



XVII Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica

*Natura e civiltà delle macchine.
Una lettura storica.*

di Giorgio Nebbia

Ogni anno il Ministero dell'Università e della Ricerca indice una serie di manifestazioni sulla scienza e la tecnica; e fa anche bene perché soltanto se si diffonde una cultura popolare della tecnica — cioè dei processi con cui gli esseri umani trasformano i beni della natura in oggetti utili per la vita umana, che diventano poi rifiuti che ritornano nella natura — il paese può sviluppare innovazioni, può usare meglio i frutti della ricerca tecnico-scientifica e creare nuova occupazione. È stato perciò scelto bene il tema di quest'anno: “La natura e la civiltà delle macchine”, tema che peraltro può essere sviluppato in due diverse maniere. La prima è una critica della contestazione ecologica: smettetela di accusare la tecnica e l'industria e le macchine di danni alla natura perché alla civiltà dell'industria e delle macchine siete debitori di mezzi di comunicazione e di trasporto e di lavatrici e televisori e di tutti i “beni” della moderna società dei consumi: sarà anche vero che la produzione e l'uso di alcuni di questi strumenti ha qualche effetto dannoso e inquinante, ma i vantaggi sono di gran lunga maggiori: una impostazione che chiamerei revisionista rispetto alla crescente attenzione per l'ambiente e per la sua difesa.

L'altra chiave di lettura, quella veramente utile, consiste in un invito allo studio e alla conoscenza delle innovazioni tecniche per riconoscerne i vantaggi, ma per riconoscere anche che tutto viene dalla natura, fonte di ogni materia ed energia, e per vederne anche, in maniera serena e spregiudicata, gli inconvenienti e i danni alla salute e alla natura e per vedere come si possano avere "macchine" e beni utili rispettando la natura stessa.

Gli effetti sulla natura delle attività di produzione e di consumo di merci e manufatti si sono probabilmente cominciati a vedere già 3000 anni fa: le attività minerarie degli Etruschi in Toscana lasciano terre diboscate e montagne di scorie; l'estrazione di argento dalle miniere dell'Attica porta la distruzione di boschi al cui posto restano terre esposte all'erosione; lo sfruttamento delle campagne del Nord Africa porta all'avanzata del deserto dall'interno verso il mare; l'estrazione dello zolfo dalle miniere siciliane lascia i segni sulle campagne rese sterili dai fumi corrosivi. I perfezionamenti dell'aratro, che risalgono intorno al Mille, hanno contribuito ad un più profondo attacco del terreno nel corso delle operazioni agricole e hanno provocato modifiche ancora più profonde della superficie della Terra.

Un esempio dell'attitudine dell'uomo del periodo "eotecnico", come dice L. Mumford, nei confronti della natura è offerto dall'attività mineraria, l'attività di rapina per eccellenza nel mondo della tecnica. Di questo si accorsero già gli uomini del 1500 e Georg Bauer, detto Agricola (1494-1555), nel suo trattato di tecnologia mineraria (1556), offre una risposta, a dire il vero abbastanza zoppicante, a coloro che denunciavano tale attività come responsabile dell'inquinamento dei fiumi, dell'inaridimento dei campi, della scomparsa degli animali, della distruzione dei boschi. Ma siamo appena all'alba della civiltà delle macchine, le cui prime manifestazioni in senso moderno si possono far risalire al tardo Medioevo.

"La macchina" è sempre stato qualcosa che gli esseri umani hanno sviluppato per alleviare il peso e la fatica del lavoro umano usando qualche forza esterna alle braccia e alle gambe, usando la grandissima forza dell'osservazione del mondo circostante e dell'innovazione. Non c'è dubbio che a tempi antichissimi risale l'osservazione che il moto delle acque di un fiume, dall'alto al basso, dalle colline al

mare, aveva “dentro di se” una grande forza, capace di spostare i tronchi galleggianti, di separare pietre e rocce di diversi caratteri.

Ma ci sarebbe voluto tempo, e qualche progresso nella fisica, per capire che la forza dell'acqua, tenuta in moto gratuitamente dall'energia del Sole con i suoi cicli di evaporazione e condensazione sugli oceani e sulle terre emerse, avrebbe potuto essere utilizzata per far girare una ruota il cui moto avrebbe potuto sostituire la forza delle donne e degli uomini e degli animali. I mulini ad acqua furono così le prime vere e proprie macchine.

La rotazione delle ruote poté essere applicata alla macinazione dei cereali, alla preparazione della farina, al trattamento dei minerali e dei metalli e nelle operazioni tessili. Le macchine ad acqua hanno cominciato a porre prima di tutto problemi di localizzazione al di fuori delle città; è vero che molte città erano attraversate da fiumi e che il loro flusso poteva essere utilizzato per azionare macine o macchine all'interno del tessuto urbano. Ma il moto più rapido delle acque si trovava nelle valli e nelle montagne e colline, che sono a poco a poco diventati luoghi privilegiati per l'insediamento di fabbriche. Abbastanza curiosamente, la civiltà delle macchine, figlia essenzialmente di cultura e di bisogni urbani, si afferma nelle periferie e nelle valli.

Ma ancora prima che come fonte di energia l'acqua è stata essenziale per lo sviluppo della civiltà come alimento, per l'igiene, come ricettore e trasformatore dei rifiuti e delle scorie della civiltà stessa. Ed ecco un altro aspetto della contraddizione fra natura e macchine: l'acqua come mezzo essenziale per il funzionamento della vita e delle macchine, ma anche parte di natura offesa dall'inquinamento delle attività umane. Nello stesso tempo, l'acqua, che non è affatto soltanto acqua-due-o, ma che è una complessa soluzione di sali e sede di vita, ha una sua capacità di autodepurazione che è stata lentamente svelata dalle conoscenze chimiche e fisiche, per cui la contaminazione delle acque naturali può essere corretta e limitata proprio dal successo delle conoscenze generate dalla società che tali nocività aveva generato.

Ma la macchine avevano bisogno, oltre che di rotazione di ruote, di calore, e fino al 1600 l'unica fonte di calore era rappresentata dalla combustione del legno, energia solare incorporata, attraverso la fotosintesi, nella materia naturale. Ma ben

presto si vide che i boschi, da cui veniva il legno usato come materiale da costruzione, e come fonte di energia e reagente chimico in metallurgia, a poco a poco diminuivano di superficie e produttività e la macchina mostrava di distruggere la fonte stessa del suo funzionamento.

E qui si affaccia sulla scena il carbone, il primo grande prodotto che la natura aveva accumulato lentamente nelle sue profondità, come risultato della putrefazione e decomposizione di grandi quantità di vegetali sepolti poi da rocce e sabbia. Il carbone si rivelò ben presto nocivissimo e inquinantissimo, il cui uso è derivato dalla necessità di un'alternativa all'uso del legno come combustibile, nelle città e nelle fabbriche.

La risorsa che assicurava il funzionamento della macchina derivava da una materia sepolta dentro la natura e richiedeva altre macchine, necessarie per raggiungere i giacimenti sotterranei di carbone, per svuotarli dalle infiltrazioni di acqua, per macinare e lavare il carbone, separandolo dalle scorie e per trarre dal carbone la sua energia calorica.

Dapprima si trattò di utilizzazioni occasionali, anche se già nel XIII secolo la quantità di carbone bruciata a Londra era abbastanza rilevante, tanto da provocare un grave inquinamento dell'aria e da costringere le autorità ad intervenire. Nel 1273 l'uso del carbone fossile come combustibile fu proibito a Londra in quanto "pregiudizievole alla salute"; nel 1306 un proclama reale vietava l'uso del carbone nei forni e si ha notizie che in quell'anno un fornaio fu condannato a morte per non avere rispettato il divieto. Nel 1307 fu nominata, sempre in Inghilterra, una commissione d'inchiesta per scoprire coloro che usavano il carbone a Londra e nelle adiacenze; la prima volta che costoro venivano sorpresi erano condannati a gravi multe; se recidivi i loro forni venivano distrutti.

Nella metà del 1600 John Evelyn (1620-1706) fece presente che si poteva combattere l'inquinamento dell'aria a Londra circondando la città con filari di alberi, il cui legname sarebbe stato anzi utile per la costruzione delle navi di sua maestà; secondo questo ingegnoso portavoce dell'alta borghesia, le classi agiate potevano così vivere nelle periferie delle città, non toccate dall'aria mefitica dei centri urbani nei quali vivevano le classi povere.

