

Nocività digitale

Sul nesso lavoro-ecologia

Giorgio Pirina



Edizioni
Ca' Foscari

Società e trasformazioni sociali 12

e-ISSN 2610-9689 ISSN 2610-9085

Nocività digitale

Società e trasformazioni sociali

Serie diretta da | A series edited by
Pietro Basso
Fabio Perocco

12



Edizioni
Ca' Foscari

Società e trasformazioni sociali

Direttori | General editors

Pietro Basso (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Fabio Perocco (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Comitato scientifico | Advisory board

Ricardo Antunes (Unicamp Universidade Estadual de Campinas, Brasil)

Alain Bihr (Université Franche-Comté, France)

Alex Callinicos (King's College, London, UK)

Giuliana Chiaretti (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Steve Jefferys (London Metropolitan University, UK)

Olga Jubany (Universitat de Barcelona, Espanya)

Enzo Pace (Università degli Studi di Padova, Italia)

Enrico Pugliese (Sapienza Università di Roma, Italia)

Nouria Oauli (Université Libre de Bruxelles, Belgique)

Comitato di redazione | Editorial staff

Rossana Cillo (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Francesco Della Puppa (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Iside Gjergji (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Lucia Pradella (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Ottavia Salvador (Università degli Studi di Genova, Italia)

Tania Toffanin (Università Ca' Foscari Venezia, Italia)

Direzione e redazione | Head Office

Dipartimento di Filosofia e Beni Culturali

Palazzo Malcanton Marcorà

Dorsoduro 3484/D

30123 Venezia

sts@unive.it

e-ISSN 2610-9689

ISSN 2610-9085



URL <https://edizionicafoscari.unive.it/it/edizioni/collane/societa-e-trasformazioni-sociali/>

Nocività digitale

Sul nesso lavoro-ecologia

Giorgio Pirina

Venezia

Edizioni Ca' Foscari - Venice University Press
2025

La nocività digitale. Sul nesso lavoro-ecologia
Giorgio Pirina

© 2025 Giorgio Pirina per il testo
© 2025 Edizioni Ca' Foscari per la presente edizione



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Qualunque parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in un sistema di recupero dati o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, senza autorizzazione, a condizione che se ne citi la fonte.

Any part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means without permission provided that the source is fully credited.



Certificazione scientifica delle Opere pubblicate da Edizioni Ca' Foscari: i saggi qui pubblicati hanno ottenuto il parere favorevole da parte di due valutatori esperti della materia, attraverso un processo di revisione doppia anonima, sotto la responsabilità del Comitato scientifico della collana. La valutazione è stata condotta in aderenza ai criteri scientifici ed editoriali di Edizioni Ca' Foscari, ricorrendo all'utilizzo di apposita piattaforma.

Scientific certification of the works published by Edizioni Ca' Foscari: essays published in this volume have received a favourable evaluation by a subject-matter experts, through a double blind peer review process under the responsibility of the Scientific Committee of the series. The evaluations were conducted in adherence to the scientific and editorial criteria established by Edizioni Ca' Foscari, using a dedicated platform.

Edizioni Ca' Foscari | Fondazione Università Ca' Foscari
Dorsoduro 3246 | 30123 Venezia
<https://edizionicafoscari.unive.it> | ecf@unive.it

1a edizione novembre 2025
ISBN 978-88-6969-981-8 [ebook]

Progetto grafico di copertina | Cover design: Lorenzo Toso



La nocività digitale. Sul nesso lavoro-ecologia / Giorgio Pirina — 1. ed. — Venezia: Edizioni Ca' Foscari, 2025. — viii + 166 pp.; 23 cm. — (Società e trasformazioni sociali; 12). — ISBN 978-88-6969-981-8.

URL <https://edizionicafoscari.unive.it/it/edizioni/libri/978-88-6969-981-8/>
DOI <http://doi.org/10.30687/978-88-6969-981-8>

Nocività digitale

Sul nesso lavoro-ecologia

Giorgio Pirina

Abstract

Behind the image of lightness and immateriality of the digital lies an iceberg of hyper-exploitation of labour, resource consumption, and pollution along the value chains. The M-E-L-G matrix guides the analysis of the production processes that make digitalisation possible, examined through the lens of 'digital noxiousness': from mining extractivism to semiconductors, from the energy and water consumption of data centres to electronic waste. At the core emerges 'digitarchy', the regime of the digital social order, in which the power of the technology giants intertwines and clashes with forms of bottom-up action, contributing to the redefinition of global inequalities.

Keywords Digital Noxiousness. Labour. Digital Capitalism. Extractivism. Electronics. Ecology. Sustainability. Chips. Semiconductors.

Sommario

1	Introduzione	3
2	La nocività digitale e il contesto planetario: tesi, quadro teorico e strumento analitico	11
3	Il mito digitale e le sue basi socio-materiali e culturali	33
4	Industria elettrodigitale e nocività	59
5	I costi umani e ambientali: lavoro, ecologia e (in)giustizia	95
6	Digitarchia e capitalismo digitale: governo, conflitti e giustizia ecologica nell'Antropocene	121
7	Conclusioni	145
	Bibliografia	149

Nocività digitale

Sul nesso lavoro-ecologia

1 Introduzione

Sommario 1.1 Perché ‘nocività digitale’. – 1.2 Obiettivo e struttura del libro: disvelare l’iceberg digitale.

1.1 Perché ‘nocività digitale’

Questo libro parte da un’affermazione semplice: il reame digitale non può esistere senza il reame fisico-materiale. In verità, la frase costruita in questo modo può apparire contraddittoria, laddove crea una separazione tra due reami, appunto quello digitale e quello fisico-materiale. Forse un’affermazione più corretta, o perlomeno coerente con l’idea alla base di questo libro, è la seguente: digitale e fisico-materiale sono consustanziali, si compenetrano vicendevolmente. D’altronde, nelle scienze sociali sono stati utilizzati e ri-contestualizzati termini proprio a indicare la necessità analitica di un approccio non dicotomico per interpretare il mondo. Ad esempio, il termine ‘figitale’ (unione di fisico e digitale), sebbene utilizzato inizialmente nel marketing, ha conosciuto un’estensione semantica e analitica critica volta a comprendere le manifestazioni materiali delle tecnologie digitali, distanziandosi così da una prospettiva focalizzata prevalentemente sull’informazione digitale come *medium*. È il caso,

ad esempio, di studiose e studiosi come John D. Peters (2015), Giorgio Pirina (2022), Tommy Tse e Pun Ngai (2024).

La pervasività del digitale costituisce un tratto distintivo della contemporaneità, manifestandosi negli strumenti tecnologici di uso quotidiano, nelle infrastrutture sia fisiche che intangibili che irradiano la società e nelle dinamiche socio-economiche sia locali che globali. Come vedremo, tanto la presentazione fenomenologica del digitale quanto la promessa che ha accompagnato la sua diffusione sono spesso caratterizzate da attributi quali leggerezza, velocità e un immaginario di immaterialità, efficienza e progresso escatologico. Tuttavia, una disamina critica impone di interrogarsi sulla realtà sottostante questa superficie: quali sono i costi impliciti e sistematicamente celati, le relazioni socio-culturali e le dinamiche di potere dell'ubiquità digitale? L'interrogativo non si esaurisce in una mera curiosità intellettuale o accademica, ma diviene pressante di fronte all'evidenza crescente degli impatti che la digitalizzazione esercita su molteplici dimensioni della vita planetaria e umana, anche alla luce delle recenti proposte programmatiche sia a livello comunitario che a livello nazionale, quali i piani per la transizione digitale ed energetica.

In questo quadro utilizzo il termine 'digitale' per designare l'inseparabilità ontologica tra infrastrutture materiali e processi tecno-informazionali che costituisce la condizione di possibilità del digitale contemporaneo. Differentemente alla sua applicazione nel campo del marketing, qui 'digitale' assume un significato differente: non rimanda alla semplice convergenza tra fisico e digitale, bensì alla forma storico-materiale assunta dal digitale dentro le logiche dell'accumulazione capitalistica. Parlare di infrastrutturazione digitale significa dunque riconoscere che ogni pratica digitale è radicata in relazioni profonde con materia, energia e lavoro, e che tali relazioni non costituiscono il retroscena tecnico dell'innovazione, ma la sua trama costitutiva. Il digitale è, in altre parole, la cifra ecologico-politica dell'infrastrutturazione digitale nel capitalismo contemporaneo: la combinazione sistemica di processi con cicli materiali ad alta intensità estrattiva e di lavoro.

Il presente volume si fonda su una tesi fondamentale, la quale fa proprie le intuizioni di sociologi e studiosi critici dei media che da diversi decenni si discostano nettamente dalle narrazioni tecno-ottimistiche sul digitale: l'infrastrutturazione digitale, nella sua attuale configurazione, nelle dinamiche di potere che lo governano e nei modelli di produzione e consumo che ne hanno determinato l'affermazione e ne indirizzano l'evoluzione, non è neutra o intrinsecamente e aprioristicamente positiva. Piuttosto, la tesi qui proposta è quella di una 'nocività digitale', la quale si esprime attraverso gli impatti socio-ecologici lungo le catene di produzione e del valore delle tecnologie digitali, tra cui l'iper-sfruttamento del lavoro e delle risorse naturali, il dispendio energetico e le emissioni di

gas climalteranti. La nocività digitale, da un punto di vista estetico-visuale, si può cogliere con il contrasto tra la dimensione nanometrica di *chip* e *transistor* e il gigantismo dei data center, la cui crescita è imposta dalla necessità di superare la saturazione di dati della società digitale (Hogan 2021).

In questo libro, si assume dunque la ‘nocività digitale’ come l’esito storico-materiale dell’infrastrutturazione digitale nel quadro dei rapporti di produzione capitalistici, che coordina lavoro, materia ed energia entro specifici regimi di governo (digitarchia), i quali ne definiscono gerarchie e distribuzione spaziale e temporale degli oneri. La chiave per seguirne la dinamica è il nesso lavoro-ecologia: le condizioni e le forme del lavoro rendono economicamente praticabili processi ad alta intensità materiale ed energetica, mentre i vincoli e i colli di bottiglia ecologici si riflettono in pressioni su ritmi, salari, tutele e degrado ambientale. La matrice M-E-L-G (Materia, Energia, Lavoro, Governo/Digitarchia) serve a esemplificare tale relazione, mostrando come ogni spostamento su uno delle quattro dimensioni riconfiguri le altre: ciò che segue non somma impatti separati, ma ricostruisce un’unica dinamica in cui estrazione di valore ed esternalizzazione dei costi socio-ecologici sono due facce dello stesso processo.

Tale prospettiva analitica trascende la mera critica a comportamenti individuali in quanto consumatori, quali l’uso delle tecnologie digitali o l’esposizione ai rischi associati alle piattaforme social, sebbene tali aspetti rientrino nel più ampio spettro della nocività digitale per quanto concerne gli effetti psicologici. L’obiettivo primario è disvelare una nocività più profonda, strutturale e sistemica, le cui radici affondano nelle basi materiali e culturali della «propagazione digitale» – cioè la diffusione «di manufatti tecnologici, infrastrutture, servizi digitali su una scala planetaria, sulla base di una connessione permanente» (Pirina 2022, 8) – nelle relazioni di potere su scala tanto globale quanto locale e nel suo impatto trasformativo sul sistema Terra. Si tratta di comprendere come la nocività non sia un effetto collaterale indesiderato, una disfunzione risolvibile con semplici aggiustamenti tecnologici o normativi, ma una caratteristica intrinseca, un prodotto necessario dei sistemi digitali per come si sono sviluppati ed evoluti nel capitalismo contemporaneo.

Per una comprensione esaustiva della nocività digitale, è necessario trascendere la superficie dell’esperienza immediata dell’utilizzo finale e analizzare in profondità il nucleo materiale, culturale e produttivo che ne rende possibile l’esistenza: l’industria elettrodigitale.¹ Questa industria non costituisce un’entità isolata, bensì un pilastro

1 Come vedremo nel capitolo 4, questa espressione funge da termine-ombrello che include una molteplicità di settori e industrie collegate, ognuna delle quali svolge un ruolo cruciale nel plasmare l’ecosistema tecnologico globale.

fondamentale e strutturante del capitalismo digitale contemporaneo, caratterizzato da filiere estremamente complesse, multi-stratificate, interconnesse e da dinamiche significative di sfruttamento del lavoro e impatto ecologico a ogni stadio del ciclo di vita dei prodotti. L'industria elettrodigitale rappresenta il punto di convergenza in cui le materie prime estratte vengono trasformate attraverso processi ad alta intensità di energia, materia, capitale e lavoro in componenti sofisticati, come ad esempio i semiconduttori, e successivamente assemblate nei dispositivi che utilizziamo quotidianamente.

Come vedremo lungo il volume e in particolare nel capitolo 6, la dimensione di potere e di governo, definita come «digitarchia» (Pirina 2022), è centrale per comprendere le forme e le direzioni del digitale. Quest'ultimo infatti è governato da logiche di potere storicamente determinate e contribuisce attivamente a formare – dunque è performativo – l'ordine sociale in cui si manifesta. Il governo del digitale è caratterizzato dalla concentrazione di potere e controllo nelle mani di attori come le GAFAM (Alphabet/Google, Apple, Meta/Facebook, Amazon, Microsoft) e le cinesi BAT (Baidu, Alibaba e Tencent) che dominano le infrastrutture critiche, le piattaforme digitali e i flussi di dati su scala globale. Questo potere non è unicamente economico, ma si configura piuttosto come un potere multiforme e interconnesso che influenza in modo determinante la sfera politica (attraverso attività di lobbying, influenza normativa, partecipazione a processi decisionali globali), sociale (plasmando norme culturali, modelli di interazione, identità individuali e collettive) ed epistemica (controllando l'accesso e la produzione di conoscenza, definendo ciò che è visibile e ciò che non lo è online, influenzando la percezione della realtà).

