

I MICROCHIP O LA VITA

Terza parte

Mattoncini indispensabili per edificare la Quarta rivoluzione industriale, questi minuscoli ingredienti sono e saranno sempre più presenti negli oggetti che compongono quello che nella neolingua viene chiamato *ecosistema* tecnologico, poiché semplicemente indispensabili al loro funzionamento. Dagli smartphone alle auto elettriche, dalle energie alternative fino alle armi, nulla oramai può prescindere da queste leccornie cibernetiche dette anche wafer, apparecchiature nanoscopiche attorno cui girano interessi giganteschi.

Dopo aver sottolineato il loro ruolo strategico in economia, finanza, industria, arrivando a provocare conflitti geopolitici tra superpotenze, soffermiamoci su una delle più palesi mistificazioni della tecnologia contemporanea, che ha nei semiconduttori una punta di lancia: quella della sostenibilità. Spacciandosi come paladina dell'ambiente, reputandosi giustamente indispensabile alla transizione energetica, l'industria dei chip si è da sempre dipinta come *green*. Il gigante franco-italiano STMicroelectronics, partorito come start-up del Centro di ricerche atomiche di Grenoble, fin dai primi anni Duemila vantava un Decalogo "per sentirsi all'avanguardia della coscienza ecologica": opere di rimboschimento, drastica riduzione del consumo di fogli di carta A4, uso crescente di energie rinnovabili, riciclaggio di scarti di lavorazione e scorie, fabbricazione di microchip meno energivori, diminuzione del consumo di prodotti chimici, del piombo e dei metalli pesanti. In quest'ultimo caso, costosi e altrettanto energivori impianti di "trattamento" dei rifiuti e dei gas prodotti nei processi produttivi che più che ridurre l'inquinamento lo trasformano, lo sedimentano, lo imballano per infine spedirlo chissà dove.

Addentriamoci lungo la catena produttiva del ciclo del silicio per scoprire le meraviglie del processo alchemico che trasforma la merda del minerale di silice nell'oro dell'industria cibernetica, il microchip, uno dei prodotti più scambiati al mondo.

Semiconduttore è detto un elemento o composto chimico in grado di condurre l'elettricità in determinate condizioni e non in altre, che si può dunque trasformare in un interruttore con le funzioni acceso/spento, utile per effettuare calcoli: è il fondamento dell'informatica. Il silicio è il materiale più adoperato date le sue proprietà di semiconduzione, ma sono usati anche il germanio, il gallio, il carburo di silicio e più di recente il nitruro di gallio.

Dal latino *silex* che indicava la selce e più in generale ogni pietra dura, il silicio costituisce un quarto della crosta terrestre sotto forma di silice, o diossido di silicio, minerale composto da un atomo di silicio e due di ossigeno. Nel 2017 sono state estratte 35-40 miliardi di tonnellate di materiali silicati, tre volte di più che i combustibili fossili. Tra questi materiali c'è il quarzo, e la più grande produttrice di quarzo è la multinazionale americana Sibelco che ha molte sedi e cave anche in Italia, da Sessa Aurunca nel casertano a Maranello nel modenese passando per Robilante nel cuneese.

Dunque per produrre oggetti connessi, energia rinnovabile solare e veicoli non inquinanti bisogna innanzitutto distruggere la terra con macchinari pesanti, dinamite, gasolio e molta, molta polvere. Le particelle nanoscopiche consumano i polmoni dei minatori: la silice, riconosciuta cancerogena, provoca la silicosi.

Per quanto riguarda il consumo e lo spreco di risorse, una grande quantità di energia e acqua adoperata nel digitale proviene dallo stadio dell'estrazione e della lavorazione delle materie prime, ancor prima della fabbrica. Le cave contribuiscono alla deforestazione e all'erosione dei suoli, inquinano e acidificano l'acqua consumandone enormi quantità, abbandonando dietro di loro desolazione ed erosione dei suoli. Come se non bastasse, paesaggi desertificati dopo lo sfruttamento minerario spesso sono riconvertiti dai produttori e fornitori di energia rinnovabile in centrali fotovoltaiche.