Ma altre voci premevano sulla strada del "progresso" e preparavano le basi teoriche di una rivoluzione tecnico-scientifica che avrebbe messo a repentaglio sempre più la natura e le sue risorse. I filosofi della società industriale, Cartesio (1596-1650) e Francesco Bacone (1561-1626), gettavano le basi del credo per cui le conoscenze scientifiche sono al servizio delle invenzioni e delle manifatture e si identificano con il "dominio" della tecnica sulla natura.

Fino allora il ferro e l'acciaio erano stati prodotti per la trasformazione dei minerali di ferro mediante carbone di legna, la "carbonella", ottenuto scaldando la legna in assenza di aria, nelle carbonaie. A mano a mano che aumentò la richiesta di ferro, aumentò anche la richiesta di carbone di legno e si scoprì che il carbone di legno poteva essere sostituito dal carbone fossile che fu quindi, in un primo tempo, salutato come "ecologicamente corretto" in quanto salvava i boschi. Nasce così, intorno alla metà del 1700, in seguito a vari avvenimenti culturali, politici ed economici, un'ondata di bisogni nuovi e quindi di merci nuove.

La formazione, in alcuni paesi, per esempio in Inghilterra, di una nuova società borghese e il diffondersi del benessere hanno portato ad una maggiore richiesta di quei beni che prima erano riservati soltanto a ceti ristretti. L'Inghilterra dovette questo alla potenza della sua flotta mercantile, all'importazione a basso prezzo di materie prime dalle colonie, alla disponibilità di carbone e all'antica tradizione mineraria di estrazione dello stagno in Cornovaglia, nonché al suo regime politico aperto alla circolazione e alla discussione delle nuove idee nate dalla curiosità per i problemi della natura.

Fondamentali, per la nascita della civiltà delle macchine, sono i centri di cultura e di interessi sperimentali come la Royal Society fondata a Londra nel 1660, l'Académie Royale des Sciences, fondata a Parigi nel 1666, la Lunar Society di Birmingham, fondata nel 1766, l'Accademia dei Lincei di Roma, fondata nel 1603, l'Accademia delle scienze di Bologna, fondata nel 1714,: tutte palestre per la diffusione di idee e invenzioni.

La prima merce richiesta da una società in rapida evoluzione fu una fonte di calore e la società inglese, più evoluta come livello di benessere, trovò nel proprio sottosuolo questa ricchezza sotto forma di carbon fossile, la cui produzione passò da

210.000 tonnellate, nel decennio 1551-1560, a 2 milioni di t nel decennio 1681-1690.

I problemi dell'industria mineraria e la disponibilità di questa fonte di energia portarono gli inventori a costruire la prima macchina capace di trasformare l'energia termica in energia meccanica, cioè la macchina a vapore. L'energia meccanica era necessaria per rendere più efficiente il lavoro nelle miniere e in particolare per pompare l'acqua dai pozzi. Talvolta viene fatto coincidere l'inizio della rivoluzione industriale con l'invenzione della macchina a vapore che fu brevettata, nella sua forma più rudimentale, da Thomas Savery (c. 1650-1715) nel 1698 e fu descritta nel 1702. Alcuni sostanziali perfezionamenti alla macchina di Savery furono dovuti a Thomas Newcomen (1663-1729) la cui prima macchina nota risale al 1712.

La disponibilità di una fonte di energia meccanica portò alla soluzione di un altro importante problema, sollecitato da una società con un crescente livello di vita: la produzione di una maggiore quantità di tessuti a prezzo più basso. I traffici con le nuove colonie rendevano disponibile in Inghilterra il cotone in rilevanti quantità: gli inventori costruirono delle macchine capaci di riprodurre il lavoro artigianale dei filatori e dei tessitori più rapidamente e meglio. Queste macchine tessili potevano essere azionate dal moto dell'acqua dei fiumi o da macchine a vapore.

La prima grande innovazione si ebbe con l'invenzione della spola volante fatta da John Kay nel 1733. Prima di tale data la spola era fatta passare a mano da un lato all'altro del tessuto; la spola volante, invece, come dice il nome, scorreva direttamente attraverso il tessuto, da una all'altra delle sue sedi, poste ai lati del tessuto, mediante un dispositivo azionato da cordicelle che il tessitore teneva in una mano. Il suo uso richiedeva una notevole abilità, ma permetteva di tessere panni di maggiore lunghezza e addirittura di raddoppiare la produzione del tessitore.

L'invenzione del dispositivo di Kay ebbe l'effetto immediato di rendere difficile per i filatoi fronteggiare con la loro produzione la richiesta di filo da parte dei tessitori. Si ebbe così l'invenzione del filatoio di James Hargreaves, ideato verso il 1764 e brevettato nel 1769, che permise ad un solo filatore di far funzionare contemporaneamente, dapprima otto fusi e poi ottanta fusi e anche più.

Nello stesso anno 1769 Richard Arkwright (1732-1782) costruì una macchina per filare che poteva essere azionata da animali, oppure da una ruota ad acqua e che,

dopo vari miglioramenti, fu in grado di produrre un filato più forte di quanto fosse prima possibile, permettendo così la produzione di tessuti interamente di cotone. Infatti, prima che si usasse questa macchina, il filato di solo cotone era così imperfetto che poteva servire soltanto per la trama, mentre per l'ordito doveva essere adoperato lino.

In questa prima fase della meccanizzazione la principale fonte di energia meccanica utilizzata fu l'energia idraulica. Una nuova spinta si ebbe però quando James Watt (1736-1819) realizzò un perfezionamento della macchina a vapore brevettando nel 1769, e costruendo nel 1779, la macchina che porta il suo nome e la cui principale caratteristica era l'introduzione di un condensatore separato che assicurava un migliore rendimento termico.

Le macchine tessili e le macchine a vapore richiedevano come materiale da costruzione ferro e acciaio di qualità migliore e a prezzo più basso rispetto al passato. Questo sviluppo fu possibile grazie ad alcune innovazioni nella tecnica siderurgica e fu ancora l'Inghilterra che nel 1700, disponendo di carbone e di minerali di ferro, passò all'avanguardia anche nella produzione del ferro.

Un primo passo avanti era già stato fatto nella seconda metà del 1600 con l'impiego del carbone fossile al posto del costoso e sempre più raro carbone di legna, nella riduzione degli ossidi di ferro a ferro, ma la svolta fondamentale si ebbe con la scoperta del carbone coke.

Nel generale fermento di curiosità per le cose della natura il primo procedimento con cui si analizzava una sostanza naturale consisteva nel sottoporla a distillazione secca e nell'osservare i prodotti che si formavano. Questo procedimento, applicato al carbone, mostrò che il carbone fossile si trasformava, per distillazione secca, in carbone coke con liberazione di sostanze volatili. Il carbone coke risultava più adatto del carbone fossile tal quale per la produzione del ferro, avendo un minore contenuto in zolfo rispetto al carbon fossile, ed essendo più resistente meccanicamente.

La prima produzione industriale di carbone coke e il suo impiego in siderurgia si ebbero nel 1709 nelle fonderie di Abraham Darby (1677-1717). In seguito all'impiego del coke fu possibile costruire altoforni più grandi ed aumentare la produzione del ferro, diminuendo i costi.

A seconda della qualità del carbone impiegato per produrre il coke, e quindi a seconda della qualità del coke, l'altoforno forniva ferro dolce o ghisa; il ferro dolce, con basso contenuto in carbonio (meno dell'1 %), si otteneva soprattutto impiegando il coke ricavato dai carboni di buona qualità dello Shropshire. Col coke ottenuto da altri carboni si doveva operare a temperature maggiori e il ferro assorbiva carbonio fino a oltre il 3 %, trasformandosi in ghisa.

Negli anni successivi la produzione della ghisa aumentò. Abraham Darby II (1711-1763) perfezionò il funzionamento dell'altoforno aggiungendo calcare al coke e al minerale di ferro, ottenendo così delle scorie fuse più facilmente eliminabili. La ghisa però non fece concorrenza al ferro ottenuto col carbone di legna fino a circa il 1750; dopo tale data i forgiatori del Worcestershire cominciarono ad accettarla.

Fra il 1760 e il 1765 furono introdotti dei sistemi per insufflare aria nel forno, assicurando una più completa combustione del coke, e le macchine a vapore di Watt trovarono buon impiego nell'azionare le pompe per l'aria.

La successiva invenzione fondamentale, che avrebbe portato l'altoforno alla struttura attuale, fu dovuta a Jean Beaumont Neilson (1792-1865) che, nel 1828, brevettò l'idea di insufflare aria calda anziché aria fredda nell'altoforno, rendendolo molto più efficiente.