Questo controllo infrastrutturale e algoritmico si traduce in un potere immenso sui flussi di dati, che vengono sistematicamente estratti, analizzati, profilati e monetizzati nell'ambito del capitalismo delle piattaforme (Srnicek 2016), una forma economica in cui le piattaforme digitali fungono da intermediari chiave e controllano le infrastrutture e i flussi di dati. Inoltre, si manifesta anche il capitalismo della sorveglianza (Zuboff 2020), basato sull'appropriazione unilaterale dell'esperienza umana (le nostre azioni, interazioni, emozioni online e offline) per la produzione di previsioni comportamentali da vendere sul mercato (principalmente agli inserzionisti, ma con applicazioni crescenti in settori come le assicurazioni, il credito e la politica).

La logica che guida queste entità non è primariamente orientata al benessere collettivo, alla sostenibilità ambientale o all'equità sociale, ma alla massimizzazione del profitto, alla crescita esponenziale e illimitata, all'accumulazione incessante di capitale e all'estrazione di valore da ogni interazione umana, ogni risorsa naturale e ogni processo produttivo che può essere digitalizzato o mediato da tecnologie digitali. Tale principio è spesso in conflitto diretto con le

esigenze di sostenibilità, contribuendo attivamente al superamento dei «limiti planetari», cioè le soglie biofisiche entro cui l'umanità può operare in sicurezza senza alterare gli equilibri del sistema Terra (Rockström et al. 2009). Ciò non vuol dire che, allo stato attuale delle cose, non vi sia un indirizzo del digitale e delle sue applicazioni in vari ambiti sociali in chiave non imperiale. Significa piuttosto affermare con forza la necessità ineludibile di una forma di governo del digitale che tenga conto delle varie istanze provenienti dal basso, dalle comunità, dai lavoratori, dagli attivisti ecologisti, e che le scelte fondamentali sull'evoluzione e l'applicazione delle tecnologie digitali non dipendano unicamente dalle grandi *corporations* che predispongono, sviluppano e gestiscono l'ecosistema digitale globale con il primario obiettivo della ricerca del massimo profitto e del consolidamento del loro potere. In altri termini, si tratta di stabilire con urgenza il tipo di governo del digitale: dal basso, democratico e partecipativo, orientato al benessere collettivo e alla sostenibilità socio-ecologica, oppure dall'alto, monopolizzato dalle scelte di poche imprese che mirano esclusivamente alla ricerca del massimo profitto e all'accumulazione di potere e controllo.

1.2 Obiettivo e struttura del libro: disvelare l'*iceberg* digitale

L'obiettivo generale di questo libro è duplice e interconnesso: da un lato, esplorare in profondità e con rigore il nesso lavoro-ecologia nel contesto del capitalismo digitale; dall'altro, disvelare i presupposti e le conseguenze materiali che rendono possibile l'infrastrutturazione digitale pervasiva che sperimentiamo quotidianamente, considerando quindi i costi nascosti, sistematicamente esternalizzati e spesso invisibili, in termini di condizioni di lavoro, sfruttamento ecologico e metabolismo energetico. Ciò verrà fatto attraverso un consistente e profonda analisi degli studi sull'ipersfruttamento del lavoro e dell'impatto ecologico lungo le catene produttive e del valore delle tecnologie digitali ed elettroniche, mediante il ricorso agli approcci critici dell'ecologia politica, della sociologia e dei media studies. L'analisi secondaria è riletta e ricomposta nel quadro concettuale del nesso lavoro-ecologia e della nocività digitale, assumendo la matrice M-E-L-G (Materia-Energia-LavoroGoverno) come struttura analitica ed euristica. Perciò il presupposto concettuale fondamentale della proposta è che il digitale non è affatto etereo, immateriale o disincarnato.

Lungi da voler rivendicare una sorta di ritorno nostalgico all'epoca analogica, o etichettare la digitalizzazione come qualcosa di esclusivamente e intrinsecamente negativo in ogni sua potenziale forma, questo libro si propone di offrire una riflessione critica, sulla nocività (e, per converso, sulle potenziali, ma attualmente

irrealizzate, condizioni di salubrità) digitale. Per un inquadramento e una valutazione coerente della sostenibilità del digitale, si rende necessaria una critica radicale all'approccio mistificante dell'utopismo tecnologico che, concentrandosi sulla superficie e sulla promessa, ignora o deliberatamente occulta la materialità, o l'insieme complesso e spesso brutale dei processi materiali, energetici, lavorativi e di potere che ha permesso al digitale di raggiungere la portata attuale e di plasmare il mondo in modo così profondo.

Il libro proseguirà, pertanto, mediante un'operazione di disvelamento delle relazioni sociali e ambientali nascoste nell'ambito del capitalismo digitale. Tale operazione avverrà seguendo la metafora dell'iceberg digitale. La punta dell'iceberg rappresenta la «storia in primo piano» (Fraser, Jaeggi 2019), la parte visibile, l'interfaccia utente, l'esperienza immediata e apparentemente immateriale che tutti noi facciamo del digitale nella nostra vita quotidiana: lo smartphone che teniamo in mano, il clic che invia un messaggio, il video in streaming, il servizio cloud. La «storia sullo sfondo» (Fraser, Jaeggi 2019), sommersa e invisibile alla maggior parte degli utenti, è la stragrande maggioranza del corpo dell'iceberg, costituita dall'insieme intricato e interconnesso di relazioni, processi, eventi, materiali, conoscenza, energia e lavoro che non vediamo, non percepiamo direttamente.

Prendiamo il caso dello smartphone, «artefatto-simbolo» e «mediatore pressoché universale» di relazioni sociali e un oggetto simbolo dell'era digitale (Greenfield 2017, 11). Per capirne il peso reale, inteso non solo in grammi ma come l'insieme della materia, dell'energia e del lavoro che entra in gioco per realizzarlo e farlo funzionare, non dobbiamo considerare solo la forma finale, lucida e performante, o come lo usiamo nelle attività quotidiane. Piuttosto, occorre 'spacchettarlo' e analizzarlo chirurgicamente per rilevarne ogni componente e, soprattutto, la filiera che sta dietro a ciascuna di esse. Così, la produzione, l'uso e lo smaltimento di uno smartphone prevede l'uso intensivo di forza lavoro e la movimentazione massiccia di materia ed energia organizzata perlomeno in otto passaggi fondamentali:

1. Estrazione di materie prime (minerali, metalli rari e non, materiali fossili).
2. Movimentazione delle materie prime verso le imprese di lavorazione.
3. Fusione e raffinazione per trasformare il minerale grezzo in materiali utilizzabili.
4. Fabbricazione di semi-lavorati e prodotti intermedi (componenti elettronici, display, batterie, ecc.).
5. Fabbricazione di schede elettroniche complesse e miniaturizzate.
6. Produzione e assemblaggio del manufatto digitale finale (lo smartphone, il laptop, ecc.).

7. Vendita, distribuzione e logistica verso il consumatore finale.
8. Utilizzo/Consumo dei servizi digitali che richiedono infrastrutture attive: data center (immagazzinamento ed elaborazione dati), reti di telecomunicazione, con il loro continuo consumo di energia e la loro gestione.

A questi passaggi relativi alla produzione e all'uso, si deve aggiungere, come parte del ciclo di vita, la fase cruciale e problematica dello smaltimento e del riciclo dei rifiuti elettronici (*e-waste*).

Il libro è strutturato per guidare il lettore attraverso un'operazione di disvelamento progressivo della 'storia sullo sfondo' del digitale. Dopo questa introduzione, i capitoli successivi si concentreranno sull'analisi dettagliata di ciascun elemento di quella che abbiamo definito come matrice M-E-L-G della nocività digitale, evidenziandone le interconnessioni tra le dimensioni e le implicazioni sistemiche. Il capitolo 2 introduce il quadro teorico fondamentale per analizzare la nocività digitale, contestualizzandola nel contesto più ampio dell'Antropocene e dei limiti planetari. La sezione evidenzia come la nocività digitale sia strutturale e sistemica, radicata nelle dinamiche di potere globali e nelle trasformazioni del capitalismo contemporaneo. Verranno quindi esplorati concetti chiave come Antropocene, Capitalocene e limiti planetari e delineato il concetto di nocività digitale, ponendo particolare attenzione al ruolo che il capitalismo digitale gioca nel produrre disuguaglianze socio-ecologiche globali. Questo approfondimento teorico offre una cornice analitica robusta che guiderà l'analisi dettagliata presentata nei capitoli successivi, permettendo al lettore di comprendere appieno la complessità della nocività digitale.

Il capitolo 3 affronta il mito o immaginario d'immaterialità digitale, esaminando criticamente come le narrazioni culturali e commerciali abbiano contribuito a creare l'illusione di un digitale leggero e sostenibile. Attraverso un'analisi storica e sociologica, vengono esplorate le origini di queste narrazioni e le loro implicazioni pratiche, evidenziando come la presunta immaterialità nasconda in realtà costi energetici, ecologici e umani enormi e spesso invisibili. Questa sezione mira, dunque, a decostruire il mito digitale, mettendo in luce le contraddizioni intrinseche del sistema e offrendo una comprensione critica delle basi materiali e culturali del capitalismo digitale.

Nel capitolo 4 viene affrontato il tema delle fondamenta fisiche e materiali del digitale. L'analisi si concentra sull'industria elettrodigitale che produce i dispositivi digitali, con particolare attenzione ai data center e alla produzione di semiconduttori. Questa sezione evidenzia come l'infrastrutturazione digitale comporti un rilevante impatto territoriale e ambientale, spesso ignorato o sottovalutato. Analizzando criticamente i processi di produzione e i loro effetti socio-ecologici, il capitolo mira a chiarire ulteriormente

la reale portata della nocività digitale, delineando le implicazioni materiali e geografiche delle tecnologie digitali.

Il capitolo 5 approfondisce l'analisi dei costi umani e ambientali derivanti dalle catene di produzione delle tecnologie digitali, ponendo l'accento sulle condizioni lavorative precarie e sulle gravi implicazioni ecologiche. In questo contesto, un elemento centrale per comprendere le forme attuali di disuguaglianza è rappresentato dal 'razzismo ambientale', un concetto che permette di connettere le disuguaglianze ecologiche con quelle razziali, sociali ed economiche. L'espressione 'razzismo ambientale' descrive quella forma di ingiustizia sistemica in cui comunità marginalizzate – spesso definite da appartenenze razziali, etniche o di classe – sono esposte in modo sproporzionato a rischi ambientali, sanitari e tossici. Non si tratta di una distribuzione casuale degli impatti, bensì di un modello strutturale che concentra le fonti di inquinamento e degrado nelle aree abitate da popolazioni con minore potere politico, economico e rappresentativo (Bullard 1990; Bullard 1993; Pellow, Park 2002). Attraverso casi emblematici come quello delle miniere artigianali nella Repubblica Democratica del Congo (RDC) e dei poli manifatturieri asiatici, l'analisi evidenzia l'intreccio strutturale tra sfruttamento umano e degrado ambientale che caratterizza la produzione digitale globale. La natura transnazionale di questa filiera, estesa dai territori estrattivi del Sud globale fino alle piattaforme logistiche e manifatturiere del Sud-est asiatico, mostra come il capitalismo digitale contemporaneo si regga su forme sistemiche di disuguaglianza sociale ed ecologica.

Il capitolo 6 approfondisce il concetto di 'digitarchia' e le sue implicazioni come forma emergente di governo e organizzazione del capitalismo digitale globale. Attraverso l'analisi delle dinamiche geopolitiche, dei sistemi di certificazione *conflict-free* – i quali certificano la provenienza di una materia prima da zone prive di conflitto – e dei modelli di capitalismo cosiddetto verde, questo capitolo evidenzia come le tecnologie digitali siano utilizzate per esercitare controllo e influenzare la governance socio-ecologica. L'approfondimento include casi studio significativi, come quello dell'industria high-tech di Taiwan, mostrando le tensioni e le contraddizioni tra sviluppo economico, diritti dei lavoratori e giustizia ambientale. L'obiettivo è fornire una comprensione critica e dettagliata di come il potere digitale strutturi e rafforzi le disuguaglianze globali contemporanee.

2 **La nocività digitale e il contesto planetario: tesi, quadro teorico e strumento analitico**

Sommario 2.1 Il contesto planetario: Antropocene, Capitalocene e limiti planetari. – 2.2 Definire la nocività: oltre la deindustrializzazione, verso il digitale. – 2.3 Disvelare la materialità: *fisiosfere*, *antroposfere* e la frattura metabolica del digitale. – 2.4 La matrice M-E-L-G della nocività digitale: uno strumento analitico. – 2.5 Il nesso inestricabile lavoro-ecologia nel capitalismo digitale.

2.1 Il contesto planetario: Antropocene, Capitalocene e limiti planetari

Per abbracciare appieno le dinamiche sociali, ecologiche, materiali, culturali, produttive e politiche alla base dell'infrastrutturazione digitale e per comprenderne la portata sistemica, diviene indispensabile collocare l'analisi nel più ampio e pressante contesto dell'epoca geologica e socio-ecologica attuale: l'Antropocene. Questo concetto – proposto in origine dai chimici Paul Crutzen e Eugene Stoermer (2021) all'inizio del XXI secolo e successivamente sviluppato e dibattuto da numerosi scienziati (geologi, ecologi, climatologi), storici, sociologi e pensatori ambientalisti e filosofi – descrive l'era in cui l'attività umana è divenuta la principale forza geofisica in grado di alterare i sistemi terrestri su scala planetaria, superando l'influenza delle forze naturali e spingendo il pianeta verso nuovi stati di equilibrio o, più probabilmente, di squilibrio e instabilità, con un'accelerazione marcata a partire dalla metà del XX secolo.