Seconda fase: trasformazione della silice in silicio metallico. Il processo avviene tramite carboriduzione, aggiungendo cioè carbonio (legno, carbone, coke, petrolio) al silicio. Immaginiamo una fabbrica metallurgica, con le sue ciminiere e gli operai in tuta protettiva. Per produrre 40 mila tonnellate di silicio metallico, la fabbrica brucia 120 mila tonnellate di quarzo, previamente lavato e vagliato con enormi quantità d'acqua, e 80 mila tonnellate di legno. Alla ricetta bisogna aggiungere gli elettrodi di grafite necessari alle reazioni. Quindi dei forni ad arco sommerso riscaldano fino a tremila gradi per portare silice e carbone a fusione e ottenere una pasta liquida. Queste lavorazioni consumano oltre 11 mila kW/h per tonnellata di prodotto finito. Per fare un paragone, una fabbrica con tre di questi forni consuma ogni anno l'elettricità equivalente a una città di 150 mila abitanti.

Visto il rischio di chiusura di una di queste industrie metallurgiche, ecco cosa dichiarano vari tecnocrati, indignandosi in nome dell'ecologia. Secondo un deputato comunista del Puy-de-Dôme: questi siti industriali hanno un ruolo fondamentale nel quadro della transizione ecologica ed energetica. La loro chiusura avrebbe un costo ambientale e sociale conseguente; un candidato dei Verdi alle presidenziali: come ecologisti, vogliamo questo tipo di fabbriche; e un senatore sempre dei Verdi: la Francia ha e avrà bisogno di silicio.

Ricordiamo anche, di passaggio, che avendo tutte queste lavorazioni grande bisogno di elettricità, saranno create nuove centrali idroelettriche, se in territorio montano, mentre altrove, giù di carbone o nucleare.

Guardiamo da altre parti. La Cina produce il 70% del silicio metallico mondiale (2,2 milioni di tonnellate annue) nelle regioni Yunnan, Sichuan e ormai soprattutto Xinjiang. Ciò è dovuto alle sue grandi risorse in quarzo e all'aumento della produzione di elettricità, fornita sia da dighe idroelettriche sia da centrali a carbone che rendono irrespirabile l'aria delle città-cancro. Spesso la manodopera è sottopagata se non schiavizzata come nel caso degli Uiguri, deportati e costretti ai lavori forzati. Detto di passaggio, a fine 2021 la Cina ha diminuito la produzione per varie ragioni, quali l'obbligo di riduzione di emissioni o la mancanza d'acqua nelle centrali idroelettriche: come risultato il prezzo del silicio metallico è aumentato del 300%.

Tappa seguente: raffinazione del silicio metallico in silicio cristallino o polisilicio, che serve anche all'industria fotovoltaica, di cui di nuovo i $\frac{3}{4}$ della produzione mondiale vengono dalla Cina, Xinjiang e Mongolia interna. Il resto, Stati Uniti e un po' dall'Europa (Norvegia, Germania). Il polisilicio è prodotto il più delle volte seguendo il procedimento Siemens. Si trasforma innanzitutto il silicio metallico in gas liquido triclorosilano tramite reazione con cloruro d'idrogeno. Poi si prende una campana di confinamento alta 2 metri, si piazzano delle barrette di silicio molto puro dello spessore di 10 mm e si riscaldano a 1.100 gradi. Quindi si introducono triclorosilano e idrogeno in questa camera di combustione, che produce la ri-decomposizione del triclorosilano in cloruro d'idrogeno e atomi di silicio che si depositano sulle barrette, alla velocità di 1 millimetro all'ora.

Ma non è finita: ora bisogna fondere il polisilicio in lingotti di silicio monocristallino ultra puro. Uno dei grandi produttori è la taiwanese Globalwafers, che ha perfino acquisito MEMC, cioè

Monsanto Electronic Materials Company (Monsanto non ha mai prodotto unicamente glifosato), che negli anni è diventata italiana e in Italia conta due stabilimenti, Merano e Novara, con una produzione annua di 5 milioni di wafer da 8 pollici di diametro (200 mm circa) all'anno, e un fatturato di 300 milioni di euro. Negli Stati Uniti una delle principali produttrici di silicio monocristallino è la SVM (Silicon Valley Microelectronics) in California, la Germania può contare sul gruppo Siltronic e il Giappone su ROHM Semiconductor, partner di STMicroelectronics.