Il successo di queste innovazioni è dimostrato dal fatto che il prezzo della ghisa scese da 12 sterline per tonnellata nel 1728, a 6 sterline per tonnellata nel 1792. La ghisa tuttavia aveva i suoi limiti: con essa era possibile fabbricare rotaie, ruote, cilindri, eccetera, ma non utensili o parti fondamentali di macchine. Dovunque si richiedessero requisiti di alta tenacità e resistenza doveva ancora essere impiegato ferro fucinabile: se si avevano esigenze di durezza e elasticità si doveva usare l'acciaio.

Già René Antoine Reaumur (1683-1757) in una celebre pubblicazione sull'"arte" della fabbricazione del ferro e dell'acciaio del 1722 aveva descritto gli esperimenti con cui era riuscito a svelare il "segreto" degli antichi fabbricanti di acciaio: l'acciaio non era altro che ferro con una quantità determinata di carbonio. Egli aveva scoperto anche che era possibile ottenere l'acciaio fondendo insieme ghisa e ferro dolce. Nessuno degli artigiani del tempo aveva capito l'importanza di questo contributo scientifico e l'Inghilterra in questo periodo aveva continuato a

dipendere dalla Germania per le importazioni di acciaio di buona qualità da ghise manganesifere.

Soluzioni parziali del problema dell'acciaio si ebbero nel 1740 ad opera di Benjamin Huntsman (1704-1776), un orologiaio inglese che iniziò la produzione di acciaio al crogiolo per la fabbricazione di molle e pendoli. Nel 1784 Henry Cort (1740-1800) ottenne un brevetto per la trasformazione della ghisa in ferro dolce per pudellaggio; il ferro pudellato era inferiore come qualità al ferro ottenuto col carbone di legna, ma costava molto meno.

Una delle prime conseguenze dello sviluppo dell'industria tessile, soprattutto del cotone, fu rappresentata dalla richiesta di prodotti chimici per il lavaggio e il candeggio. Da qui in avanti la chimica ebbe un ruolo fondamentale nello sviluppo della civiltà delle macchine, utilizzando materie fornite dalla natura, ma, nello stesso tempo, contaminando con nuove scorie l'ambiente naturale.

Intorno al 1750 il candeggio dei tessuti era realizzato con latte acido e i produttori inglesi spedivano i loro panni in Olanda per questa operazione. Fra il 1750 e il 1760 fu tentata la fabbricazione e l'impiego di soluzioni alcaline e nello stesso periodo fu scoperto che il latte acido poteva essere sostituito col vetriolo (acido solforico), del quale, nel 1746, John Roebuck (1718-1794) e Samuel Garbett (1717-1805) avevano iniziato la produzione industriale prima a Birmingham, poi, nel 1749, a Prestonpans.

Partendo dall'osservazione, fatta un secolo prima da Johann Rudolph Glauber (1604-1670), che il piombo non è attaccato dall'acido solforico, essi condussero la reazione fra lo zolfo e il salnitro in camere con l'interno rivestito di piombo, anziché nelle costose e fragili storte di vetro impiegate fino allora; l'innovazione determinò una sensibile diminuzione del costo e del prezzo del prodotto. Il processo fu ulteriormente perfezionato da Charles Tennant (1768-1838) che, nel 1803, arrivò a recuperare l'acido solforico in una serie di camere di piombo.

Negli anni fra il 1760 e il 1780 fu sviluppata la fabbricazione del solfato sodico (o sal Glauber) per reazione fra il sale comune e l'acido solforico e nel 1780 James Keir (1735-1820) iniziò la produzione dell'idrato di sodio (soda caustica) con un sistema basato sulla decomposizione del solfato di sodio con calce. La soda

caustica era richiesta dai fabbricanti di sapone ed è stata l'unica sostanza alcalina artificiale fino alla diffusione del processo Leblanc.

Poiché la materia prima per la nuova industria, il sale, era gravata da una pesante imposta, Keir ottenne con una legge inglese del 2 maggio 1781, una diminuzione di tale imposta per il sale destinato all'industria.

Nel 1774 il farmacista svedese Carl Scheele (1742-1786) scoprì il cloro e pochi anni dopo ne fu riconosciuta la proprietà di candeggiante. Intorno al 1780 iniziò la produzione industriale del cloro secondo il processo di Scheele, basato sull'ossidazione dell'acido cloridrico con biossido di manganese in barili di legno bianco. L'acido cloridrico era prodotto nella stessa reazione con cui veniva fabbricato il solfato di sodio da acido solforico e sale; non fa quindi meraviglia vedere fin dall'inizio dell'industria chimica l'accentrarsi in una stessa impresa di molte attività che andavano dalla fabbricazione dell'acido solforico, a quella del cloro, degli ipocloriti, del sapone.

Nel 1790 in Francia ebbe inizio la produzione dell' "acqua di Javelle" (dal nome di una cittadina che fa ora parte di Parigi), costituita, secondo una proposta di C.L. Berthollet del 1785, da cloro assorbito in una soluzione di idrato di potassio o carbonato di potassio; si produce così l'ipoclorito, di più facile uso, e Tennant in Inghilterra iniziò la produzione dell'ipoclorito di calcio (anziché di potassio), meno costoso.

Per tutto il secolo XVIII vi fu una crescente richiesta di carbonato di sodio e dei carbonati alcalini in genere, da parte dell'industria tessile, di quella del vetro e di quella del sapone. Queste sostanze erano allora ottenute dalle ceneri delle piante o dalla trona (un minerale ricco di carbonato di sodio) di cui esistevano giacimenti in Egitto. Anche certe piante (barilla), coltivate nella Francia meridionale e in Spagna e certe alghe trovate in Inghilterra fornivano, dopo calcinazione, dei carbonati alcalini, ma il loro prezzo era troppo elevato, per le industrie occorreva della soda più a buon mercato, quale solo artificialmente si sarebbe potuta ottenere.

Henri Louis Duhamel de Monceau (1700-1781) nel 1735 e Andreas Sigismund Margraff (1709-1782) qualche anno dopo avevano indicato che la soda poteva essere ottenuta partendo dal cloruro di sodio, ma il sale era dovunque gravato da pesanti imposte che lo rendevano poco conveniente come materia prima.

Negli anni fra il 1750 e il 1790 molti avevano elaborato dei processi di fabbricazione artificiale del carbonato di sodio. La paternità del processo che si affermò è però giustamente attribuita al medico francese Nicholas Leblanc (1742 o 1753-1806) il quale, fondendo molte esperienze e osservazioni precedenti, dette unità al processo che si svolgeva in due fasi: dapprima veniva ottenuto solfato di sodio facendo reagire l'acido solforico e il sale; poi il solfato di sodio veniva scaldato con calcare e carbone per ricavarne il carbonato di sodio. La sua innovazione fu l'impiego del calcare. Egli condusse queste reazioni su scala industriale, nel 1791, in una fabbrica costruita con un prestito di Filippo Egalité, il nobile rivoluzionario che fu poi ucciso durante le purghe di Robespierre.

Benché i primi passi di questa industria si siano svolti in Francia, fu in Inghilterra che essa si sviluppò, soprattutto in seguito all'abolizione dell'imposta sul sale destinato ad uso industriale, a partire dal 1 gennaio 1825. Di conseguenza fu aumentata e perfezionata la produzione dell'acido solforico e, nei primi anni del 1800, fu introdotta la pratica di concentrare l'acido diluito in capsule di platino.

La produzione di acido solforico si estese rapidamente. Una sensibile economia fu realizzata con l'uso, come ossidante, del nitro del Cile (nitrato di sodio, più o meno puro), al posto del salnitro (nitrato di potassio); nel 1831 arrivarono in Inghilterra le prime partite di nitro del Cile ad un prezzo da 20 a 30 volte inferiore a quello del salnitro.

Una delle più importanti conseguenze dell'impiego del nitro del Cile fu la diminuzione di prezzo dell'acido nitrico prodotto su scala limitata sin dal XVIII secolo per reazione dell'acido solforico col salnitro. Un altro importante prodotto si aggiungeva così a quelli fino allora disponibili. Fino al 1840 le materie prime per le principali merci erano dunque il carbone, i minerali di ferro, il sale, lo zolfo e il nitrato di sodio.

Lo sviluppo dell'industria siderurgica portò ben presto ad osservare che, nella distillazione secca del carbon fossile, effettuata per produrre il coke, si formavano dei prodotti volatili. A partire dal 1770, prima in Germania e poi in Inghilterra, si cominciò a raccogliere il catrame che si separava da questi prodotti volatili.

I principali contributi alla conoscenza e all'uso del catrame e dei gas di distillazione del carbone, furono dovuti ad Archibald Cochrane, nono conte di

Dundonald (1749-1831) che, a partire dal 1782, realizzò su scala commerciale la produzione di catrame dal carbon fossile mediante distillazione secca. Dundonald comprese che era possibile recuperare anche i gas combustibili che, previa depurazione, potevano essere utilizzati per l'illuminazione delle strade e poi degli edifici.