L'Antropocene non è semplicemente un'epoca di grandi cambiamenti ambientali; è un periodo caratterizzato da profonde interazioni e squilibri tra le componenti del sistema Terra, spesso spinte oltre i punti di non ritorno. L'impronta umana è ormai misurabile nella stratigrafia geologica del pianeta, dalle scorie radioattive derivanti dai test nucleari ai residui plastici diffusi globalmente, dai cambiamenti nella composizione atmosferica (aumento della CO₂ e altri gas serra) alle alterazioni nella distribuzione delle specie vegetali e animali. In questo contesto, la riflessione sui «limiti planetari» (*planetary boundaries*) offre una lente critica indispensabile per analizzare le dinamiche tra società e ambiente. Si tratta di una cornice sviluppata da Johan Rockström e un consorzio internazionale di scienziati nel 2009, con l'obiettivo di delineare uno «spazio operativo sicuro» per l'umanità all'interno del quale è possibile mantenere la stabilità degli ecosistemi terrestri e garantire condizioni adatte alla sopravvivenza e al benessere delle società umane (Rockström et al. 2009). Questo approccio si fonda sull'idea che il sistema Terra sia caratterizzato da una serie di processi ambientali interconnessi e regolati da meccanismi di feedback complessi, che, se alterati oltre determinate soglie critiche, possono portare a cambiamenti bruschi, non lineari e potenzialmente irreversibili. Tali cambiamenti minacciano non solo la stabilità ecologica del pianeta, ma anche le basi materiali e sociali su cui poggiano le comunità umane. Il quadro dei limiti planetari identifica nove processi chiave che regolano la resilienza del sistema Terra (Steffen et al. 2015):

- Cambiamento climatico, misurato attraverso la concentrazione atmosferica di CO₂ e il riscaldamento globale.
- Perdita di biodiversità (o integrità della biosfera), valutata in termini di tasso di estinzione delle specie e integrità degli ecosistemi.
- Alterazione dei cicli biogeochimici, in particolare quelli dell'azoto e del fosforo, legati all'uso intensivo di fertilizzanti in agricoltura e ad altri processi industriali e agricoli.
- Acidificazione degli oceani, risultante dall'assorbimento di CO₂ da parte delle acque marine.
- Uso del suolo, con particolare attenzione alla deforestazione e alla conversione di ecosistemi naturali in terreni agricoli o urbanizzati.
- Deplezione dell'ozono stratosferico, che protegge la Terra dalle radiazioni ultraviolette nocive.
- Carico di aerosol atmosferici, che influisce sulla qualità dell'aria e sul clima.
- Introduzione di nuove entità (inquinamento chimico), legato all'introduzione di sostanze tossiche e persistenti nell'ambiente (plastica, metalli pesanti, inquinanti organici persistenti, ecc.).

- Ciclo globale dell'acqua dolce, con riferimento all'uso eccessivo, alla contaminazione e alle modifiche nella disponibilità delle risorse idriche continentali.

Secondo gli studi più recenti, diversi di questi limiti sono già stati superati o sono a grave rischio. Ad esempio, il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità hanno raggiunto livelli critici, con implicazioni profonde per la stabilità degli ecosistemi e la sicurezza alimentare globale. Allo stesso modo, l'alterazione dei cicli dell'azoto e del fosforo ha portato a fenomeni come l'eutrofizzazione delle acque dolci e marine, con conseguenze devastanti per la biodiversità acquatica e i servizi ecosistemici (Richardson et al. 2023). Questi superamenti non solo minacciano la stabilità ecologica, ma hanno anche ripercussioni socioeconomiche, accentuando disuguaglianze e vulnerabilità, specialmente nelle comunità più marginalizzate e in quelle regioni del mondo più esposte agli effetti dei cambiamenti ambientali. Inoltre, il concetto di limiti planetari è stato integrato in iniziative globali come gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) delle Nazioni Unite, fornendo una base scientifica per orientare le politiche ambientali e sociali verso la riduzione delle pressioni antropiche sul sistema Terra.

Vi è ormai un certo consenso sul fatto che l'alterazione profonda e accelerata dei ritmi e degli equilibri naturali non sia attribuibile genericamente all'azione umana, ma prenda avvio e si intensifichi con la rivoluzione industriale, trovando un'incredibile accelerazione a partire dal secondo dopoguerra. Per questo motivo, gli studiosi afferenti all'ecologia politica, tra cui il sociologo Jason W. Moore (2015), preferiscono utilizzare il termine «Capitalocene» anziché Antropocene, proprio a indicare come l'attuale crisi ecologica sia intrinsecamente legata non all'umanità in astratto, ma alle specifiche dinamiche storiche, economiche e di potere capitalistiche. L'ecologia politica fornisce una chiave interpretativa fondamentale per comprendere come le dinamiche estrattive nelle periferie globali siano funzionali alla concentrazione di risorse e servizi nelle aree urbane e nei centri di accumulazione capitalistica. Perciò, l'ecologia-mondo capitalocentrica (Moore 2015) si basa su una relazione intrinsecamente predatoria e di appropriazione della natura e del lavoro nelle periferie globali, ma anche nei centri, per utilizzare una terminologia tipica del Sistema/ecologia-Mondo.

Questo approccio evidenzia la necessità di analizzare le disuguaglianze ecologiche (l'impatto sproporzionato del degrado ambientale su certe popolazioni o regioni più marginalizzate) come parte integrante e inseparabile delle disuguaglianze economiche e sociali. I dibattiti in seno all'ecologia politica, così, hanno messo in luce le interconnessioni profonde e spesso nascoste tra capitale, lavoro, natura e società, analizzando i processi attraverso i quali il

capitalismo trasforma territori, lavoro e risorse naturali in strumenti per l'accumulazione e la valorizzazione del capitale. Parimenti, pongono una critica serrata alle narrative modernizzatrici alla base di certi progetti di sviluppo, in particolare in aree del mondo più svantaggiate. Ciò è particolarmente chiaro negli studi di Maura Benegiamo (2025), la quale ha indagato il conflitto tra investimenti agroindustriali su larga scala e comunità locali, in particolare quelle pastorali Peul nel Delta del Senegal, evidenziando le dinamiche di marginalizzazione ed esclusione e gli impatti sull'ecosistema locale che tali progetti comportano. Nello specifico, Benegiamo esplora il fenomeno del *land grabbing* – cioè l'accaparramento di terre, tendenzialmente agricole e situate nel Sud globale, da parte di investitori esteri – in relazione stretta col concetto di estrattivismo, interpretando questa dinamica come una forma di accumulazione per espropriazione che perpetua logiche coloniali e marginalizza le comunità locali. In questo contesto, emergono conflitti socio-ecologici che, al di là di processi di sfruttamento e marginalizzazione, possono creare spazi di resistenza e contestazione da cui emergono nuove forme di soggettività e relazioni con il territorio (Benegiamo 2025).

In sintesi, il concetto di Capitalocene offre un potente strumento per decostruire l'idea di un'umanità astratta come responsabile del disastro ambientale. Esso evidenzia, al contrario, le responsabilità storicamente-ecologiche situate di un sistema economico specifico, il capitalismo, nella trasformazione distruttiva dei rapporti tra società e natura.

2.2 Definire la nocività: oltre la deindustrializzazione, verso il digitale

Per comprendere appieno la nocività digitale è utile attingere alle riflessioni sviluppate in altri contesti di trasformazione socio-economica. Il concetto di nocività qui utilizzato trae origine, e al contempo si differenzia, dalle riflessioni sulla deindustrializzazione e sulla nocività cumulativa che hanno caratterizzato il dibattito sugli impatti sociali e ambientali della transizione da economie industriali. Tecnicamente, la nocività indica la proprietà di ciò che causa un danno. Alcuni studi sociologici hanno ampliato il campo sia semantico che epistemologico di tale concetto. Ad esempio, Lorenzo Feltrin e colleghi (2022) hanno argomentato che nel secondo dopoguerra, e in particolare nella fase di consolidamento del regime di produzione fordista in Italia, questo termine è stato sostanzialmente anche a livello politico dal movimento operaio, ampliandone così la portata. Nocività è arrivata così a indicare i danni indotti dalla produzione non solo alla vita umana (incidenti sul lavoro, malattie professionali, inquinamento diretto sulle comunità operaie) ma anche a quella

non-umana (emissioni industriali, inquinamento dei corpi idrici, degrado ambientale).

Gli effetti della nocività sulla salute dei lavoratori, come evidenziato in contesti quali Porto Marghera, sono stati rilevanti e multidimensionali (Feltrin, Sacchetto 2021). L'esposizione prolungata di lavoratori e lavoratrici a sostanze tossiche ha causato un'ampia gamma di patologie gravi, tra cui il cancro ai polmoni dovuto all'inalazione di gas e polveri, la silicosi (malattia polmonare cronica da polveri di silice) e l'asbestosi (patologia polmonare da amianto). Il cloruro di vinile monomero (VCM), in particolare, è stato collegato a casi di angiosarcoma epatico, una forma rara e letale di cancro al fegato. Si sono registrate anche malattie epatiche e dermatologiche da contatto con agenti chimici corrosivi, e gravi intossicazioni come l'avvelenamento da mercurio vaporizzato nelle unità di cloro-alcali, con effetti neurotossici. Parallelamente, l'organizzazione capitalistica del lavoro, caratterizzata da ritmi intensi, ripetitività, controllo pervasivo e alienazione, ha generato un profondo stress psicologico, portando a un aumento dei disturbi mentali tra i lavoratori, quali depressione e ansia. A ciò si aggiunge la mancanza di misure di sicurezza adeguate, che ha provocato frequenti incidenti, spesso mortali, nei luoghi di lavoro, con esplosioni, fughe di gas tossici e l'uso di macchinari pericolosi senza protezioni adeguate che hanno causato numerosi decessi e gravi ferite (Feltrin, Sacchetto 2021).

Altri studi, come quello di Davide Marchi sul distretto conciario della Valle del Chiampo (nel vicentino, in Veneto), hanno sottolineato la distribuzione diseguale della nocività nei luoghi di lavoro, con una forte segregazione della forza lavoro immigrata nelle mansioni più insalubri e degradanti (Marchi 2025).

La nocività, così, non solo ha compromesso la salute individuale dei lavoratori, ma ha avuto anche un impatto negativo sulle comunità circostanti e sull'ambiente. Le emissioni di gas tossici e polveri hanno contaminato l'aria (si stimava che 10.000 kg di polveri per chilometro quadrato cadessero ogni mese su Mestre e Marghera), mentre gli scarichi industriali inquinavano il suolo e le falde acquifere, rendendo le aree circostanti inadatte alla vita e alla coltivazione. La produzione di materiali non biodegradabili, come il PVC, ha inoltre generato enormi quantità di rifiuti difficili da smaltire, destinati a persistere nell'ambiente per lungo tempo. Di conseguenza, le comunità vicine, come Mestre e Marghera, hanno registrato tassi di tumori tra i più alti in Italia, attribuiti all'inquinamento industriale, e un aumento di malattie respiratorie e patologie croniche tra la popolazione locale (Feltrin, Sacchetto 2021).

Un aspetto cruciale della nocività industriale, e una delle sue più insidiose manifestazioni, è stata la sua monetizzazione, cioè compensare i rischi per la salute e l'esposizione a condizioni nocive con indennità economiche aggiuntive, senza affrontare le cause

profonde del danno. Questo approccio ha perpetuato le condizioni nocive, trattando la salute e il benessere dei lavoratori come una merce negoziabile, una mera variabile nel calcolo del profitto, piuttosto che un diritto inalienabile. Le lotte dei lavoratori di Porto Marghera, e di altri contesti industriali, hanno cercato di denunciare e contrastare questa logica, proponendo soluzioni radicali come la riduzione del tempo di lavoro e la trasformazione qualitativa della produzione, orientata verso un sistema più sostenibile e basato sui bisogni collettivi, e non sul profitto a ogni costo (Feltrin, Sacchetto 2021).

Questa comprensione della nocività è stata estesa ed evoluta nel concetto di «deindustrializzazione nociva» (*noxious deindustrialization*), usato da Lorenzo Feltrin e Gabriela Julio Medel (2023) nel contesto dell'economia estrattivista del Cile, in particolare l'area industriale di Quintero-Puchuncaví. La deindustrializzazione nociva descrive una situazione paradossale ascrivibile al dilemma lavoro-ambiente, in cui una comunità subisce la perdita di posti di lavoro industriali dovuta a fattori come automazione, delocalizzazioni (*outsourcing*) e barriere di qualificazione senza perdere l'industria stessa, continuando a sopportare i gravi danni ambientali e sociali associati (Feltrin et al. 2022). Questo fenomeno è caratterizzato da una combinazione di declino dell'occupazione manifatturiera e accumulazione di nocività, che include inquinamento persistente, rischi per la salute, crescente precarietà lavorativa e indebolimento dei legami comunitari. Inoltre, è strettamente legato alla modalità di inserimento delle aree colpite nella divisione internazionale del lavoro e della nocività, riflettendo gerarchie globali basate su capacità tecnologiche, livelli salariali e degrado ambientale. Le comunità prossime alle aree industriali continuano a subire gli impatti negativi dell'inquinamento, mentre il contratto sociale che in passato bilanciava benefici economici e rischi ambientali si erode progressivamente.

Il concetto di deindustrializzazione nociva così aggiorna la visione del «dilemma lavoro-ambiente» (Räthzel, Uzzell 2011; Hyde, Vachon 2019), mostrando che la perdita di posti di lavoro e il degrado ambientale possono non solo coesistere, ma verificarsi simultaneamente e rafforzarsi a vicenda in contesti geografici, produttivi e socio-culturali molto differenti tra loro. Il dilemma lavoro-ambiente rappresenta una profonda contraddizione che emerge nel sistema capitalistico - in particolare nelle aree industriali e nelle zone di sacrificio (Juskus 2023) ubicate soprattutto nel Sud Globale, ma con situazioni sempre più rilevanti anche nel Nord Globale, come dimostra ad esempio il caso italiano dell'acciaieria Italsider/(ex)Ilva di Taranto (Barca, Leonardi 2018; Leonardi 2023) - dove la necessità di garantire occupazione si scontra con l'urgenza di tutelare la salute umana e l'integrità dell'ambiente

(Boyd, Orellana 2022). Questa contraddizione si manifesta in due aspetti principali. Il primo riguarda la dipendenza dal lavoro nocivo: le industrie, in particolare quelle estrattive e manifatturiere pesanti, costituiscono spesso l'unica o la principale fonte di occupazione in determinate aree. Offrono posti di lavoro e salari che, sebbene a volte relativamente alti per i dipendenti diretti, sono intrinsecamente legati a gravi impatti ambientali e sanitari. Questo pone lavoratori e lavoratrici in una posizione difficile, trovandosi a dover difendere queste fabbriche per preservare il proprio reddito e la propria sussistenza, accettando di fatto condizioni di lavoro nocive e rischi per la propria salute.

