva essere diverso da circostanza a circostanza). Quando le operazioni booleane erano realizzate dalla combinazione dei relé, i ritardi venivano generati con opportuni contatori, spesso di tipo elettromeccanico.

Il cablaggio di relé e temporizzatori risultava spesso abbastanza complicato; il modificare la logica in rapporto ad un'utilizzazione diversa delle stesse macchine richiedeva di rifare il cablaggio, operazione generalmente molto costosa e causa di notevoli perdite di tempo.

Fu per tale motivo che, a seguito degli sviluppi dell'elettronica e dell'informatica, si passò ad automatismi meno ingombranti, meno costosi e, soprattutto, più elastici che culminarono nei cosiddetti PLC (*Programmable Logic Controller*, espressione tradotta in italiano sia nella forma "Controllori logici programmabili" sia nella forma "Controllori a logica programmabile").

Sostanzialmente si può così parlare di

- una **prima generazione** di automatismi, che arriva fino a tutti gli anni Cinquanta, in cui si hanno reti di componenti elettrici (relé e temporizzatori) o anche meccanici o pneumatici; tali automatismi risultavano lenti nell'acquisizione e nell'elaborazione di informazioni, costosi per quanto riguarda la progettazione, la realizzazione e la manutenzione, e di dificilissima riconfigurabilità;

- una **seconda generazione**, collocabile fra il 1960 ed il 1975, caratterizzata dall'impiego di dispositivi elettronici a semiconduttore, dall ricorso a circuiti stampati e da un certo livello (ancora basso) di miniturizzazione; i risultati sono quelli di strutture meno costose e più compatte (ma questa tecnologia rimane limitata a grandi industrie, anche se passa gradatamente da quelle automobilistiche a quelle dei settori, metallurgico, alimentare, farmaceutico, cartario e cartotecnico etc.)

- una **terza generazione**, caratterizzata dallo sviluppo di logiche programmabili e microprocessori, da metodi di progettazione indipendenti dal tipo di logica utilizzata e da procedure di comunicazione utente-macchina, in particolare per la ricerca di guasti.

In effetti i primo PLC risale al 1968 ma la diffusione di strumenti di questo tipo non fu immediata (e quindi la seconda generazione durò di fatto abbastanza a lungo anche dopo l'apparizione dei PLC, il cui impiego caratterizza la terza generazione). E' comunque da

notare che i PLC attuali derivano, piuttosto che dal loro progenitore del 1968, dal primo PLC basato su microprocessore, che fu introdotto dall'Allen Brandley intorno alla metà degli anni Settanta.

Con l'intento di raccogliere e pubblicare notizie, lontane o prossime, di storia della scienza e della tecnologia elettrica nasce questa collana di Note o Quaderni patrocinata dalla Sezione italiana di IEEE e curata dal suo *History Activity Committee*.
Si tratta di notizie alcune volte inedite e altre volte nascoste in pubblicazioni antiche o difficilmente raggiungibili. Esse vogliono contribuire a documentare alcuni aspetti dell'origine e della grande evoluzione del vasto mondo delle applicazioni dell'elettricità.

Questa nota presenta la dispensa che Antonio Lepschy, coadiuvato da Alessandro Beghi, aveva predisposto per l'insegnamento di "Storia della Tecnologia dell'Informazione" da lui avviato a Padova negli ultimi anni di ruolo e nel quale aveva profuso la sua vasta cultura sugli aspetti storici delle tecnologie.

The new series of History Notes sponsored by the IEEE Italy Section and edited by its History Activity Committee, aims at collecting and publishing historical documentation, from the far or near past, on the history of electric science and technology.
The publication of unknown documents or the re-publication of documents in past and hardly accessible sources wishes to contribute to offer some new insight on the origin and the evolution of the wide world of electrical applications.

This note presents the lecture notes that Antonio Lepschy, assisted by Alessandro Beghi, had prepared for the course "History of Information Technology" which he started in Padua in the last years of his role and in which he had lavished his vast culture on the historical aspects of technologies.