Sempre dai gas si poteva recuperare anche del cloruro di ammonio. Il catrame si rivelò adatto per la conservazione del legname. Alcune di queste esperienze furono poi sfruttate da altri.

William Murdoch (1754-1839) nel 1792 illuminò la propria casa col gas prodotto a 25 metri di distanza. Nel 1801 Philippe Lebon (1767-1804) aveva illuminato col gas, ottenuto però dalla distillazione secca del legno, il giardino e l'interno dell'albergo Seignelay.

Nel 1805 fu illuminata a gas una fabbrica a Manchester. Nel dicembre 1807 una parte della strada Pall Mall di Londra fu illuminata con lampioni a gas; nel 1815 la rete di distribuzione del gas illuminante a Londra era lunga 25 chilometri e nel 1819 pare fosse di 350 chilometri.

Nella purificazione del gas illuminante si raccoglievano, oltre al catrame, usato per impermeabilizzare le corde, per lo pavimentazione stradale e, a partire dal 1830, per la protezione delle traversine ferroviarie, dei liquidi ammoniacali, dai quali, a partire dal 1840, fu recuperato il solfato di ammonio, e dei solventi. Il catrame, a sua volta, poteva essere frazionato in vari costituenti destinati a diventare importanti materie prime nell'industria dei coloranti. I fabbricanti tedeschi e svizzeri di materie coloranti importarono fino alla fine del 1800 i loro intermedi dall'Inghilterra.

Nel decennio 1840-1850 hanno avuto luogo alcuni eventi destinati ad avere influenza decisiva su tutti gli sviluppi successivi della civiltà delle macchine. Agli inizi del secolo Nicolas Théodore de Saussure (1767-1845) aveva studiato il fenomeno della fotosintesi mostrando che le piante assorbono anidride carbonica per la sintesi di sostanze organiche e aveva rilevato che le piante non utilizzano l'azoto gassoso; contemporaneamente Humphrey Davy (1778-1829) aveva indicato l'importanza del fosforo nel terreno.

Negli anni 1840-1850 le ricerche sulla nutrizione vegetale furono condotte da personalità di grande rilievo scientifico. Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887) pubblicò dal 1838 in avanti una serie importante di lavori sulla nutrizione vegetale e mise in evidenza, fra l'altro, che il carbonio organico può essere sintetizzato non soltanto dall'anidride carbonica dell'aria, ma anche da quella del terreno assorbita attraverso le radici (le piante possono crescere al buio senza formare clorofilla).

Justus von Liebig (1803-1873) indicò che per la nutrizione delle piante occorrono sostanze inorganiche e cioè acido carbonico, ammoniaca, acido fosforico, acido solforico, acido silicico, calce, magnesia, potassa e ferro. I concimi non contribuiscono alla vita vegetale attraverso l'assimilazione dei costituenti organici, ma indirettamente attraverso i loro prodotti di decomposizione e putrefazione, cioè mediante trasformazione del loro azoto in ammoniaca e acido nitrico. Liebig peraltro era convinto che i nitrati fossero utili come fonte di sostanze alcaline; che le piante ricavassero l'azoto dell'ammoniaca presente nell'aria o da quella presente nel terreno perché trascinata dalle piogge o dovuta alla putrefazione di sostanze organiche (mentre è noto che i vegetali utilizzano l'azoto quando è nel terreno sotto forma di sali dell'acido nitrico); che l'aggiunta di azoto al terreno fosse superflua; che i fertilizzanti dovessero essere aggiunti al terreno in forma insolubile per non essere lisciviati dalle piogge (mentre è noto che anzi debbono essere somministrati al terreno in forma solubile in acqua per potersi disperdere nelle soluzioni acquose circolanti nel terreno e per poter essere assorbiti dalle radici e utilizzati dalle piante).

Nonostante questi errori, che i contemporanei stessi rilevarono, Liebig era una figura di tale autorità e prestigio da destare l'attenzione degli studiosi sul problema della nutrizione vegetale. Le indagini di questi anni misero in chiaro che le piante ricavano dal terreno, attraverso le radici, alcune sostanze indispensabili per il loro sviluppo e in particolare gli elementi fosforo, azoto, potassio. Le colture intensive --- diffuse soprattutto in seguito all'aumento della popolazione e del livello di vita conseguenti alla rivoluzione industriale --- sottraggono al terreno le sostanze nutritive in esso contenute e quindi il terreno si impoverisce e le successive colture danno raccolti sempre più poveri. Per conservare un buon livello di produttività del terreno occorre restituire al terreno soprattutto gli elementi fosforo, azoto e potassio

sotto forma di elementi chimici o di concimi o fertilizzanti artificiali. Tali concimi devono essere solubili in acqua altrimenti non possono essere utilizzati dalle piante.

Il futuro dell'umanità dipendeva quindi dalla possibilità di conservare il livello di produttività dei raccolti aggiungendo al terreno adeguate sostanze fertilizzanti.

Per quanto riguarda il fosforo la natura offriva dei fosfati di calcio (nelle ossa, nelle ceneri delle ossa o sotto forma di minerali come l'apatite) che però sono insolubili in acqua. Lo stesso Liebig aveva suggerito che il fosfato tricalcico insolubile avrebbe potuto essere reso solubile con acido solforico e che la miscela risultante di fosfati di calcio solubili e di solfato di calcio avrebbe potuto essere impiegata come fertilizzante. Esperimenti su piccola scala furono fatti nel 1837-1839 e su scala maggiore nel 1840 e nel 1841 da John Bennett Lawes (1814-1900) di Rothamsted. Nel 1842 Lawes ottenne un brevetto per la fabbricazione dei perfostati e nel 1843 ne iniziò la produzione industriale vicino Londra, presto seguito da numerosi altri stabilimenti. La produzione di perfosfati comporta un notevole consumo di acido solforico e questo determinò un aumento della produzione di questa sostanza.

Per quanto riguarda l'azoto Liebig, come si è detto, riteneva che la sostanza nutritiva per le piante fosse costituita dall'ammoniaca. Questo determinò un aumento della produzione del solfato di ammonio ottenuto dal lavaggio del gas illuminante con acido solforico e un ulteriore aumento del consumo di acido solforico.

Questa espansione del consumo di acido solforico ebbe i suoi riflessi sul mercato della materia prima allora utilizzata, lo zolfo, che proveniva esclusivamente dalla Sicilia. Già agli inizi del 1800 John Tennant e James Muspratt (1793-1886), grandi produttori di acido solforico, avevano acquistato delle miniere di zolfo in Sicilia. Questo fatto e la crescente richiesta di zolfo avevano destato la reazione dei produttori siciliani: nel 1839 fu firmato un contratto fra il Re delle Due Sicilie e la casa Taix Aycard & C. di Marsiglia allo scopo di assicurare a quest'ultima il monopolio della vendita dello zolfo e di stabilizzare i prezzi che oscillavano a causa delle speculazioni. Come effetto di questo monopolio la produzione diminuì da 90.000 a 60.000 tonn. all'anno e il prezzo dello zolfo salì da 5 a 15 sterline per tonn. Questa situazione indusse i fabbricanti di acido solforico ad usare, come materia

prima, le piriti, solfuri di ferro abbastanza diffusi in natura. L'utilizzazione delle piriti presentò alcune difficoltà che furono superate a partire dal 1839; da questo periodo le piriti furono usate in crescenti proporzioni.

Per liberarsi dal monopolio dello zolfo siciliano, i produttori di acido solforico utilizzarono come materia prima anche il solfuro di calcio, un sottoprodotto del processo Leblanc che non solo era rimasto fino allora inutilizzato, ma addirittura risultava dannoso perché si decomponeva all'aria sviluppando idrogeno solforato.

L'idea di utilizzare questo sottoprodotto risale al 1835, ma soltanto nella seconda metà del 1800 il problema sarebbe risolto col processo Chance-Claus.

Nello stesso tempo fu perfezionato il ciclo del processo delle camere di piombo. Uno dei fattori che determinavano l'alto costo dell'acido solforico era rappresentato dalla perdita dei vapori nitrosi. Il grande fisico Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) aveva pensato fin dal 1827 al modo di recuperare tali vapori nitrosi mediante una torre che porta ancora oggi il suo nome; la torre di Gay-Lussac fu introdotta nel processo a partire dal 1835 a St. Gobain, in Francia; essa fu applicata soltanto più tardi in Inghilterra, dove il salnitro costava poco.