Il secondo aspetto è l'urgenza di proteggere salute e ambiente: queste stesse industrie sono responsabili di un massiccio inquinamento, che include emissioni tossiche nell'aria e contaminazione di suolo e acque, oltre a un aumento significativo di malattie come cancro e problemi respiratori tra i lavoratori e le comunità circostanti. Per questo motivo, le comunità locali e gli attivisti ambientalisti denunciano questi danni e chiedono interventi radicali, che possono includere la chiusura delle unità più pericolose o una profonda trasformazione della produzione (Feltrin, Sacchetto 2021; Feltrin et al. 2022; Feltrin, Julio Medel 2023). Il dilemma emerge proprio dal fatto che il sistema presenta questa situazione come una scelta binaria: o si ha lavoro, accettandone la nocività, o si tutela l'ambiente, con il rischio di perdere i posti di lavoro. Tuttavia, si tratta di una falsa dicotomia imposta dalle logiche capitalistiche.

La nocività digitale, sebbene si manifesti con forme e dinamiche specifiche legate alla sua natura tecnologica e al contesto del capitalismo contemporaneo, eredita e riproduce le dinamiche pocanzi delineate. Essa non si limita ai danni diretti e visibili, ma include anche gli impatti sistemici e spesso nascosti sulla salute di lavoratori e lavoratrici, sulla coesione sociale (attraverso la precarizzazione e l'alienazione), sull'ambiente naturale nel suo complesso lungo le catene del valore. La nocività digitale, quindi, è la manifestazione di come le logiche di produzione e consumo dell'era digitale, guidate dal profitto e dalla crescita illimitata, generino danni multidimensionali e cumulativi, esternalizzando costi e rischi. Questo avviene in un quadro culturale e simbolico che struttura la percezione della realtà fondato sull'idea di un mondo interamente accessibile, controllabile, disponibile e senza attriti, cioè l'immaginario del «mondo a domicilio» (Borghi 2021). L'accessibilità totale e controllabile da casa è resa possibile dalla sincronizzazione di infrastrutture materiali e dell'esperienza, nascondendo però le profonde contraddizioni socio-ecologiche generate dall'estrazione incessante di valore (dati personali, sfruttamento lavorativo, impatto ambientale). La connettività diventa così il codice unificante di questa realtà distorta, che radicalizza la «contraddizione socio-riproduttiva», come definita

da Nancy Fraser (2017), estendendola alla crisi della riproduzione della vita stessa, sia umana che non umana, in un contesto di crescita infinita insostenibile (Borghi 2021). Tali logiche sono quelle che guidano la «società dell'esternalizzazione» (Lessenich 2019; 2023), per cui le società occidentali prosperano grazie alla sistematica esternalizzazione dei costi sociali, economici ed ecologici verso altre regioni del mondo o verso gruppi sociali marginalizzati. Questo processo non è un effetto collaterale del sistema, ma una sua caratteristica intrinseca, che permette ai Paesi ricchi di mantenere il proprio benessere a spese degli altri, creando una forma di «cecità strutturale» nelle società occidentali, che tendono a ignorare o minimizzare le conseguenze delle loro azioni altrove (Lessenich 2019).

In questo contesto, il concetto di nocività digitale dialoga con quello di «modo di vita imperiale» (*imperial mode of living* – IML) sviluppato da Ulrich Brand e Markus Wissen (2021), con i quali si indicano le pratiche produttive e i modelli di consumo predominanti nella vita quotidiana nei paesi del Nord Globale. Sono tre i pilastri fondamentali del modo di vita imperiale: l'appropriazione illimitata delle risorse, la dipendenza da manodopera a basso costo e la trasparenza ridotta delle condizioni di produzione per i consumatori finali. Questi aspetti si riflettono, ad esempio, nell'estrazione industriale, dove tecnologie come la robotizzazione e i sistemi di geolocalizzazione non solo aumentano l'efficienza produttiva, ma consolidano anche un controllo centralizzato da parte delle aziende transnazionali. Arboleda (2020) osserva come questa concentrazione di potere economico e tecnologico approfondisca le disuguaglianze sociali e ambientali, trasformando i territori estrattivi in nodi strategici di un sistema globale di accumulazione che riproduce le logiche coloniali. Ma ciò vale, come vedremo nel capitolo 5 e nel capitolo 6, anche per la produzione di semiconduttori e dell'elettronica di consumo in nodi chiave come Taiwan e la Cina. Un aspetto particolarmente critico dell'IML concerne la capacità di mascherare i costi sociali ed ecologici della produzione dietro una narrativa di progresso e modernizzazione. Questo permette di perpetuare le pratiche estrattive sia industriali che artigianali senza affrontare le conseguenze sistemiche. Tuttavia, come suggerito dagli stessi autori, superare queste contraddizioni richiede un approccio trasformativo che ponga al centro la giustizia sociale e ambientale, ridefinendo i rapporti di produzione e consumo su scala globale.

Dunque, il concetto di nocività digitale intende esprimere proprio la frattura dell'equilibrio tra quelle che abbiamo definito *fisiosfere* e *antroposfere* (le quali, come vedremo nel prossimo paragrafo, indicano rispettivamente l'insieme integrato di tutti gli elementi naturali del pianeta Terra e l'insieme delle attività umane e delle loro influenze sul pianeta), il superamento dei limiti planetari e

l'alterazione del ricambio organico tra attività umane e Natura nel quadro del capitalismo digitale. Così, diventa centrale l'idea che la Natura, il sistema Terra, non siano composti da materia meramente inerte; al contrario, le risorse naturali non sono semplici oggetti preesistenti, pronti all'uso e a buon mercato, bensì il risultato complesso di processi di riproduzione sociale e ambientale che ne determinano il valore, l'accesso e la disponibilità (Barca 2020).

2.3 Disvelare la materialità: *fisiosfere, antroposfere* e la frattura metabolica del digitale

Per comprendere l'impatto del digitale è utile osservare le relazioni tra le sfere che compongono il sistema Terra. Esse si possono dividere in sfere naturali, o *fisiosfere*, e sfere antropiche, o *antroposfere*.¹ La *fisiosfera* (dal greco *physis*, natura), abbraccia sia le componenti biotiche (viventi) che abiotiche (non viventi) e include il ciclo del carbonio, vale a dire il processo attraverso il quale il carbonio – cioè la molecola alla base della vita per come la conosciamo – viene interscambiato tra le quattro sfere che regolano il funzionamento terrestre: atmosfera, biosfera, litosfera (o geosfera), idrosfera. I cambiamenti climatici che si sono susseguiti nel corso delle epoche sono interrelati a tale ciclo.

Ad un certo punto della storia planetaria e umana, l'alterazione del ciclo del carbonio ha smesso di dipendere solamente da cause naturali. Le attività produttive umane e capitalistiche hanno iniziato a incidere in maniera sempre più rapida, profonda e consistente, causando un disequilibrio rilevante del sistema Terra. Tra gli esiti più evidenti e drammatici di questa alterazione troviamo, ad esempio, il surriscaldamento climatico, l'acidificazione degli oceani e la scomparsa di numerose specie viventi. Entra così in gioco l'*antroposfera* (dal greco *anthropos*, uomo) e le sue specifiche componenti o sfere di attività: la tecnosfera (infrastrutture tecnologiche e industriali), l'infosfera (sistemi di informazione e comunicazione), l'agrosfera (attività agricole), la noosfera (de Chardin 2011) (cioè la sfera del pensiero umano e la sua azione sul pianeta), l'ergosfera (Renn 2020) e, in generale, tutti gli ambiti in cui l'azione umana interagisce con l'ambiente naturale. Secondo Renn, il concetto di ergosfera è cruciale perché,

1 Questa distinzione non vuole riproporre l'ormai criticata dicotomia Natura-cultura/società, ma segue piuttosto le recenti prospettive dell'ecologia politica, degli *environmental labour studies* e della filosofia che hanno dimostrato l'artificialità di tale separazione analitica ed epistemologica. La divisione qui operata ha un mero compito descrittivo, il cui tentativo è quello di agevolare la lettura della complessità.

While the technosphere concept stresses that most humans lack the potential to influence the behavior of large technological systems, the ergosphere concept makes this possibility dependent on the existence of appropriate social and political structures and knowledge systems, and also on the individual perspectives of human actors. (Renn 2020, 383)

L'*antroposfera* e la *fisiosfera* non sono entità indipendenti e separate, ma formano un rapporto dialettico, complesso e di mutua interazione nel quadro del sistema Terra, in cui le dinamiche tra sistemi naturali e antropici si influenzano e co-evolvono. Questa interazione è fondamentale per comprendere e affrontare le sfide ambientali globali contemporanee, offrendo un quadro integrato per l'analisi interdisciplinare delle interazioni tra l'umanità e l'ambiente naturale. Ad esempio, la tecnosfera, intesa come l'insieme delle infrastrutture tecniche per l'estrazione, la trasformazione e distribuzione di energia, materiali e beni, irrompe nei tempi dei cicli naturali, alterando negativamente i processi biofisici fondamentali come il ciclo del carbonio. L'insieme delle tecnologie dell'informazione che compongono l'infosfera intervengono in questa dinamica non solo per la sorveglianza dei lavoratori e per il controllo del processo produttivo, ma anche come metrica - e, quindi, misurazione, valutazione e standardizzazione - dell'organizzazione del lavoro e della produttività sociale in generale (Pasquinelli 2023). Queste agiscono come macchine di mediazione tra capitale e lavoratori di

intelligence, knowledge, the know-how of the production process. This kind of intelligence belongs to both manual and mental work, to explicit and tacit knowledge; it is the know-how that also emerges from the unconscious movements and 'micro-decisions' that workers continuously make during the production process. (Pasquinelli 2022, 21)

La sociologia si rivela una disciplina utile per comprendere le conseguenze socio-ecologiche delle tecnologie digitali nel gioco di sfere appena descritto. Essa, infatti, è stata foriera di concetti come quello di «frattura metabolica», sviluppato da John Bellamy Foster (1999; 2022) a partire dalle intuizioni di Marx ed Engels. Questo concetto indica l'alterazione, la rottura o la discontinuità delle interazioni metaboliche tra società e natura, che nel capitalismo porta all'esaurimento delle risorse e al degrado ambientale, impedendo il necessario «ricambio organico» tra attività umane e processi naturali.

Secondo il sociologo dell'ambiente Dario Padovan (2018), le crisi economica ed ecologica globali sono profondamente interconnesse, originate principalmente dalla crescente scarsità di energia e

materie prime, un fattore che incide negativamente sul tasso di profitto globale del capitale. Egli evidenzia come la diminuzione della «fertilità naturale del capitale» – un concetto marxiano che descrive la capacità del capitale di assorbire lavoro vivo – sia una causa diretta della riduzione dei profitti. L'autore propone una nuova prospettiva sulle relazioni tra energia, lavoro e valore, suggerendo che un maggiore impiego di energia a fronte di una minore quantità di lavoro vivo stia portando a una crisi nella dialettica tra capitalismo e natura. Questa carenza di risorse materiali, che fungono da 'assorbitori' di lavoro vivo, ha conseguenze significative sulla generazione di valore e profitto, influenzando negativamente la valorizzazione del lavoro. La scarsità di risorse materiali, infatti, incide direttamente sulla capacità del capitale di valorizzare il lavoro, un processo fondamentale per la sua riproduzione. In tal senso, le risorse materiali, come energia e materie prime, sono concepite come lavoro morto che assorbe il lavoro vivo.

Padovan (2018) interpreta il concetto marxiano di lavoro astratto anche da un punto di vista energetico, vedendolo non solo come un'organizzazione socio-storica, ma anche come uno strumento trans-storico per la gestione dello scambio metabolico tra società e natura, capace di generare e conservare valore nelle condizioni capitaliste di produzione e scambio. L'energia, per Padovan, è cruciale per il funzionamento delle società capitaliste, influenzando la produzione, la distribuzione e il consumo. La sua crescente scarsità, insieme a quella delle materie prime, minaccia la sostenibilità del sistema, alimentando la crisi ecologica e il calo del tasso di profitto. Lavoro ed energia sono concetti intrinsecamente interconnessi: il lavoro, definito da Marx come l'espressione dell'energia umana applicata alla produzione, trasforma energia e materia in valore, e la produttività del lavoro è direttamente correlata al consumo energetico. L'energia è la capacità di indurre cambiamenti e trasformare sistemi, e la sua interazione con il lavoro, mediata da relazioni sociali e infrastrutture tecniche, determina come le risorse naturali vengono utilizzate e valorizzate. Questo legame materiale tra società e natura è un aspetto centrale per comprendere la crisi della 'fertilità naturale del capitale' e la sua incapacità di assorbire sufficiente lavoro vivo a causa della diminuzione delle risorse fossili e materiali, spingendo verso la ricerca di manodopera a basso costo.

Questa cornice, insieme al concetto di Moore (2015) di Capitalocene, permette di inquadrare le tecnologie digitali come perpetuatrici di modelli storici di estrattivismo e iper-sfruttamento nell'ambito dei rapporti socio-ecologici dell'ecologia-mondo capitalista. Nell'era digitale, questa frattura si manifesta nell'estrazione di minerali per i dispositivi digitali, nelle enormi richieste energetiche e idriche dei data center e per la produzione di chip, nelle forme di lavoro iper-sfruttato e forzato lungo le catene produttive e nel flusso

globale di rifiuti elettronici, principalmente verso le regioni più marginalizzate. Questi processi esternalizzano sistematicamente i danni socio-ecologici (che comprendono dunque lo sfruttamento delle risorse umane e naturali), invisibilizzandoli.

2.4 La matrice M-E-L-G della nocività digitale: uno strumento analitico

Il digitale, nella sua complessità e pervasività contemporanea, non può essere compreso attraverso l'esame isolato delle sue singole parti o dimensioni, dei suoi effetti sull'utente finale o dei suoi impatti parziali su specifici settori. È necessario uno strumento concettuale, euristico, capace di disvelare le interconnessioni profonde, le dinamiche di retroazione e gli intrecci tra le sue diverse manifestazioni materiali, energetiche, lavorative e di governo. Questo strumento, centrale nell'impianto analitico del presente studio, è la matrice M-E-L-G della nocività digitale.