In questo caso si adopera il metodo Czochralski, con un forno sotto atmosfera di argon a 1450°. Si prende un germe di silicio monocristallino immerso in silicio liquido e si tira molto lentamente (da 0,4 a 3 mm al minuto) girando. Ci vogliono 30 ore per produrre una barra dal peso variabile da 30 a 100 chili, dal diametro di 200 o 300 mm. È tagliando queste barre cilindriche in strati di 1 o 2 mm che si ottengono i famosi wafer, le placche di silicio su cui saranno stampati i circuiti elettronici.

Dunque, riassumendo, la cosiddetta transizione energetica necessita di moltissima energia. Secondo alcune stime il raffinamento del silicio in polisilicio consuma 150 MWh per tonnellata di prodotto finito. La trasformazione del polisilicio in lingotti monocristallini 31 MWh a tonnellata. Infine, il taglio dei wafer, 42,5 MWh a tonnellata.

Per quanto riguarda il materiale, ci vogliono 7,14 tonnellate di quarzo per ottenerne 1 di silicio monocristallino. E il taglio di quest'ultimo produce scarti di lavorazione, il cosiddetto *kerf*, circa il 40% di ogni barra.

Per quanto riguarda l'utilizzo di prodotti chimici, la filiera non fornisce una lista precisa e quantificabile, nel 2010 si stimava la cifra di 280 kg di prodotti chimici per kg di silicio prodotto (tra cui acidi, ammoniaca, cloro, acetone, ecc.)

La tanto sbandierata transizione ecologica si basa solo su indicatori legati alle emissioni di gas a effetto serra. Il loro unico obiettivo, la decarbonizzazione, ignora l'entropia della materia e dell'energia, ovvero la realtà fisica del disastro industriale, senza parlare della devastazione ambientale dovuta all'inquinamento industriale. Per evitare la catastrofe climatica, ci sarà devastazione della terra per la produzione energetica. Parchi eolici dappertutto, a perdita d'occhio, per mare e per terra, distese di pannelli solari, centrali elettriche ovunque, senza dimenticare il nucleare, le sue scorie eterne, l'inquinamento radioattivo qui e ora e la minaccia di incidente. E per quanto riguarda i bacini idroelettrici, data la scarsità delle precipitazioni, quanto a lungo potranno ancora durare?

Intelligente, no? Fa tutto molto *smart*... E se l'automobile elettrica non emette CO2 e lo smartphone permette di economizzare gli spostamenti, la società digitale divora le risorse naturali, materia ed energia, senza parlare delle ricadute catastrofiche sulla flora, la fauna e quelli che un tempo erano esseri umani: ma questi sono soltanto dettagli, figli di un romanticismo d'altri tempi.

D'altronde lo dice la scienza, e ai movimenti ambientalisti tocca unicamente convincere i tecnocrati ad avviare al più presto questa miracolosa transizione. Poi tutto verrà da sé: tanto han gridato al collasso, che stanno fortemente contribuendo ad accelerarlo.

Ritorniamo al nostro silicio. Raffinato, purificato, fuso, eccolo infine arrivare nelle sale bianche di STMicroelectronics, dov'è trasformato in wafer. Scordiamoci la sporcizia degli impianti metallurgici, qui si lavora in tuta bianca e ambiente sterilizzato per non contaminare il prezioso materiale. Eppure, ricordiamo che qui si lavora in zone Seveso, come dichiarate dalla stessa comunità europea quando si è in presenza di determinate lavorazioni; peraltro, ST impone orari

diversi per le eventuali coppie di lavoratori sposati tra loro di modo che, se dovesse succedere un incidente grave, costoro non decidano di aiutarsi tra loro a spese del mutuo aiuto con il resto del personale... Questa sì che è una lezione di civismo: il bene comune viene prima degli interessi egoistici.

Nella fabbrica STMicroelectronics di Crolles, vicino Grenoble, le barre di silicio sono stampate – le più sottili si aggirano attorno ai 28 nanometri – per produrre 10 milioni di microchip al giorno. Il procedimento industriale necessita prodotti tossici quali fosfina (idrogeno fosforato), tilane o arsina (mix di idrogeno e arsenico), i “gas da combattimento” di cui addirittura si vantano alcuni operai nel corso di una visita.