L'importanza dell'acido solforico era diventata così grande da far dire a Liebig la celebre frase che "si può valutare con grande precisione il benessere economico di un paese dalla quantità di acido solforico che consuma".

Un altro importante evento del decennio 1840-1850 fu rappresentato dalle prime sintesi organiche. Avendo a disposizione due energici reagenti come l'acido solforico e l'acido nitrico, i chimici trattarono con essi tutte le sostanze a loro disposizione, dando inizio a nuove classi di sostanze e a nuovi prodotti di interesse industriale.

Nel 1837 il francese Théophile Jules Pelouze (1807-1867) scoprì che trattando la cellulosa con acido nitrico, si otteneva un prodotto infiammabile ed esplosivo. La preparazione del cotone collodio per trattamento del cotone con acido nitrico e acido solforico fu descritta nel corso dell'anno 1846 contemporaneamente e indipendentemente in Germania da C.F. Schönbein (1799-1868), da Friedrich Julius Otto (1809-1870), da R.C. Böttger (1806-1881), da K. Karmasch e F. Herren (1803-1855), e infine da J.A. Knop, un assistente di Erdmann a Lipsa.

Le relative scoperte furono comunicate a riunioni di società scientifiche o a quotidiani locali e destarono tanto interesse che dal 1846 al 1848 furono pubblicati 26 lavori sull'argomento. La paternità principale del nuovo esplosivo viene attribuita a Schönbein che ne iniziò la produzione industriale, peraltro funestata in breve tempo da alcune tragiche esplosioni.

Nel 1853 il barone austriaco Wilhelm von Lenk scoprì il sistema per stabilizzare il nuovo esplosivo e per rendere possibile l'utilizzazione in pace e in guerra. Le proprietà filmogene della nitrocellulosa ebbero anche fondamentale importanza nella diffusione della fotografia, dapprima col processo al collodio (1851) e poi con le pellicole di celluloidi dopo l'invenzione di questa sostanza, la prima materia plastica, ad opera di Alexander Parkes (1813-1890) nel 1873.

Ancora nel 1846 l'italiano Ascanio Sobrero (1812-1888) aveva ottenuto dalla glicerina, separata dai grassi nel 1815 da Michel Eugène Chevreul (1786-1889), la nitroglicerina, una sostanza con fortissime proprietà esplosive e così pericolosa da non presentare alcun interesse pratico fino a quando, nel 1866, lo svedese Alfred Nobel (1833-1896) riuscì a stabilizzarla mediante una combinazione che prese il nome di dinamite; negli anni immediatamente successivi la produzione di nitroglicerina si diffuse in tutto il mondo in maniera enorme, sia per usi militari che per usi pacifici, per esempio per opere minerarie, rendendo facilmente accessibili alle industrie trasformatrici enormi riserve di minerali e materie prime.

Sempre nel decennio 1840-1850 il chimico londinese Charles Beachford Mansfield (1819-1855), conducendo ricerche sulla distillazione del catrame di carbon fossile, separò benzolo, toluolo e xilolo. Lo stesso Mansfield brevettò nel 1847 la preparazione del nitrobenzolo per azione dell'acido nitrico e dell'acido solforico sul benzolo e nel 1854 Pierre Jacques Antoine Bechamp (1816-1908) descrisse la riduzione del nitrobenzolo ad anilina con tornitura di ferro ed un acido, scoperta che stava alla base della nuova chimica dei coloranti. Infatti le sintesi effettuate nel decennio che stiamo considerando offrivano le materie intermedie che sarebbero state alla base della successiva industria dei coloranti.

Un altro evento di questo decennio fu l'avventurosa scoperta da parte di Charles Goodyear (1800-1860) del processo di vulcanizzazione della gomma.

La gomma era stata conosciuta in Europa in seguito alle comunicazioni fatte da Charles de la Condamine (1701-1774) all'Accademia delle Scienze di Parigi sulla storia naturale del Perù e del Rio della Amazzoni. Prima della fine del 1700 era già cominciata una modesta importazione dal Brasile in Europa di gomma greggia, che era usata o come tale per cancellare i segni di matita dalla carta (un uso proposto da Joseph Priestley (1733-1804) nel 1770), o in soluzione in essenza di trementina per impermeabilizzare i tessuti; un brevetto di quest'ultima applicazione porta la data del 1791 e nel 1822 Charles Macintosh (1766-1843) inventò l'indumento impermeabile.

Un'industria di manufatti di gomma ebbe inizio nel 1820 ad opera dell'inglese Thomas Hancock (1786-1865), il quale apportò alcune fondamentali innovazioni nella lavorazione della gomma greggia. I manufatti però erano di limitata durata e soprattutto diventavano fragili a freddo e molli e appiccicosi a caldo.

Nel 1826 Michael Faraday (1791-1867) stabilì che la gomma naturale è costituita da un idrocarburo di cui indicò la formula molecolare; Gregory nel 1835 sottoponendo a distillazione secca la gomma ottenne il monomero gassoso greggio che C. G. Williams analizzò nel 1860 e chiamò isoprene.

L'americano Goodyear scoprì nel 1839 che la gomma, addizionata con zolfo e con sostanza inerte, come carbonato di piombo, e scaldata a temperatura opportuna, diventa insolubile nei solventi e non presenta più gli inconvenienti della gomma greggia. Un altro materiale da costruzione che aveva avuto fino allora soltanto modeste applicazioni commerciali venne così ad assumere un'importanza primaria nell'industria. Grazie a questa scoperta anche lo zolfo trovò un nuovo mercato, destinato a grande sviluppo.

Nella seconda metà del 1800 la civiltà delle macchine aveva già raggiunto un livello di notevole maturità tecnologica. I prodotti si erano ormai talmente diversificati che è difficile analizzarli in un quadro unitario: in qualche settore si ebbero dei perfezionamenti, in altri delle vere e proprie innovazioni.

La prima metà del secolo XIX aveva visto una grande espansione dell'industria meccanica e della produzione siderurgica. La prima ferrovia fra Stockton e Darlington funzionò con locomotive Stephenson nel 1825 e da allora le comunicazioni ferroviarie si estesero in Europa e in America richiedendo crescenti

quantità di ferro e acciaio per le macchine e le rotaie, nonché per i molti altri macchinari necessari all'industria in pieno sviluppo.

I procedimenti di fabbricazione del ferro e dell'acciaio col processo di pudellaggio erano però del tutto insoddisfacenti: una decisa diminuzione dei costi si ebbe con l'invenzione, da parte di Henry Bessemer (1813-1898), nel 1856, del sistema di fabbricazione dell'acciaio direttamente dalla ghisa fusa. Ben presto si rilevò che il processo Bessemer era inadeguato soprattutto alla lavorazione delle ghise contenenti fosforo ricavate dalle ricche miniere di minettes della Lorena. La Francia dopo la guerra del 1870 non aveva attribuito importanza a questi giacimenti e li aveva ceduti alla Prussia nel 1871.

Fu questo un grosso errore perché non tenne conto di possibili perfezionamenti della siderurgia che, infatti, vennero ben presto; nel 1880 Sidney Gilchrist Thomas (1850-1885) propose di applicare nel convertitore Bessemer un rivestimento basico: fu così possibile trasformare in acciaio anche le ghise contenenti fosforo e questo contribuì all'aumento della produzione tedesca di acciaio.

Il posto di paese guida nell'industria meccanica e chimica passò intorno al 1880 dall'Inghilterra alla Germania, che tenne tale posizione fino alla prima guerra mondiale quando si affermò definitivamente il grande sviluppo americano.

La grande quantità di rottami di ferro, intanto, aveva portato alla realizzazione del sistema sviluppato dai fratelli francesi Emile e Pierre Martin intorno al 1864 e dai fratelli tedeschi Friedrich (1826-1904) e Wilhelm (1823-1883) Siemens intorno al 1861, capace di produrre acciaio dai rottami, dalla ghisa e anche dai minerali. Si tratta di uno dei primi esempi di riciclo di materiali usati. Il processo Martin-Siemens andò assumendo sempre maggiore importanza perché consentiva di trattare una maggiore quantità di ghisa e, essendo più lento del processo Bessemer, permetteva di prelevare più frequentemente, dalla massa fusa, campioni da analizzare in modo da correggerne la composizione e ottenere una migliore qualità del prodotto finale. Nel 1900 la quantità di acciaio prodotto col sistema Martin superava già quella prodotta col sistema Bessemer.