Figura 1 Diagramma della nocività digitale.
Fonte: elaborazione dell'Autore

La matrice M-E-L-G non si configura come un mero elenco di problematiche associate al digitale, bensì come un modello euristico dinamico, concepito per visualizzare e analizzare la rete complessa, dinamica e interdipendente di relazioni tra dimensioni fondamentali del metabolismo socio-tecnico che definisce l'era digitale nel contesto del capitalismo e dell'Antropocene (Moore 2015; Foster 2022). Questo metabolismo, inteso come l'insieme dei processi che regolano il flusso bidirezionale di materia, energia, lavoro e informazione tra il sistema digitale (in quanto componente sempre più dominante dell'*antroposfera*) e l'ambiente biofisico (le *fisiosfere*), è plasmato e diretto da specifiche logiche di potere e di governo. La matrice è composta da quattro dimensioni interconnesse, ciascuna delle quali contribuisce in modo significativo alla generazione e perpetuazione della nocività digitale: materia, energia, lavoro e governo.

La 'materia' si riferisce all'insieme delle risorse fisiche, minerali, metalliche e fossili, la cui estrazione, lavorazione, trasporto, utilizzo e gestione a fine vita sono indispensabili per l'esistenza, la produzione, il funzionamento e la dismissione dell'hardware, del software e delle infrastrutture digitali. Contrariamente all'illusione di immaterialità del *cloud* o del virtuale, ogni dispositivo (smartphone, laptop, tablet, smart TV, sistemi di IA), ogni server nei data center, ogni chilometro di cavo di rete (in fibra ottica, sottomarino, cavi di rame per le reti tradizionali) ha una base materiale tangibile, massiccia ed estremamente complessa (Crawford 2021; Sissa 2024; Monserrate 2022). Questa base – al pari del primo capitalismo industriale e delle sue evoluzioni storiche – richiede l'estrazione di un'ampia e crescente gamma di minerali, in quantità che aumentano proporzionalmente alla diffusione e all'intensificazione dell'uso del digitale. Si va dalle terre rare come il lantanio per le batterie, il neodimio e il disprosio per i magneti di hard disk e altoparlanti, essenziali per i display, i magneti e i componenti elettronici miniaturizzati, al litio, cobalto e nichel indispensabili per le batterie ricaricabili agli ioni di litio che alimentano la mobilità digitale, i veicoli elettrici e l'immagazzinamento di elettricità da fonti rinnovabili, al rame per l'eccellente conduttività elettrica nei cavi e nei circuiti stampati, all'oro, argento e platino utilizzati per le connessioni ad alta affidabilità nei componenti elettronici, fino ai derivati del petrolio impiegati per la plastica degli involucri e come fonte primaria di energia per l'intera filiera produttiva (Pitron 2023; Smil 2021). L'estrazione di queste materie prime è un processo ad alta intensità di risorse (acqua, energia, uso del suolo) e con impatti ambientali significativi, spesso localmente devastanti e globalmente rilevanti, frequentemente concentrato in specifiche regioni del globo caratterizzate da fragilità ecologica, elevata biodiversità e/o debolezza istituzionale e tensioni socio-politiche.

L'energia' concerne l'ingente, in costante crescita e sempre più problematico consumo energetico richiesto dall'infrastrutturazione

digitale nella sua interezza. Questo consumo si estende ben oltre l'energia utilizzata per caricare i nostri dispositivi personali o alimentare le reti domestiche. Include l'energia necessaria per l'estrazione e la lavorazione delle materie prime (processi spesso altamente energivori e termici che richiedono temperature estreme), per la produzione e l'assemblaggio dell'hardware in fabbriche ad alta intensità energetica (come le sofisticate, dispendiose e idrovore fonderie di semiconduttori, gli impianti di produzione di display e circuiti stampati, e gli impianti di assemblaggio), fino all'alimentazione continua e massiccia di data center e reti di telecomunicazione (IEA 2023; Malmodin et al. 2024; Gelenbe 2023). I data center costituiscono un polo di consumo in rapida espansione, trainato da IA, big data, cloud e streaming (IEA 2025); una quota rilevante dell'energia è assorbita dai sistemi di raffreddamento necessari a dissipare il calore generato dalle apparecchiature ad alta densità operativa.

L'impronta energetica del digitale è quindi significativa e in costante aumento, e la sua dipendenza storica e attuale dai combustibili fossili (carbone, gas naturale, petrolio) contribuisce in modo sostanziale e diretto alle emissioni di gas serra. Anche la transizione verso fonti energetiche rinnovabili per alimentare il settore digitale, pur essendo una direzione necessaria e positiva, presenta sfide complesse legate all'impatto ambientale della produzione delle infrastrutture energetiche stesse (uso del suolo per impianti fotovoltaici ed eolici, estrazione di materiali critici per pannelli solari, turbine eoliche e batterie di storage) e, soprattutto, alla gestione della domanda energetica intrinsecamente crescente del settore digitale, che rischia di superare i guadagni di efficienza energetica dei singoli componenti e delle infrastrutture, vanificando o rallentando significativamente gli sforzi complessivi di decarbonizzazione globale (Lange, Santarius 2020).

Il 'lavoro' si focalizza sul lavoro umano – spesso invisibile, precario, mal retribuito, ipersfruttato, pericoloso, alienante e sistematicamente svalutato – che rende possibile l'esistenza, il funzionamento, la manutenzione e l'evoluzione dei sistemi digitali in ogni loro aspetto. La narrazione dominante del digitale spesso enfatizza l'automazione avanzata, l'intelligenza artificiale, l'innovazione algoritmica e l'efficienza tecnologica come motori primari del progresso, occultando o minimizzando il ruolo cruciale e spesso non riconosciuto del lavoro umano lungo l'intera catena del valore digitale (Casilli 2025; Pasquinelli 2022). Questo include il lavoro manuale e spesso pericoloso nelle miniere per l'estrazione delle materie prime (spesso svolto in condizioni di sfruttamento estremo, senza sicurezza adeguata, con impiego diffuso di lavoro minorile e in contesti di conflitto), il lavoro ripetitivo, estenuante e alienante nelle fabbriche per la produzione e l'assemblaggio dell'hardware (Fuchs 2014; Andrijasevic, Sacchetto 2017; Pun

et al. 2015;), i lavoratori ‘spossessati’ della loro conoscenza nella logistica digitale di Amazon (Delfanti 2021), il lavoro dei moderatori di contenuti online e degli addestratori di algoritmi di intelligenza artificiale, spesso esternalizzato in paesi con basso costo del lavoro, mal pagato, svolto in condizioni psicologicamente gravose e logoranti a causa dell’esposizione continua e non filtrata a contenuti violenti, offensivi, discriminatori o traumatici, e privo delle tutele basilari proprie del lavoro standard (Casilli et al. 2025); il lavoro nella *gig economy*, caratterizzato da precarietà estrema, controllo algoritmico pervasivo che determina compiti, tempi e retribuzioni, retribuzioni variabili e spesso insufficienti a garantire un reddito dignitoso, e mancanza quasi totale di tutele proprie del lavoro dipendente, come ferie pagate, indennità di malattia, assicurazione contro gli infortuni, contributi pensionistici, diritto di associazione (Antunes 2023; Marrone 2021; Peterlongo 2023; Woodcock, Graham 2019). Questo lavoro è la linfa vitale nascosta che alimenta l’intero sistema digitale.

Infine, la dimensione del ‘governo’ del digitale, qui concettualizzata come «digitarchia» (Pirina 2022), non si limita alla tradizionale governance statale o alle regolamentazioni pubbliche. Essa rappresenta piuttosto la forma di governo, il principio organizzativo e il sistema di potere che regola, organizza, dirige, orienta e legittima l’interazione tra le altre dimensioni fondamentali della matrice. Non si tratta solo del potere economico e politico concentrato nelle mani di poche, gigantesche corporazioni tecnologiche globali (le Big Tech, GAFAM, ecc.), sebbene esse ne siano le principali incarnazioni, attori e beneficiarie. Si tratta piuttosto delle logiche fondamentali che guidano lo sviluppo, la diffusione, l’implementazione e l’utilizzo pervasivo del digitale: la ricerca incessante e prioritaria del profitto, la crescita esponenziale, illimitata e spesso autoreferenziale come imperativo categorico e auto-rinforzante, l’accumulazione e il controllo dei dati – la nuova risorsa strategica primaria – come fondamento del capitalismo della sorveglianza, e il consolidamento del controllo sulle infrastrutture digitali e sui mercati per mantenere e rafforzare posizioni dominanti e quasi-monopolistiche (Srnicsek 2016; Zuboff 2019; Alimahomed-Wilson, Reese 2020). È la digitarchia, attraverso le decisioni strategiche prese negli uffici direzionali delle aziende dominanti, i modelli organizzativi adottati, la sua capacità di influenzare profondamente le normative nazionali e internazionali (o di operare in vuoti normativi strategici creati *ad hoc*) e l’allocazione preferenziale delle risorse (materiali, energetiche, umane, finanziarie), che struttura il modo in cui materia, energia, lavoro interagiscono nel capitalismo digitale e, in ultima analisi, genera e perpetua la sua nocività sistemica. La digitarchia è, in questa prospettiva, parte integrante e motrice della nocività digitale, poiché i costi sociali ed ecologici (sfruttamento del lavoro, inquinamento, esaurimento delle risorse, disuguaglianze crescenti) vengono sistematicamente

esternalizzati sulla collettività, sull'ambiente e sulle popolazioni più vulnerabili del pianeta, mentre i profitti derivanti dallo sfruttamento delle altre dimensioni vengono massimizzati, privatizzati e concentrati nelle mani di pochi attori dominanti.

Il mutuo rapporto tra le dimensioni della matrice restituisce la più ampia contraddizione socio-ecologica e il nesso lavoro-ecologia, considerando quindi l'iper-sfruttamento de lavoro e l'impatto ecologico complessivo, multidimensionale e di lungo termine del digitale sull'ecosistema terrestre e sui suoi processi biofisici, andando ben oltre la semplice misurazione dell'impronta di carbonio. Utilizzare la matrice della nocività digitale come strumento analitico permette quindi di superare le visioni parziali, dicotomiche e riduzioniste (es. concentrarsi solo sulla dipendenza da smartphone, sul consumo energetico finale dei data center) e di comprendere il digitale come un sistema complesso e integrato le cui manifestazioni di nocività sono intrinsecamente legate alla sua struttura materiale, energetica, lavorativa e alle logiche di governo (la digitarchia) che lo definiscono e lo orientano. Tanto più che la nocività digitale è intrinsecamente legata al modello economico dominante di produzione e consumo dei prodotti digitali, un modello lineare e basato sull'usa e getta, con cicli di vita sempre più brevi a causa dell'obsolescenza programmata e simbolica, un modello insostenibile che culmina nella problematica e crescente gestione dei rifiuti elettronici (*e-waste*). Questi ultimi rappresentano un flusso globale e in costante crescita di materiali complessi, spesso contenenti sostanze tossiche e pericolose, che, se non gestiti correttamente con processi di riciclo efficienti, etici e sicuri, rappresentano al contempo uno spreco enorme di risorse preziose incorporate e una grave minaccia ambientale e sanitaria per le popolazioni e gli ecosistemi, in particolare nei contesti di smaltimento e riciclo informale, spesso situati nel Sud globale (Gabrys 2011; ITU, UNITAR 2024).

2.5 Il nesso inestricabile lavoro-ecologia nel capitalismo digitale

Come accennato, un assunto centrale del libro è il seguente: il dominio delle grandi *corporations* del capitalismo digitale, sia Occidentali che asiatiche, si traduce in un dominio, diretto e indiretto, sul lavoro e sulla natura. Lungi dall'essere un ambito aprioristicamente 'verde' o 'immateriale', la transizione digitale, ad oggi, è sostenuta da una «propagazione digitale» (Pirina 2022) marcata indelebilmente da una rilevante quota di degradazione del lavoro, quindi anche delle condizioni psicofisiche e sociali della classe «che-vive-del-lavoro» (Antunes 2018) e della natura.

Questo diventa evidente nel momento in cui si considera il digitale non come un fenomeno meramente tecnologico, ma come un'industria globale organizzata su scala planetaria – appunto, come capitalismo digitale – in cui persistono e si rafforzano una pluralità di modi di produzione e di sfruttamento organizzati sulla base di una 'divisione internazionale del lavoro digitale', cioè l'insieme delle forme che assumono le forze produttive, lo sfruttamento e i modi di produzione articolazioni nel capitalismo digitale (Fuchs 2014; Fisher, Fuchs 2015). Come nel caso della deindustrializzazione, anche per la digitalizzazione e per l'industria elettronica che ne costituisce la spina dorsale manifatturiero-industriale, è necessario parlare di nocività. È ormai noto da diversi decenni che l'industria elettronica, la quale produce una serie di dispositivi che oggi fanno parte della quotidianità di miliardi di persone e che permettono di fruire di sempre più servizi digitali, è una delle più nocive a livello globale per quanto riguarda sia le condizioni di lavoro che l'impatto sull'ambiente naturale (Pellow, Park 2002; Williams, Ayres, Heller 2002; Smith, Sonnenfeld, Pellow 2006; Chiu 2011).

Il nesso lavoro-ecologia si concentra precisamente sull'interazione intrinseca tra iper-sfruttamento del lavoro e danno ambientale lungo le catene di produzione e del valore delle tecnologie digitali. Queste ultime sono costellate da un lavoro digitale definibile come 'fossilizzante', un termine che richiama quello di «lavoro fossile» di Patrick Whitmarsh (2023) – studioso di *environmental humanities* – col quale definisce un doppio senso di sfruttamento, prima coloniale e poi ambientale, il cui punto di incontro sono le risorse fossili. Il passaggio dall'aggettivo 'fossile' al participio presente 'fossilizzante' permette una più chiara lettura della simultaneità e del divenire dei processi in atto. L'espressione lavoro digitale fossilizzante assume così una valenza potente ed evocativa: esso descrive il lavoro lungo le catene di approvvigionamento globali che sostengono il mondo digitale nel quadro dei sistemi «petroculturali» (Wilson et al. 2017), i quali continuano a dipendere strutturalmente dall'energia fossile, anche quando le fonti energetiche sembrano rinnovabili, a causa delle logiche estrattive e di sfruttamento insite nel sistema (Malm 2016; Raman 2013).