ST realizza una cifra di affari pari a 8,3 miliardi di euro, ma producendo stampati di “soli” 28 nanometri, non è in grado di rifornire l’industria elettronica di precisione e si limita a settori molto meno esigenti: automobili, sensori, apparecchiature di gestione, mezzi di pagamento. Infatti subisce la concorrenza di mostri del settore quali la taiwanese TSMC, capace di produrre microchip di 5 nanometri, o la sudcoreana Samsung, che investono miliardi nella produzione di smartphone sempre più performanti.

TSMC rifornisce i colossi americani dell’elettronica, tra cui Apple che dispone in esclusiva di una fabbrica da 10 miliardi di dollari. Che ne pensa la Cina? Non è semplice districarsi nella cosiddetta guerra dei chip: infatti, tutti gli smartphone cinesi funzionano grazie a microchip concepiti negli USA e prodotti a Taiwan o Corea del Sud, ma questi a loro volta dipendono dalla Cina nell’approvvigionamento del silicio metallico.

In attesa di sviluppi ST ha siglato un accordo con TSMC per una nuova tecnologia: il nitruro di gallio su silicio. Questo nuovo semiconduttore permette maggiori rese, di economizzare l’energia e di essere applicato in frequenze più elevate come quelle del 5G. Tutto ciò, a favore dell’accelerazione del segnale... e della transizione ecologica.

Vicino a STMicroelectronics nel Grésivaudan, c’è un’altra industria all’avanguardia, Soitec. Meno conosciuto, il gruppo è comunque il primo produttore mondiale di SOI – *silicon on insulator*, silicio su isolante. Processo ideato da due ingegneri del Commissariato per l’energia atomica di Grenoble nel 1992, grazie a una commessa militare, “SmartCut” di Soitec intercala uno strato di isolante tra ogni strato di ossido di silicio, per poter migliorare la performance e l’efficacia energetica dei componenti elettronici e diminuire i loro costi. La prodezza resa possibile dalle nanotecnologie avviene nei 4.500 metri² delle loro “sale bianche” con un ricavo previsto per il 2026 di 2 miliardi di euro grazie all’Internet delle Cose, al 5G e alle auto elettriche.

Prima o poi però questi meravigliosi prodotti arrivano a fine corsa, e sempre più in fretta. Secondo studi recenti, uno smartphone si cambia in media ogni 2-3 anni. Ed ecco accumularsi montagne di rifiuti elettronici: 53,6 milioni di tonnellate nel 2019, con la previsione di 74,7 nel 2030. Né il riciclaggio né le infrastrutture di distruzione securizzate riescono ad assorbire una tale esplosione, secondo uno studio dell’ONU.

Per quel che riguarda il nostro silicio metallico, la difficoltà di separarlo dal resto dei componenti degli apparecchi elettronici e il costo di tale procedimento dissuade il riciclaggio. In un rapporto del giugno 2021, l’OMS dice di ignorare quel che è diventato l’82,6% delle 53,6 milioni di tonnellate di rifiuti elettronici, ovvero 44,7 milioni di tonnellate.

Buona parte finiscono nella discarica elettronica più grande del mondo a Guiyu nella provincia cinese del Guandong, mentre un altro cimitero cibernetico si trova a Agbogbloshe nella periferia di

Accra, capitale del Ghana, dove bambini e adulti bruciano cumuli di plastiche per estrarne i metalli. Una catena di disassemblaggio assai utile all'UE, prima esportatrice di carcasse elettroniche in Ghana; per quanto vietata dalla convenzione di Basilea del 1992, prosegue indisturbata nell'illegalità. E rilascia nell'ambiente quantità enormi di prodotti tossici quali mercurio, ritardanti di fiamma bromati, cadmio, piombo, PCB... che creano una lista di problemi che colpiscono il sistema nervoso, cardiovascolare e immunitario, danneggiano i polmoni, i reni e provocano disturbi neurologici, tumori, diabete...

Il ciclo si chiude come si era aperto, tra sfruttamento, inquinamento, consumo forsennato di materia ed energia. La macchina cibernetica avanza, incontrastata e incontestata, i suoi ingranaggi oliati anche da chi altrove pretenderebbe combatterla. Chi sogna transizioni ecologiche potrebbe ben presto non avere altro *okios* abitabile che non sia la megalopoli globale interconnessa: verde ma di una tonalità piuttosto grigia. Quando se ne accorgeranno, sarà troppo tardi.