I traffici e le comunicazioni portarono a un aumento del livello di vita generale e ad un aumento della popolazione. Malgrado il notevole sviluppo tecnico generale, l'industria tessile, che pure era stata all'origine dello sviluppo dell'industria

meccanica, dell'industria siderurgica e di quella chimica, dipendeva ancora da pochi coloranti naturali come l'indaco (importato dall'India o ottenuto dal guado), la malva, la cocciniglia, lo scarlatto della robbia, il rosso del legno Brasile e lo zafferano.

Era naturale che lo sviluppo delle conoscenze chimiche portasse ben presto a tentare la fabbricazione artificiale di queste e di altre sostanze coloranti. Il contributo più importante fu certamente quello di William Henry Perkin (1838-1907) che nel 1856 riuscì a fabbricare la prima sostanza colorante sintetica, la malveina. Nello stesso 1856 il professore polacco Jacob Natanson (1832-1884) descrisse la preparazione del rosso di anilina, che fu prodotto industrialmente a partire dal 1859 col nome di fucsina, o Magenta, per ricordare la battaglia vittoriosa.

Nel 1864, in seguito alle ricerche condotte in Inghilterra da Peter Griess (1829-1888), fu possibile la preparazione del giallo di anilina, il primo della serie dei coloranti azoici.

Fino allora l'industria si era orientata verso coloranti nuovi, piuttosto che verso la preparazione artificiale dei coloranti esistenti in natura. Il primo clamoroso successo fu rappresentato dalla sintesi dell'alizarina alla quale lavoravano Heinrich Caro (1834-1911) alla Badische Anilin und Soda Fabrik, Carl Graebe (1841-1927) e Carl Liebermann (1842-1914) nel laboratorio di Baeyer a Berlino e Perkin in Inghilterra. Nel 1869 Graebe e Liebermann stabilirono la natura e descrissero la sintesi dell'alizarina e, insieme a Caro, depositarono in Inghilterra il 25 giugno 1869 una richiesta di brevetto che ricevette il n. 1938; il giorno dopo Perkin, che era arrivato alla sintesi dell'alizarina indipendentemente e per altra strada, depositò un'altra domanda di brevetto che fu registrata col n. 1948. La coltura della robbia, che era stata così importante economicamente per vaste regioni della Francia, sparì completamente e in dieci anni, dal 1870 al 1880, il prezzo dell'alizarina diminuì di quattro volte.

La sintesi dell'indaco fu molto più lunga e complicata e fu realizzata in laboratorio nel 1880 da Adolph von Baeyer (1835-1917). L'applicazione industriale fu possibile però soltanto qualche anno dopo, e la Badische Anilin cominciò a produrre indaco sintetico nel 1897 con un successo commerciale tale che appena tre

anni dopo la quantità di indaco sintetico era equivalente a quella ottenibile dalla coltivazione di 65.000 ettari di indigofera.

La produzione indiana di indaco, che era di 5.000 t nel 1892 e di 7.500 t nel 1896, scese a 1.200 t nel 1909 e, ad eccezione di una breve ripresa durante la prima guerra mondiale, dovuta al fatto che erano interrotti i commerci con il principale fabbricante del colorante sintetico, la Germania, la produzione di indaco naturale diminuì rapidamente e quindi scomparve.

In conseguenza di ciò le zone coltivate ad indaco furono coltivate a piante della gomma, a canapa e a cotone e si ebbe così, in seguito alla concorrenza dell'indaco sintetico, una riconversione delle colture. A parte un inevitabile periodo di transizione, però, la merce sintetica non distrusse l'economia dell'India, ma ne modificò e ne fece evolvere la struttura.

I primi successi della sintesi di nuove sostanze organiche diedero l'avvio ad un fermento di nuove iniziative che accelerarono la crescita delle macchine e del loro uso.

I nitroderivati organici potevano essere preparati impiegando come reagenti acido nitrico (che, come si è detto, si fabbricava dal nitro del Cile per trattamento con acido solforico) e acido solforico concentrato. Poiché il processo delle camere di piombo fornisce acido solforico diluito, l'acido concentrato era stato preparato fino alla metà del secolo XIX con il vecchio e costoso processo della distillazione secca del solfato ferroso e con l'altrettanto costoso processo di concentrazione dell'acido solforico diluito in capsule di platino.

Per superare questa difficoltà furono seguite due strade. La prima fu l'introduzione nel processo delle camere di piombo della torre che porta il nome del suo inventore, John Glover (1817-1902), nella quale i vapori nitrosi assorbiti in acido solforico vengono portati a contatto con l'anidride solforosa. Nella torre di Glover si libera acido solforico concentrato. Questa torre di Glover fu introdotta per la prima volta nel 1868-1870 a Widnes.

La seconda strada fu rappresentata dal processo di ossidazione diretta dell'anidride solforosa con aria in presenza di un catalizzatore di platino riscaldato. Il processo era stato brevettato fin dal 1813 da Peregrine Phillips, un fabbricante di aceto di Bristol, e fu applicato industrialmente da Rudolph Messel (1848-1920) nel

1875; nel 1881 fu applicato in Alsazia da W. Squire che otteneva l'anidride solforosa per combustione dello zolfo.

Rudolph T.J. Knitsch (1854-1906) fu il primo a mostrare che si poteva usare l'anidride solforosa ricavata dall'arrostimento delle piriti, previa accurata purificazione per liberarla da sostanze che potevano avvelenare il catalizzatore: il suo processo fu adottato nel 1898 dalla società Badische. Contemporaneamente lo stesso processo fu adottato dalla società Meister, Lucius & Brüning a Höchst, in seguito agli esperimenti di Krauss e von Berneck.

Per tutta la prima metà del XIX secolo i più importanti prodotti dell'industria degli alcali --- il carbonato sodico, la soda caustica e il cloro --- dipendevano dal processo Leblanc che, come si è visto, presentava molti inconvenienti in quanto richiedeva rilevanti quantità di carbone, necessario come reagente e come combustibile, e dava come sottoprodotti acido cloridrico (solo in parte trasformato in cloro) e solfuro di calcio impiegato come reattivo. Un processo di fabbricazione del carbonato di sodio senza bisogno di acido solforico era stato proposto da A.J. Fresnel fin dal 1810 ed era stato applicato su scala industriale per un anno o due in Scozia da John Thom intorno al 1836. Il processo consisteva nel trattare il sale con ammoniaca e anidride carbonica e nel calcinare il bicarbonato di sodio precipitato. H.G. Dyar e J. Hemming avevano brevettato il processo nel 1838 e lo avevano applicato per breve tempo su scala industriale. Un'altra applicazione industriale si era avuta per qualche tempo vicino a Parigi intorno al 1855 ad opera di T. Schloesinger e E. Rolland.

Finalmente nel 1863 il belga Ernest Solvay (1838-1922) brevettò l'apparecchiatura per il processo che porta il suo nome e soprattutto il carbonatore verticale. La produzione industriale fu iniziata nel 1865 e la soda ottenuta col processo Solvay fu presentata all'esposizione di Parigi del 1867. La principale caratteristica del processo è che tutta l'ammoniaca e parte dell'anidride carbonica sono recuperabili e che la qualità del prodotto finale è molto migliore di quella della soda Leblanc. A partire dal 1870 il processo con ammoniaca si andò diffondendo in Francia e Germania e specialmente in quest'ultimo paese grazie all'enorme sviluppo dell'industria chimica. Nel 1882 il 44% del carbonato di sodio era fabbricato in Germania col processo all'ammoniaca e nel 1887 la proporzione era del 75%.

La nuova invenzione rappresentò un grave colpo per l'industria della soda Leblanc; un altro colpo fu rappresentato dalle proteste per il fatto che i produttori di carbonato sodico lasciavano liberamente scaricare nell'aria l'acido cloridrico, con conseguente distruzione delle colture per molti chilometri all'intorno e danni alla popolazione. Dapprima le fabbriche vennero allontanate dalle città, come la fabbrica di Tennant, che fu fatta spostare da Liverpool a St. Helens. Infine nel 1863 fu emanata in Inghilterra la legge contro l'inquinamento atmosferico o "Alkali Act", che obbligava i fabbricanti a recuperare l'acido cloridrico in soluzioni acquose. Furono allora perfezionati i metodi per l'utilizzazione di questo sottoprodotto e in particolare per la sua trasformazione in cloro. Altro esempio di come la civiltà delle macchine riesce a trasformare le proprie scorie da agenti contaminanti della natura a materie per altri processi e macchine.

Già Dunlop nel 1849 aveva proposto l'ossidazione dell'acido cloridrico con acido nitrico (un metodo che ha assunto di nuovo interesse di recente); Walter Weldon (1832-1885) nel 1866 perfezionò il primitivo processo di ossidazione con biossido di manganese e Henry Deacon (1822-1876) nel 1868-1874 sviluppò il processo di ossidazione dell'acido cloridrico con aria.