Il lavoro digitale fossilizzante si manifesta in molteplici forme: l'estrazione di minerali, come cobalto e coltan nella RDC, che coinvolge lavoratori (spesso inclusi bambini) che operano in condizioni pericolose e sotto coercizione armata per paghe misere (sebbene, come vedremo, migliori rispetto a quelle derivanti dal lavoro agricolo e di sussistenza), terre rare in Cina e litio tra Cile, Bolivia e Argentina, con impatti devastanti sugli ecosistemi locali. Questi minerali sono essenziali per la produzione di componenti come condensatori, GPS, schermi di smartphone e laptop, oltre che per magneti e batterie sia dell'elettronica di consumo che di automobili elettriche. Inoltre, i

lavoratori delle fabbriche nei paesi del Sud-Est asiatico assemblano questi dispositivi rispettando rigide scadenze di produzione e per una paga minima, sottoposti a condizioni estremamente stressanti con orari di lavoro eccessivi, sorveglianza costante e insufficienti garanzie sanitarie e di sicurezza (Chan 2013; Chan et al. 2022).

Il nesso lavoro-ecologia sottolinea inoltre l'interconnessione strutturale tra degrado ambientale e disuguaglianza socio-economica, riecheggiando dinamiche di razzismo ambientale, colonialismo digitale e tecno-colonialismo (Kwet 2019; Madianou 2019; Hughes 2024). L'estrazione delle risorse nel Sud globale devasta gli ecosistemi, sposta le comunità, alimenta conflitti e genera inquinamento, mentre il lavoro a basso salario nei centri manifatturieri e nelle economie delle piattaforme esacerba la precarietà e le disuguaglianze sociali. Le foreste disboscate per l'estrazione rilasciano carbonio immagazzinato, contribuendo alle emissioni globali di gas serra, mentre il commercio globale di minerali si basa su una logistica ad alta intensità energetica, dal trasporto via nave o aereo alla raffinazione industriale. Basandosi su manodopera a basso costo ed esternalizzando i costi ambientali, questi sistemi creano ciò che Malm (2016) descrive come una 'soluzione spazio-temporale' (*spatio-temporal fix*) per il capitalismo, estendendo la sua praticabilità spingendo i costi ecologici e sociali su comunità marginalizzate e generazioni future. Quanto scritto pocanzi si lega strettamente alla critica della dematerializzazione e alla comprensione del digitale non solo come infrastruttura materiale o strumento di sfruttamento lavorativo ed ecologico, ma anche come sistema di metrica. Il capitalismo digitale, inteso anche come metrica, è composto da una molteplicità di dispositivi, strumenti e piattaforme atti a misurare, quantificare e creare modelli e standard non solo relativamente al tempo e al processo lavorativo e produttivo (come nel taylorismo digitale o nel controllo algoritmico dei fattorini), ma anche alla riproduzione sociale, alle interazioni umane e, più in generale, alla vita quotidiana. Questa capacità di misurazione e standardizzazione si fonda sull'estrazione massiccia di dati, che a sua volta richiede l'infrastruttura materiale ed energetica descritta dalla matrice della nocività digitale. L'infosfera, così, non agisce solo per il controllo ma anche per la valorizzazione del *know-how* dei lavoratori, trasformandolo in dati capitalizzabili (Pasquinelli 2022). Inoltre, come ha posto in evidenza il campo di studi su lavoro e ambiente (*Environmental Labour Studies*) e gli studi critici sui media (*Critical Media Studies*), la preoccupazione per l'estensione del colonialismo tramite un insieme di pratiche tecnico-discorsive che quantificano, governano e mettono a valore gli elementi naturali mediante sensori, modelli e metriche evidenzia come l'estrazione digitale non si limiti più a dati o corpi umani, ma inglobi gli stessi elementi naturali – vento, suolo, calore – trasformandoli in asset economici e informativi mediante reti di sensori, modelli predittivi e infrastrutture di

cloud computing (Bresnihan, Brodie 2023; Parikka 2015). In questo scenario, il colonialismo digitale riconfigura territori e popolazioni in nodi di valore data-centrico, ricalcando gerarchie coloniali esistenti: le torbiere irlandesi diventano «batterie» di carbonio per centri-dati, l’oceano Pacifico un dissipatore termico per il cloud, mentre metriche di sostenibilità aziendale legittimano appropriazioni di terra e risorse che marginalizzano comunità indigene (Couldry, Mejias 2019).

L’espressione «i bit sono atomi» (Marrone, Pirina, Peterlongo 2021) assume così una duplice e potente valenza, la quale supporta in modo cruciale la critica alla totale dematerializzazione che deriverebbe, secondo certe visioni, dalle tecnologie digitali, mantenendo il *file rouge* dato dal nesso lavoro-ecologia. La prima valenza ha a che fare direttamente con la natura: «i bit sono atomi» esprime l’ineludibile necessità della trasformazione profonda e su larga scala della natura affinché i bit, sineddoche della società digitale nella sua forma attuale, possa esistere. Il secondo aspetto, altrettanto cruciale, è dato dalle modalità e dai mezzi attraverso i quali tale trasformazione della natura può avvenire e si realizza, nel quadro specifico del modo di produzione capitalistico, dove lo sfruttamento del lavoro e della natura riveste una primaria e strutturale importanza.

Tabella 1 Descrizione sintetica di materie prime critiche e materie prime strategiche (UE). Fonte: elaborazione dell’Autore a partire dal Regolamento (UE) 2024/1252; Commissione europea, Critical Raw Materials Act: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252.

Tipologia materia prima	Descrizione
Materia prima critica (<i>Critical Raw Materials</i> – CRMs)	Materie prime non energetiche e non agricole con elevata importanza economica per l’UE e alto rischio di approvvigionamento. L’elenco è aggiornato periodicamente e oggi comprende 34 voci.
Materia prima strategica (<i>Strategic Raw Materials</i> – SRMs)	Sottoinsieme delle CRMs, ritenute cruciali per tecnologie strategiche della transizione verde e digitale, difesa e spazio. Attualmente sono 17.

Si pensi, ad esempio, all’impatto delle attività minerarie, siano esse ad alto tasso tecnologico o meno, si riflette anche sulle comunità locali. Ad esempio, l’estrazione di quelle che sono definite come materie prime ‘critiche’ e materie prime ‘strategiche’ comporta impatti ambientali e sociali complessi, che possono avere conseguenze negative dal punto di vista sociale e ambientale, quali la desertificazione di vaste aree, l’inquinamento di aria, acqua e suolo e l’esaurimento di risorse idriche da cui dipendono le comunità locale in prossimità delle aree estrattive (Crawford 2021; Kaunda 2020). Un

caso emblematico è il litio, entrato negli ultimi anni nella lista delle materie prime sia ‘critiche’ che ‘strategiche’ dell’Unione Europea per la sua applicazione in ambiti chiave come le tecnologie ‘verdi’ abilitanti la transizione energetica.

Tabella 2 Elenco materie prime strategiche. Fonte: European Commission 2023.

Materia Prima Strategica	Note/Specifiche
Bauxite/Allumina/Alluminio	-
Bismuto	-
Boro	Grado metallurgico
Cobalto	-
Rame	-
Gallio	-
Germanio	-
Litio	Grado batteria
Magnesio metallico	-
Manganese	Grado batteria
Grafite	Grado batteria
Nichel	Grado batteria
Metalli del gruppo del platino	(PGM)
Elementi delle terre rare per magneti permanenti	(Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm, e Ce)
Silicio metallico	-
Titanio metallico	-
Tungsteno	-

Tabella 3 Elenco materie prime critiche. Fonte: European Commission 2023.

Materia Prima Critica	Note/Specifiche
Antimonio	-
Arsenico	-
Bauxite/Allumina/Alluminio	-
Barite	-
Berillio	-
Bismuto	-
Boro	-
Cobalto	-
Carbon Coke	-
Rame	-
Feldspato	-
Fluorite	-
Gallio	-
Germanio	-

2 • La nocività digitale e il contesto planetario

Materia Prima Critica	Note/Specifiche
Afnio	-
Elio	-
Elementi delle terre rare pesanti	-
Elementi delle terre rare leggere	-
Litio	-
Magnesio	-
Manganese	-
Grafite	-
Nichel	Grado batteria
Niobio	-
Fosforite	-
Fosforo	-
Metalli del gruppo del platino	-
Scandio	-
Silicio metallico	-
Stronzio	-
Tantalio	-
Titanio metallico	-
Tungsteno	-
Vanadio	-

Ciò vale anche per l'industria elettronica e digitale. Come ben documentato da Pitron (2023), ogni anno la prima assorbe circa il 6% della domanda mondiale di oro (circa 300 tonnellate) e il 20% di quella d'argento (circa 7000 tonnellate). Il digitale assorbe anche una quota significativa delle materie prime 'critiche' e 'strategiche', tra cui i metalli rari prodotti a livello globale: il 15% del palladio, il 40% del tantalio, il 41% dell'antimonio, il 42% del berillio, il 66% del rutenio, il 70% del gallio, l'87% del germanio e l'88% del terbio.

3 Il mito digitale e le sue basi socio-materiali e culturali

Sommario 3.1 Il digitale, tra mito e realtà. – 3.2 L'atomica, Jurij Gagarin, le controculture e Apple: le radici del mito digitale. – 3.3 Una società dell'informazione e post-industriale? – 3.4 L'invisibilità culturale della materialità digitale – 3.5 Amazon Capitalism: logistica, potere e nocività. – 3.6 Iper-connettività patologica. – 3.7 Digitarchia e il mito del digitale.

3.1 Il digitale, tra mito e realtà

La digitalizzazione rappresenta due cose differenti, ma correlate: la conversione dell'informazione dal formato analogico o fisico a quello digitale (in inglese, *digitisation*) e la permeazione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (*Information and Communication Technologies* - ICTs) nell'economia, ma più in generale negli ambiti sociali, inclusi i sistemi energetici (*digitalisation*) (IEA 2017). Basandoci sull'etimologia, il termine digitale deriva dal latino *digitus*, cioè dito. Pensiamo al verbo digitare, il quale indica la pressione esercitata con le dita su uno schermo con le dita. Un'ulteriore derivazione etimologica è dall'inglese *digit* (cifra). Da un punto di vista meramente tecnico-informatico, il digitale indica la rappresentazione dell'informazione attraverso una sequenza numerica binaria 0 e 1.

Sia la derivazione latina *digitus* che quella inglese *digit* servono come punto di partenza etimologico per descrivere la concatenazione

di eventi che si innesca premendo lo schermo di uno smartphone. Il clic e la risposta del dispositivo che ne consegue, infatti, non avvengono nel vuoto; al contrario, vi sono delle condizioni di esistenza e delle conseguenze senza la quali l'interazione che si crea non potrebbe esistere. Inviare un semplice messaggio ha comportato, tra le altre cose: un enorme consumo di *energia* elettrica dovuto al funzionamento del complesso infrastrutturale; la movimentazione di ingenti quantità di *materia* che compone i dispositivi, i manufatti, le singole componenti, le infrastrutture ecc.; il *lavoro* intellettuale e manuale di progettazione, assemblaggio, manifattura, riparazione e manutenzione delle tecnologie digitali. Come sottolineato da Nick Couldry e Anna McCarthy (2004) ormai più di venti anni fa, la virtualità, nonostante la sua apparente minore dipendenza da materialità e spazio, è in realtà l'esito di uno sviluppo diseguale: i cambiamenti apportati al mondo occidentale sono inevitabilmente legati alle trasformazioni delle condizioni di vita e di esistenza in altre parti del mondo.

Il termine digitale è evocativo di un immaginario tecno-soluzionista e quasi-religioso (Mosco 2004) che, se da un lato ha riguardato le varie innovazioni tecnologiche succedutesi nel corso del tempo, dall'altro con il digitale ha assunto dimensioni esponenziali. In questo immaginario si tende a risaltare la dimensione creativa del lavoro e dell'innovazione legata al digitale, con una tendenza a reificare quest'ultimo e renderlo una «scatola nera» (*black box*) (Pasquale 2015). L'evoluzione delle tecnologie digitali è avvenuta all'interno di una cassa di risonanza che ne ha enfatizzato le qualità positive – che pure esistono e sono sostanziali – estromettendo, però, quanto di controverso comporta la loro implementazione nella società. Esiste, quindi, un'ambiguità di fondo, per cui l'invisibilità delle basi materiali, culturali e dei processi di produzione delle tecnologie digitali viene confusa con una loro immaterialità, a indicare quasi l'assenza di peso della digitalizzazione (Gillespie et al. 2014:). Tuttavia, non si tratta di una dimensione o solo virtuale o solo fisica, ma «digitale» (dall'unione di fisico e digitale) (Tse, Pun 2024) e cyber-fisica (Fuchs 2018).

La cosiddetta rivoluzione digitale, perciò, è parte di un'ideologia espressione di un certo modo di immaginare il mondo derivante dalla Silicon Valley. Gabriele Balbi (2022), ad esempio, ha argomentato criticamente che la rivoluzione digitale non è solo un cambiamento tecnico o tecnologico, ma un fenomeno ideologico che influisce profondamente sulla società. Secondo l'autore, la digitalizzazione promuove valori specifici come l'innovazione, l'efficienza e la trasparenza, presentandosi come una forza inevitabile e positiva. L'ideologia della rivoluzione digitale assume forme che riecheggiano e amplificano una sorta di eccezionalismo delle innovazioni, ovvero un'idea per cui l'innovazione tecnologica sia sempre positiva e inevitabile, omettendo i costi sociali ed economici e le disuguaglianze

che emergono dalla trasformazione digitale (Mosco 2004; 2014; Balbi 2022; Brevini 2021; Pirina 2022). Ad esempio, dagli anni Settanta, con gli sviluppi nel campo della microelettronica e delle tecnologie della comunicazione e dell'informazione, sono state coniate espressioni come rivoluzione del silicio, età dell'informazione, rivoluzione del computer, volte a sottolineare il carattere di rottura, un prima e un dopo, di specifiche innovazioni. Ed effettivamente la loro applicazione ha avuto effetti strutturali nei decenni successivi. Pensiamo al silicio. La sua importanza è stata talmente grande da definire un'area geografica e il suo specifico modello economico-produttivo: appunto, la Silicon Valley. L'applicazione di questo materiale nell'industria dei semiconduttori, in particolar modo per la produzione di *wafer*¹ e di transistor per la creazione di circuiti integrati ha senza dubbio supportato l'espansione dell'industria elettronica e, di conseguenza, digitale (Miller 2024).