Per il recupero dello zolfo dal solfuro di calcio furono tentate varie soluzioni, ma soltanto le invenzioni di Alexander Chance (1844-1917) e di C. F. Claus (1796-1864), entrambe del 1882, consentirono agli industriali soprattutto inglesi di rendere meno pesanti le importazioni di zolfo e di piriti. Nel 1893 in Inghilterra vennero prodotte 35.000 tonnellate di zolfo di recupero, rispetto a circa 400.000 tonnellate prodotte dalle miniere siciliane nello stesso anno.

L'industria della soda Leblanc poté così sopravvivere per qualche decennio grazie alla produzione di ipocloriti e, a partire dal 1859, dell'idrato di sodio necessario per l'industria delle sintesi organiche; l'idrato di sodio era ottenuto dal carbonato per caustificazione.

La diffusione della produzione di energia elettrica ebbe conseguenze decisive per la civiltà delle macchine. Nel 1831 Michael Faraday (1791-1867) descrisse il principio di funzionamento della dinamo e gettò le basi della trasformazione in energia elettrica dell'energia meccanica ottenuta con le macchine a vapore.

Le conseguenze furono molto rapide. L'invenzione del telegrafo è del 1837. L'illuminazione elettrica si diffuse ben presto, in America, a partire dal 1881 e subito dopo in tutti gli altri paesi. L'elettricità veniva ottenuta dapprima con macchine a vapore; gli impianti idroelettrici cominciarono ad essere installati nel 1881. E.Werner von Siemens (1816-1892) e Zénobe Théophile Gramme (1826-1901) inventarono nuovi modelli di dinamo nel 1874 e nel 1886, rispettivamente. Nel 1885 l'italiano Galileo Ferraris (1847-1897) inventò il campo magnetico rotante che permise la realizzazione di motori elettrici, cioè di sistemi per trasformare l'energia elettrica in energia meccanica.

Il diffondersi dell'uso dell'elettricità portò un crescente consumo di rame come conduttore e di gomma come isolante per fili elettrici. Dopo la scoperta della vulcanizzazione della gomma il consumo di questo prodotto era rapidamente aumentato e per il suo rifornimento i paesi industriali dipendevano dal Brasile che deteneva il monopolio della gomma greggia.

Per rompere questo monopolio l'Inghilterra importò clandestinamente dal Brasile dei semi di *Hevea*, che giunsero a Londra nel 1876 e che subito furono trasferiti a Ceylon e poi in Malesia, dove ebbe inizio la coltivazione della gomma di piantagione. Ben presto questa gomma fece concorrenza come qualità e prezzo a quella del Brasile, che attraversò un periodo di grave crisi economica vedendo diminuire i proventi derivanti dall'esportazione di gomma naturale e dovette diminuire le colture.

Il diffondersi dell'elettricità portò anche altre conseguenze, fra cui la realizzazione di processi per fabbricare un nuovo materiale da costruzione: l'alluminio. Gli sforzi per preparare questo metallo puro incontrarono dapprima grandi difficoltà. Nel 1845 Friedrich Wöhler (1800-1882) ridusse il cloruro di alluminio con potassio e nel 1854 Henry Étienne Saint-Claire Deville (1818-1881), col contributo finanziario di Napoleone III, riuscì a produrre cloruro di alluminio dalla bauxite e a ridurre il cloruro di alluminio con sodio e poi con idrogeno ed iniziò una produzione su scala industriale: dal 1855 al 1888 furono prodotte 50 tonnellate di metallo e il prezzo diminuì di sei volte.

Il vero inizio dell'era dei metalli leggeri si ebbe quando nel 1886, indipendentemente, Charles Martin Hall (1863-1914) negli Stati Uniti e P.L.T.

Hérault (1863-1914) in Francia brevettarono un processo elettrolitico per trasformare l'ossido di alluminio in alluminio metallico. La produzione dell'alluminio col nuovo processo cominciò nel 1887 e prese un enorme sviluppo in molti paesi del mondo.

Un'altra conseguenza dell'elettricità fu la fabbricazione dell'idrato di sodio (soda caustica) e del cloro per via elettrolitica. Fin dal 1851 l'inglese Charles Watt aveva ottenuto un brevetto per la fabbricazione di idrato di sodio per elettrolisi del cloruro di sodio. L'introduzione del processo elettrolitico per la fabbricazione dell'idrato di sodio, cloro e ipocloriti dette il colpo definitivo al processo Leblanc che, a partire dal 1880, fu applicato su scala sempre più ridotta anche in Inghilterra, fino a scomparire del tutto.

Il crescente consumo di nitro del Cile aveva determinato dei disordini politici fra Cile e Bolivia e quindi irregolarità nelle forniture e aumento di prezzo. Inoltre il governo cileno poneva sul nitro un pesante dazio di esportazione. Era quindi naturale che gli industriali, soprattutto europei, cercassero di rendersi indipendenti da questa fonte di rifornimento di una materia ormai indispensabile non soltanto come fertilizzante, ma soprattutto come materia prima per la produzione dell'acido nitrico, necessario per gli esplosivi e per le sintesi dei coloranti.

Nacque così il primo processo di sintesi dell'acido nitrico per combinazione diretta dell'azoto e dell'ossigeno dell'aria a circa 3000°C in un arco elettrico. Dopo molti anni di studio il sistema fu applicato per la prima volta su scala industriale alle cascate del Niagara nel 1902, ma fu sviluppato e perfezionato dai norvegesi Kristian Birkeland (1867-1917) e Sam Eyde (1866-1940), che nel 1905 arrivarono ad un processo industriale con alti rendimenti.

Il sistema risultava tuttavia antieconomico a causa dell'elevato consumo di energia elettrica e il problema della fabbricazione artificiale di prodotti azotati non si poté considerare convenientemente risolto fino agli anni fra il 1910 e il 1915 quando fu realizzata la sintesi diretta dell'ammoniaca.

Fra il 1905 e il 1907 Fritz Haber (1868-1934) e H.W. Nerst (1864-1941) studiarono l'equilibrio fra idrogeno, azoto e ammoniaca, sia a pressione atmosferica, sia sotto pressione. Sulla base di questi risultati lo stesso Haber, in collaborazione con Carl Bosch (1874-1940), sviluppò il processo che fu applicato dalla società

Badische a Ludwigshafen e che utilizzava, come materia prima, il carbone: questo veniva fatto reagire ad alta temperatura con una miscela di aria e vapor d'acqua. La sintesi diretta dell'ammoniaca e la possibilità di ottenere acido nitrico dall'ammoniaca sintetica segnarono il declino della fortuna del Cile e misero a disposizione di qualsiasi paese industriale i materiali per le industrie dei fertilizzanti e per quelle delle sintesi organiche.

Sempre nello stesso periodo fu sviluppato il processo di fabbricazione di un altro concime azotato, la calciocianammide, per trattamento del carburo di calcio con azoto. Dopo alcune difficoltà iniziali il processo si sviluppò, soprattutto a partire dal 1905, in seguito alla costruzione da parte di C. Linde (1842-1934) di un apparecchio economicamente vantaggioso per la liquefazione dell'aria e per la separazione per distillazione frazionata dell'azoto dall'ossigeno.

L'altro evento fondamentale per l'analisi dei rapporti fra civiltà delle macchine e natura è la nascita della "civiltà del petrolio". Cercava qualche giacimento di sale nel sottosuolo il "colonnello" Edwin Drake (1819-1880) nel 1859 quando, perforando un pozzo in un terreno della Pennsylvania, vide sprizzare una materia nera che la natura aveva "fabbricato", un paio di centinaia di milioni di anni prima, trasformando lentamente dei residui vegetali e animali ricoperti poi da rocce, sabbia e acqua. Questa "roba" nera, a dire la verità, era già nota; l'avevano scoperta i persiani, poi se ne erano trovati dei giacimenti nella valla padana, in Russia e altrove; talvolta si presentava come un liquido, altre volte come una specie di catrame, in tutti i casi infiammabile, untuoso.

Drake e gli altri scopritori capirono che l'"olio", come ancora si chiama in inglese quello che chiamiamo petrolio, poteva essere venduto e ne cominciò il commercio in barili (il "barile" da 159 litri, del peso di circa 135-140 chili, è ancora oggi, curiosamente, l'unità di misura internazionale del petrolio); le prime applicazioni furono come medicinale per curare le più strane malattie, poi come illuminante. L'olio illuminante per le lampade portatili era in quel periodo il grasso di balena, ma il suo prezzo stava aumentando perché le balene, sottoposte a intensa caccia, stavano diminuendo. L'uso del petrolio da illuminazione ha avuto, quindi all'inizio una sua funzione ecologica di salvaguardia di animali in via di estinzione.