Tuttavia, questo eccezionalismo serve a promuovere e giustificare l'adozione delle nuove tecnologie come inevitabile e aprioristicamente positiva, estromettendo la complessità e le contraddizioni sociali che le accompagnano. Inoltre, esprime una funzione politica e sociale, che riproduce specifici rapporti di potere. La terminologia utilizzata nell'alveo di tale eccezionalismo legittima, in linea con un approccio quasi-religioso, il potere delle grandi aziende tecnologiche, che si presentano come benefattori globali e pionieri del progresso; oscurano le implicazioni negative della tecnologia, come l'aumento della sorveglianza, la perdita di posti di lavoro e le nuove forme di esclusione sociale; promuovono l'idea di inevitabilità, facendo sembrare impossibile opporsi ai cambiamenti tecnologici proposti dalle grandi corporations, o discutere alternative.

La 'grande accelerazione' digitale iniziata negli anni Novanta è avvenuta in mutua relazione con l'espansione delle reti globali di comunicazione, il boom dei dispositivi elettronici e l'aumento della produzione di dati (Castells 1996; Brynjolfsson, McAfee 2014). Questo fenomeno, tuttavia, non si discosta completamente da percorsi precedenti. Basti pensare all'attuale rete in fibra ottica, che segue spesso i percorsi tracciati dai cavi telegrafici installati tra il XIX e il XX secolo (Lehdonovitra 2022). Ogni tecnologia incorpora in qualche modo i rapporti sociali, le asimmetrie di potere, le gerarchie, i pregiudizi, le contraddizioni che caratterizzano il modo di produzione dell'epoca nella quale essa è sorta.

Per comprendere appieno la pervasività dell'immaginario dell'immaterialità digitale, non è sufficiente analizzarne le dimensioni infrastrutturali e ideologiche interne al sistema produttivo e

¹ Un wafer è una sottile 'fetta' circolare di materiale semiconduttore, solitamente silicio, che serve da substrato per la fabbricazione di circuiti integrati, ovvero i microchip che alimentano tutti i dispositivi elettronici.

tecnologico. Occorre anche interrogarsi sulle matrici culturali che, in maniera apparentemente paradossale, hanno contribuito a consolidare tale immaginario. In particolare, le ideologie libertarie e i movimenti controculturali emersi negli Stati Uniti a partire dagli anni Sessanta hanno avuto un ruolo decisivo nel promuovere una visione del digitale come spazio autonomo, libero da vincoli materiali e istituzionali, capace di esprimere pienamente la creatività e la libertà individuale. Questi orientamenti, pur nati in opposizione ai centri di potere tradizionali, hanno finito per alimentare l'idea di un cyberspazio dematerializzato, favorendo così la narrazione di un digitale leggero e disincarnato, su cui si è poi innestata l'ideologia tecno-utopista promossa dall'industria tecnologica.

3.2 L'atomica, Jurij Gagarin, le controculture e Apple: le radici del mito digitale

La storia della cibernetica e delle tecnologie digitali comprende numerosi personaggi eclettici, visionari (o sedicenti tali) provenienti in particolar modo dagli Stati Uniti, tendenzialmente ricchi araldi della nascente industria informatica, che sono entrati in contatto o che hanno fatto parte dei movimenti controculturali di quel paese. John Perry Barlow è sicuramente uno di questi. Sebbene l'origine del termine cyberspazio sia da attribuire, nel 1984, a William Gibson col suo romanzo *Neuromancer*, è grazie a Barlow se questo termine ha conosciuto fortuna al di fuori della fantascienza. La sua è stata una figura chiave nel movimento per le libertà digitali e uno dei fondatori negli anni Novanta della Electronic Frontier Foundation (EFF), un'organizzazione non-profit tuttora esistente impegnata nei diritti civili dei *netizen*, i cittadini della rete (Lehdonvirta 2022). La sua opera più celebre in questo campo è la «Dichiarazione di indipendenza del Cyberspazio» del 1996, un manifesto per un Internet libero da interferenze governative. Nella visione di Barlow, il cyberspazio si presenta in opposizione a quelle che lui definisce istituzioni del mondo materiale, rappresentando in maniera emblematica un certo utopismo cibernetico o tecnologico per cui le tecnologie digitali sarebbero produttive di una realtà priva delle costrizioni e dei pregiudizi del mondo materiale. Qui di seguito un estratto della dichiarazione:

Governi del Mondo Industriale, stanchi giganti di carne e acciaio, io vengo dal Cyberspazio, la nuova casa della Mente. A nome del futuro, vi chiedo del passato di lasciarci soli. Non siete i benvenuti tra noi. Non avete sovranità dove ci riuniamo [...].

Stiamo creando un mondo in cui tutti possano entrare senza privilegi o pregiudizi legati alla razza, al potere economico, alla forza militare o alla posizione di nascita.

Stiamo creando un mondo in cui chiunque, ovunque, possa esprimere le proprie convinzioni, per quanto singolari, senza temere di essere costretto al silenzio o al conformismo.

I vostri concetti legali di proprietà, espressione, identità, movimento e contesto non si applicano a noi. Sono tutti basati sulla materia, e qui non c'è materia.² (Barlow 1996; trad. dell'Autore)

Prima di Barlow, Richard Stallman, una figura di spicco nel mondo dell'informatica, fondò nel 1985 il movimento del software libero (*Free Software Foundation*).³ La sua idea di software libero si basava su quattro libertà. La prima libertà (*Freedom 0*) consente di eseguire il programma per qualsiasi scopo, senza restrizioni, garantendo all'utente pieno controllo sull'uso del software. La seconda libertà (*Freedom 1*) permette di studiarne il funzionamento e modificarlo in base alle proprie esigenze, condizione resa possibile solo con l'accesso al codice sorgente. La terza libertà (*Freedom 2*) autorizza a ridistribuire copie del programma, originale o modificato, promuovendo la condivisione e la solidarietà tra utenti. Infine, la quarta libertà (*Freedom 3*) consente di migliorare il software e condividere pubblicamente tali miglioramenti, favorendo il progresso collettivo e impedendo che le innovazioni rimangano confinate a usi privati. Stallman sostenne con fermezza queste libertà in opposizione al modello del software proprietario, il quale, negando tali diritti, instaura un rapporto di subordinazione tra sviluppatore e utente. In tale dinamica, quest'ultimo si trova in una posizione di vulnerabilità, costretto ad accettare condizioni imposte senza possibilità di verifica o intervento. Al contrario, il software libero promuove un paradigma basato sulla trasparenza, sulla collaborazione e sull'*empowerment* degli utenti, valori che riflettono una visione etica e politica della tecnologia come bene comune (Free Software Foundation 2002).

I presupposti del digitale, tuttavia, non nascono recentemente con l'elettronica di consumo, i movimenti per il software libero e le piattaforme digitali, ma affondano le radici negli anni Quaranta del XX secolo, specificatamente nell'apparato militare-industriale-accademico statunitense, sorto nell'area che successivamente prese il nome di Silicon Valley. È qui, infatti, che nasce l'elaborazione dei dati mediante il computer (*computing*), grazie

² Il documento originale è disponibile al seguente indirizzo: <https://www.eff.org/it/cyberspace-independence>.

³ Per maggiori informazioni sul software si veda: <https://www.fsf.org/>; <https://stallman.org/>.

agli ingenti sostegni governativi ai laboratori durante la Seconda Guerra Mondiale. Successivamente, nell'aprile del 1961 avvenne un fatto storico che avrebbe avuto ripercussioni decisive nei decenni a venire: l'Unione Sovietica, con il programma spaziale Vostok 1, mandò il primo uomo - Jurij Gagarin - nello spazio, aprendo così quella che negli annali venne definita come corsa allo spazio. Questo evento ebbe una rilevanza inedita non solo per la dimensione scientifica, ma per i risvolti geopolitici che ne seguirono. La fase dell'esplorazione spaziale portò con sé un'accelerazione negli investimenti tecnologici, in particolar modo degli Stati Uniti, e della competizione tra questi ultimi e l'Unione Sovietica. Come ha scritto lo storico dell'economia Miller:

Il programma spaziale sovietico produsse una crisi di fiducia in tutta l'America. Il controllo dello spazio avrebbe avuto conseguenze militari serissime. Gli Stati Uniti si consideravano una superpotenza scientifica, ma ora sembravano rimasti indietro. Washington lanciò un programma intensivo per mettersi in pari con i razzi e missili sovietici e il presidente John F. Kennedy dichiarò che gli Stati Uniti avrebbero spedito un uomo sulla Luna. (Miller 2024, 41)

La corsa allo spazio e il progetto dell'allunaggio a cavallo tra gli anni Sessanta e Settanta poterono essere realizzati solo attraverso l'incremento della produzione di razzi spaziali, il cui monitoraggio delle attività avrebbe previsto un computer in grado di svolgere operazioni complesse e in gran numero. A questo scopo, la NASA appaltò al MIT *Instrumentation Lab* il compito di creare il computer che avrebbe reso possibili le Missioni Apollo (Miller 2024). Negli stessi anni e sempre nel contesto della sicurezza militare, i più importanti laboratori di ricerca universitari statunitensi progettaron l'ARPAnet - l'archetipo di Internet - per conto dall'Advanced Research Projects Agency (ARPA), come necessità dell'apparato militare di de-territorializzare, velocizzare e criptare la condivisione di informazioni sensibili mediante una rete informazionale basata sui computer (Hughes 2000). La corsa allo spazio e l'infrastrutturazione - sia in termini di materie prime e strumentazione che di conoscenza - hanno rappresentato un mercato di lancio senza precedenti dei semiconduttori, in particolare dei chip, con ingenti finanziamenti governativi da parte degli USA (Miller 2024).

In questo stesso periodo - tra gli anni Cinquanta e Settanta - si consolidano movimenti contro-culturali come il *Free Speech Movement*, il *New Communalism* e il *Whole Earth Network*, i quali proponevano una società alternativa a quella chiusa dei laboratori e degli apparati burocratici di controllo poc'anzi richiamata, che, secondo la visione di tali movimenti, inibiva il libero sviluppo della

coscienza individuale. Tuttavia, se da un lato la gestione degli enormi finanziamenti governativi era di tipo burocratico-verticistico, d'altro canto l'organizzazione interna ai laboratori militari era basata su cooperazione, orizzontalità, reti di saperi e pratiche e contaminazione delle competenze. Le controculture hanno fatto proprie queste forme relazionali, applicando a loro modo la metafora computazionale - cioè i meccanismi cibernetici e della teoria dei sistemi - alla società (Turner 2006). All'epoca i computer - i primi *mainframe* realizzati da IBM - simboleggiavano il potere industriale e la complessità tecnologica, in quanto macchine mastodontiche riservate a governi e grandi aziende. Un cambiamento sostanziale avvenne con l'introduzione del personal computer (PC). In particolare, il 1984 segnò un momento cruciale: il lancio del *Macintosh* da parte di Apple rappresentò non solo un'innovazione tecnica, ma anche un atto politico e culturale, volto a democratizzare l'accesso alla tecnologia e incarnare lo spirito libertario delle controculture degli anni Sessanta e Settanta. Come notato da Turner (2006), la Silicon Valley fu il crocevia di un'ibridazione tra ingegneria e le visioni utopistiche della controcultura californiana.

Le visioni utopistiche del digitale, definite da Morozov (2011) come «utopismo cibernetico», incarnano un'ambivalenza: da un lato promettono libertà e connessione globale, dall'altro ignorano i costi materiali e sociali della loro implementazione. Gli esiti sono stati concreti, poiché l'egemonia culturale - riecheggiata dagli araldi politici e della comunicazione di massa - ed economica della Silicon Valley ha indirizzato le pratiche organizzative, di consumo, la progettazione, la regolazione e l'uso dell'ecosistema digitale. D'altronde, le innovazioni tecnologiche, specie in ambito digitale ed elettronico, spesso ricadono in una visione escatologica che le investe di una funzione risolutiva dei mali che affliggono il mondo. Per estensione, gli inventori, i creatori di tali tecnologie, diventano i salvatori della modernità come «moderni cavalieri in armatura scintillante» (Pellow, Park 2002, 169; trad. dell'Autore; Marrone, Pirina, Peterlongo 2021).

Questo immaginario di democratizzazione tecnologica, che si presentava come una promessa di emancipazione, è stato così catturato e rimodellato dalle logiche del capitalismo digitale, seguendo traiettorie divergenti rispetto agli ideali incarnati originariamente, trasformando questi ultimi in strumenti per consolidare il controllo delle grandi corporations tecnologiche - le cosiddette GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft), oggi GAMAM, laddove Facebook è diventato parte di Meta - con le loro specifiche pratiche organizzative e manageriali e le forme di controllo e gestione del lavoro.

3.3 Una società dell'informazione e post-industriale?

Le visioni utopiche e antigerarchiche di pionieri come Barlow o Stallman si sono rapidamente intrecciate con processi economici e istituzionali che hanno promosso una precisa idea di società: la cosiddetta società dell'informazione, la cui matrice storica si rintraccia negli Stati Uniti a cavallo tra gli anni Sessanta e Settanta, come risposta ideologica al modello sovietico e con l'obiettivo di delineare un futuro alternativo a quello comunista (Barbrook 2007). La Commission on the Year 2000, guidata da Daniel Bell, ne rappresenta una delle prime formulazioni: un paradigma post-industriale in cui il valore economico e sociale sarebbe derivato principalmente dalla produzione e dalla circolazione dell'informazione, piuttosto che da beni materiali (Bell 1973; Castells 1996). Questi «immaginari di rete» hanno avuto un impatto duraturo, influenzando percezioni, politiche e innovazioni – nonostante non si siano mai pienamente realizzati – sostenendo che le tecnologie dell'informazione e digitali avrebbero condotto a una democratizzazione dell'accesso al sapere, a una riconfigurazione degli spazi sociali oltre i confini geografici e a una nuova economia basata sulla conoscenza (Bory 2020). Le grandi aziende digitali hanno sviluppato narrazioni che incorporano l'immaginario della rete per legittimare il proprio ruolo e influenzare la percezione pubblica. Facebook, ad esempio, ha costruito la sua identità attorno all'idea di «rendere il mondo più aperto e connesso», laddove la «connessione è un diritto umano»,⁴ enfatizzando concetti come apertura, condivisione e strutture tra pari (*peer-to-peer*).