Il petrolio come tale era però uno scadente agente illuminante, la fiamma fumava, e qualcuno cominciò a pensare di frazionarlo, per distillazione: si otteneva un liquido, migliore ai fini dell'illuminazione e un residuo bituminoso e catramoso, simile come caratteri al catrame di carbon fossile e anch'esso utilizzabile per la pavimentazione stradale e per l'impermeabilizzazione delle traversine ferroviarie e dei pali telegrafici. Sono gli anni della corsa ad ovest, al selvaggio West americano che si offriva con le sue grandissime pianure fertili e ricche di bisonti --- e di nativi.

La conquista del West ha reso disponibili nuovi terreni coltivabili e ha contribuito a migliorare le condizioni di vita dei servitori delle macchine, a spese di vasti pezzi di natura, dello sterminio degli animali indigeni e dei nativi che difendevano le "loro" terre e nello stesso tempo a spese di un patrimonio di boschi e pascoli la cui fragilità ecologica si sarebbe rivelata nel corso di pochi decenni.

A partire dal 1865, alla fine della guerra civile nordamericana, la ricerca del petrolio si estese in tutti gli stati degli Stati Uniti, specialmente Texas e California, e nello stesso tempo il petrolio venne estratto in quantità sempre maggiore in Russia, Romania, Persia. Le raffinerie russe di Baku erano in piena funzione nei primi anni ottanta dell'Ottocento; il principale prodotto era il cherosene da illuminazione. I vari continenti cominciarono ad essere attraversati da oleodotti che portavano il petrolio ad un numero crescente di consumatori e di fabbriche.

Le tecniche di estrazione, con pozzi sempre più profondi, e di raffinazione si perfezionarono rapidamente, ma intanto il cherosene da illuminazione doveva fare i conti con la diffusione delle lampade elettriche inventate da Edison, a partire dal 1890.

Lo sviluppo dell'interesse per il petrolio fu dovuto all'invenzione del motore a combustione interna ad opera di Eugenio Barsanti (1821-1864); tale motore fu poi perfezionato dal tedesco Gottlieb Daimler (1834-1900) nel 1889; il motore a scoppio fu applicato ad un veicolo a quattro ruote da Karl Benz (1844-1929), che realizzò il prototipo dell'automobile.

Mentre questi motori impiegavano come combustibili le frazioni più leggere della distillazione del petrolio, il motore inventato da Rudolph Diesel (1858-1913) nel 1900 ne utilizzava le frazioni più pesanti. Nasceva così la necessità di raffinare

le diverse frazioni di petrolio, che iniziava la sua rapida ascesa come combustibile e come alimento per le macchine.

La civiltà delle macchine deve il suo progresso soprattutto alla frazione leggera della distillazione del petrolio, la “benzina”, che è stato il carburante per i motori da autoveicoli e da aeroplani a partire dai primi due decenni del Novecento, cioè per tutta la prima guerra mondiale. La benzina ottenuta dalla distillazione era sufficiente per i motori disponibili fino al 1920, ma da tale anno in avanti l'industria automobilistica aveva bisogno di motori più veloci e potenti e la benzina di distillazione non era più soddisfacente. Fu così studiato il comportamento della benzina nel motore a scoppio e si vide che la benzina bruciata in maniera irregolare, era dannosa per gli organi del motore, sia quando aumentava il rapporto di compressione dei cilindri, sia in relazione alla composizione chimica della benzina stessa.

Negli anni venti del Novecento furono messi a punto dei metodi per misurare il comportamento delle benzine nei motori a scoppio e fu possibile classificare la benzina sulla base di un indice di tale comportamento, il numero di ottano; quanto maggiore, a 90, 100 e oltre, è tale numero di ottano, tanto migliore è il comportamento della benzina nei motori più veloci e potenti. Grazie a un sempre più elevato rapporto di compressione, quale è richiesto dagli acquirenti della civiltà delle macchine.

I progressi della scienza del motore a scoppio fecero però apparire ben presto alcuni effetti negativi della macchina “automobile” sulla natura. Fu scoperto che era possibile aumentare il numero di ottano delle benzine di distillazione addizionandole con un composto sintetico metallorganico, il piombo tetraetile, un composto, scoperto dal chimico Thomas Midgley (1889-1944) intorno al 1925. L'unico inconveniente stava nell'elevata tossicità di questa sostanza e nella pericolosità del suo processo di fabbricazione; già negli anni venti del Novecento si ebbero morti sul lavoro, incidenti e esplosioni nelle fabbriche e intossicazione degli addetti ai distributori di benzina; eppure il piombo tetraetile sarebbe rimasto in uso fino agli anni settanta del Novecento.

Il secondo inconveniente fu dovuto al fatto che le eccezionali condizioni della combustione della benzina nel motore a scoppio facevano sì che la combustione

fosse incompleta e che si formassero, insieme all'anidride carbonica e al vapore acqueo, il velenoso ossido di carbonio e ossidi di azoto; cominciò così a entrare nel vocabolario il termine di inquinamento atmosferico dovuto al traffico, in un primo tempo urbano, con danni alla salute.

Nonostante le denunce dei danni all'ambiente provocati dalla nuova straordinaria macchina per muoversi, il successo dell'automobile è andato aumentando continuamente, soprattutto dopo la fine della seconda guerra mondiale, nell'età della ripresa economica e della diffusione del benessere nel Nord America e in Europa, e poi rapidamente in tutto il mondo.

Da questo momento in avanti la civiltà delle macchine è diventata amata e detestata: amata per il potere liberatorio dai vincoli dello spazio e della povertà, e detestata per l'inquinamento. Anche se proprio la protesta contro gli effetti negativi "della macchina" sulla natura ha anche determinato e stimolato le condizioni per attenuare almeno alcuni effetti dannosi. Non senza fatica, per esempio, la protesta ecologica è riuscita, dopo settant'anni di dominio incontrastato del piombo tetraetile, a ottenere che se ne vietasse l'addizione alle benzine. Anche se, usciti dalla trappola tecnologica dell'antidetonante piombo tetraetile si è cascati nella trappola della tossicità del benzene, altro antidetonante, fino ad arrivare all'obbligo di aggiungere ai tubi di scappamento dei dispositivi "catalitici" capaci di ossidare una parte dei gas tossici di scarico dei motori a forme meno nocive. Benzina e carburanti commerciali meno nocivi, ma anche consumi di carburanti rapidamente crescenti per cui l'inquinamento e l'effetto negativo complessivo sull'ambiente sono aumentati, aggravati anche dalla scoperta che i gas emessi dagli autoveicoli, soprattutto l'anidride carbonica, avevano ed hanno un effetto negativo sulla temperatura planetaria provocando i mutamenti climatici.

Ma la lunga storia del petrolio non riguarda soltanto gli effetti ambientali dell'automobile e del traffico. A mano a mano che la richiesta di petrolio greggio è aumentata è stato necessario trasportarla da giacimenti sempre più lontani dai pozzi di estrazione; navi petroliere sempre più grandi attraversano gli oceani e scaricano nei porti, lasciandosi dietro scie di petrolio che inquina i mari. Altro tributo ambientale pagato al trionfo delle macchine.

Con il petrolio e il XX secolo la civiltà delle macchine assume un carattere nuovo. Lo sviluppo e il controllo delle “macchine” passa gradualmente dagli ingegneri ai finanziari. Gli scienziati-inventori-imprenditori perdono gradualmente importanza e, quando uno scienziato inventa nuovi processi, lo fa generalmente per conto dell'industria che ne sovvenziona le ricerche. Per contro, i laboratori dell'industria si dedicano spesso a ricerche scientifiche di base di livello molto alto, talvolta superiore a quello delle ricerche universitarie, favoriti in questo anche da una maggiore disponibilità finanziaria.

L'unica eccezione è forse rappresentata dai pionieri-inventori-imprenditori nel settore dell'elettronica. Ma queste sono già macchine differenti e il loro impatto sulla natura, come effetto di decentramento produttivo, di formazione e smaltimento di rifiuti di differente qualità merceologica, è ancora tutto da esplorare. Come è appena iniziata la grande svolta della civiltà delle macchine verso fonti di energia rinnovabili.

La storia potrebbe andare avanti, con luci e ombre, con miopie e speranze, e forse l'invito ad un progresso attento ai bisogni umani e alla salvaguardia della vita e dell'ambiente naturale può essere l'utile lezione della Settimana della cultura tecnico-scientifica di quest'anno.

19.03.2007

Giorgio Nebbia