La visione eurocentrica della società dell'informazione è stata posta sotto scrutinio da studiosi critici, rivelandone i limiti tanto teorico-analitici quanto empirici (Dye-Whiteford 1999; Mosco 2004; Morozov 2011). La presunta dematerializzazione dell'economia si è infatti tradotta in nuove e più complesse forme di (iper) sfruttamento del lavoro (Fuchs 2014; Antunes 2018) e di dipendenza da infrastrutture materiali ed energetiche (Parikka 2015), mentre la promessa di democratizzazione ha lasciato il posto a forme inedite di sorveglianza ed estrazione di valore (Zuboff 2019). Più che rappresentare una rottura con le logiche industriali, la cosiddetta società dell'informazione appare così come l'ultima fase di un processo di ristrutturazione capitalistica in cui l'apparente immaterialità dei flussi informativi nasconde la crescente materialità delle sue infrastrutture tecnologiche e il loro impatto socio-ecologico (Cubitt 2017). In questa prospettiva, il concetto di società dell'informazione va dunque problematizzato come espressione di un immaginario

⁴ Sul tema dell'accesso gratuito a Internet, con il caso della ONG Internet.org in Zambia, si veda https://www.repubblica.it/tecnologia/2014/07/31/news/zuckerberg_internet_gratis_facebook_zambia-92803362/.

tecno-utopico che, mentre celebra le potenzialità emancipative delle nuove tecnologie, ha finito per legittimare nuove forme di precarietà, controllo e sfruttamento delle risorse naturali.

Se si esamina l'evoluzione dei settori produttivi negli ultimi due decenni, non emerge affatto una contrazione della manifattura nel suo insieme, confermando la critica posta già alla fine degli anni Novanta dalla sociologa Ursula Huws in merito a una supposta economia dei servizi 'senza peso'. Secondo l'*International Yearbook of Industrial Statistics 2024* dell'UNIDO, l'industria elettronica è oggi il comparto manifatturiero a crescita più rapida: la produzione di computer, apparecchi elettronici e strumenti ottici ha più che raddoppiato il proprio peso sul valore aggiunto manifatturiero mondiale, passando dal 6,5% nel 2002 al 14% nel 2022. Al contrario, l'industria mineraria ha registrato una stagnazione prolungata: l'indice globale di *mining and quarrying* è rimasto pressoché piatto dal 2015, con soli timidi recuperi post-pandemici e un incremento trimestrale inferiore allo 0,2% nelle economie avanzate (UNIDO 2024).

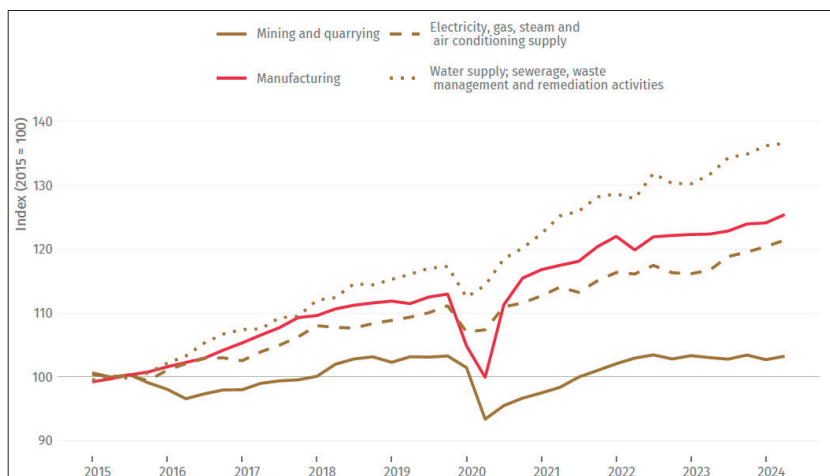


Figura 2 Indice globale della produzione industriale, per settore.
Fonte: UNIDO 2024

Alcuni dati empirici aiutano a ridefinire la società dell'informazione e post-industriale e il loro carattere eminentemente eurocentrico. Ad esempio, dal 1991 al 2023, l'occupazione nell'industria elettronica è cresciuta a un tasso di crescita annuale composto (CAGR) dell'1,72%. Durante questo periodo, il numero di lavoratori è aumentato costantemente, raggiungendo 17,4 milioni nel 2023, con una significativa crescita dell'occupazione femminile, che ha superato quella maschile nel 2017 e ha registrato un CAGR del 2,27%, rispetto

all'1,14% per gli uomini. La maggior parte dei lavoratori è concentrata in Asia e Pacifico, dove l'occupazione è cresciuta a un CAGR del 3,2%, mentre in Europa e nelle Americhe si è registrato un calo rispettivamente dell'1% e dell'1,2% (ILO 2024). Per quanto concerne in maniera specifica i semiconduttori, la produzione ha registrato una crescita significativa nel tempo, alimentata dalla crescente domanda di dispositivi elettronici e innovazioni tecnologiche. Nel 2021, le spedizioni globali di semiconduttori hanno raggiunto un record di 1.135,3 miliardi di unità, con un aumento del 13% rispetto all'anno precedente. Tra il 1995 e il 2015, l'innovazione nei semiconduttori ha contribuito direttamente a circa 3 trilioni di dollari del PIL globale e indirettamente a ulteriori 11 trilioni di dollari. Inoltre, il mercato dei semiconduttori nella regione Asia-Pacifico è cresciuto significativamente, passando da 39,8 miliardi di dollari nel 2001 a oltre 343 miliardi di dollari nel 2021, con la Cina che rappresenta il 35% del mercato globale (ILO 2024).

3.3.1 Il paradosso della 'nuvola' digitale: assemblaggi carbosiliconici e capitale cyber-fossile

Al cuore di queste trasformazioni operano gli assemblaggi «carbosiliconici» (*carbosilicon assemblage*) e il «capitale cyber-fossile», elaborati da Matteo Pasquinelli (2017; 2022), che evidenziano come l'intreccio storico e attuale tra energia fossile e sistemi computazionali sottenda i meccanismi di controllo globale, amplifichi le dinamiche estrattive e contribuisca alla crisi ecologica contemporanea.

Gli assemblaggi carbosiliconici descrivono la dipendenza reciproca tra combustibili fossili, che hanno alimentato la rivoluzione industriale, e le tecnologie computazionali, essenziali per la gestione dei flussi energetici e delle logistiche globali. Storicamente, i combustibili fossili hanno fornito l'energia necessaria per il lavoro meccanizzato, mentre i sistemi computazionali sono emersi come strumenti per ottimizzare l'estrazione, la distribuzione e il consumo energetico, creando un circuito di retroazione che perpetua la logica estrattiva del capitalismo fossile. Questa integrazione si manifesta in infrastrutture come ad esempio i data center, che consumano grandi quantità di energia, spesso proveniente da fonti fossili, e nei sistemi logistici globali, che dipendono da strumenti computazionali per massimizzare l'efficienza delle catene di approvvigionamento. Questi assemblaggi intensificano i costi ecologici e sociali nell'Antropocene: l'estrazione e la combustione di combustibili fossili devastano gli ecosistemi, mentre la produzione di componenti elettronici alimenta conflitti socio-politici, spesso concentrati nel Sud globale.

Il concetto di capitale cyber-fossile estende l'analisi del capitalismo fossile alle tecnologie digitali, dimostrando come le tecnologie computazionali ereditino e amplifichino la logica estrattiva del capitalismo fossile, mercificando non solo risorse naturali ma anche attività umane e interazioni sociali, trasformandole in dati monetizzabili. Proprio come il capitalismo fossile ha industrializzato il lavoro umano e naturale, il capitale cyber-fossile automatizza e quantifica l'attività umana, integrando i flussi di energia e informazione in un quadro unico di estrazione e controllo. Questo modello accentua la dipendenza dai combustibili fossili, come dimostrato dall'energia intensiva richiesta da tecnologie come l'intelligenza artificiale e le criptovalute, le cui operazioni portano a un aumento delle emissioni di carbonio. Inoltre, il capitale cyber-fossile consolida il potere in un'élite tecnocratica, presentando i sistemi computazionali come strumenti neutri o oggettivi, mentre in realtà riflettono e rafforzano le disuguaglianze esistenti. Questi sistemi, utilizzati per la governance energetica e ambientale, spesso privilegiano l'efficienza economica rispetto alla giustizia sociale ed ecologica.

I concetti di assemblaggi carbosiliconici e capitale cyber-fossile sfidano le narrazioni tecno-ottimistiche, sottolineando il ruolo delle tecnologie computazionali nel perpetuare pratiche estrattive e asimmetrie di potere. Essi richiedono un ripensamento delle relazioni tra lavoro, energia e informazione nell'Antropocene, evidenziando come il lavoro umano, sempre più mediato dai sistemi computazionali, venga astratto e invisibilizzato, rafforzando le disuguaglianze globali. Infine, queste analisi suggeriscono l'urgenza di sviluppare sistemi di governance alternativi che riducano la dipendenza dai combustibili fossili, affrontino i costi ambientali e sociali delle tecnologie digitali e promuovano decisioni più democratiche e sostenibili.

3.4 L'invisibilità culturale della materialità digitale

La materialità non comprende solo la mera materia o fisicità delle tecnologie digitali e non dovrebbe essere letta solo attraverso una lente economico-produttiva. Esiste infatti un'invisibilità culturale della materialità digitale, che rivela come i costi lavorativi e ambientali delle tecnologie digitali siano sistematicamente nascosti (Gabrys 2011). Questa invisibilità è perpetuata da pratiche di *greenwashing*, in cui le aziende tecnologiche oscurano gli impatti ecologici delle loro operazioni mentre commercializzano narrazioni di sostenibilità (Murdock, Brevini 2019). Come sottolineato da Benedetta Brevini (2021), l'Intelligenza Artificiale viene oggi presentata come una tecnologia 'intelligente' e sostenibile, ma questa retorica nasconde il fatto che essa amplifica disuguaglianze energetiche, riproduce dipendenze da fonti fossili e impone un feticismo ideologico

sull'automazione. Il 'green AI' è spesso più discorso che realtà. La nozione di *digital rubbish* (Gabrys 2011) è rilevante per estendere la critica alle pratiche di obsolescenza programmata e gestione dei rifiuti. Gabrys sostiene che il rapido ricambio dei dispositivi elettronici – guidato da incompatibilità software, aggiornamenti hardware e domanda dei consumatori – produce enormi quantità di rifiuti elettronici, i quali non sono un mero sottoprodotto dell'innovazione tecnologica ma una parte integrante del modello economico del capitalismo delle piattaforme, che privilegia il profitto rispetto alla sostenibilità. In altre parole, le tecnologie digitali e i media hanno limiti materiali poiché dipendono da risorse naturali finite. Sean Cubitt, studioso critico dei media, articola la critica all'immaterialità dei media digitali attraverso l'espressione *finite media* (2017). Per Cubitt, tale 'finitudine' dei media e della comunicazione si manifesta su tre livelli interconnessi: materiale, energetico e temporale. Sul piano materiale, i media digitali dipendono da risorse fisiche finite – come metalli rari, minerali rari (tra cui le terre rare) e combustibili fossili – la cui estrazione provoca devastazioni ambientali e disuguaglianze geopolitiche, soprattutto nei territori del Sud globale. Questa dipendenza radica i media nella fisicità del pianeta, in un sistema chiuso dove nulla è illimitato. A livello energetico, ogni atto di mediazione – dallo *streaming* di un video all'archiviazione di un documento nel *cloud* – implica un consumo di energia spesso prodotta da fonti non rinnovabili. La finitudine si esprime anche nella dimensione temporale ed entropica dei media: ogni dispositivo, formato o supporto è destinato al decadimento, all'obsolescenza pianificata e alla continua migrazione verso nuove tecnologie, con conseguenze esternalizzate alle generazioni future e alle regioni marginalizzate (Gabrys 2011; Cubitt 2017).

In questa ontologia dei media, i rifiuti elettronici rappresentano non solo l'inevitabile fine materiale dei dispositivi, ma anche il lato oscuro dell'economia digitale globale. Come scrive Cubitt, «the integration of degraded populations and integral waste into the consumer discipline of the new mode of destruction, most of all in the moment of disposal of superseded goods» (2017, 14) mostra come la dismissione dei media non sia mai neutra: essa implica lo smaltimento di oggetti resi rapidamente obsoleti – quelli che Cubitt definisce *superseded goods* – e la loro esportazione verso contesti sociali ed ecologici già vulnerabili. Queste merci sono dispositivi tecnologici progettati per essere superati: non semplicemente usurati dal tempo, ma attivamente resi inutili da nuove versioni e standard, in una dinamica che fa dell'obsolescenza un requisito strutturale del consumo digitale.

A ricevere questi oggetti scartati sono spesso le «popolazioni degradate» (*degraded populations*), cioè comunità, soprattutto nel Sud globale, che vengono coinvolte loro malgrado nella fase terminale

del ciclo di vita dei media. In discariche informali o siti di riciclaggio rudimentali, queste popolazioni smontano a mano, bruciano o interrano rifiuti elettronici tossici, senza protezioni né infrastrutture, esponendosi a gravi rischi sanitari e ambientali. La loro degradazione non è una condizione intrinseca, ma il risultato sistemico di un'economia globale che sposta la parte più tossica e distruttiva del ciclo digitale lontano dagli occhi di chi consuma. In questo modo, la finitudine dei media si manifesta anche come ingiustizia ambientale e disuguaglianza sociale: l'apparente smaterializzazione del digitale nei paesi più sviluppati si regge sul peso materiale che grava altrove, su altri corpi, altri suoli, altre vite (Cubitt 2017).

Inoltre, come illustrato da Richard Maxwell e Toby Miller (2012), ci sono i processi di produzione sporchi che sono alla base delle tecnologie mediatiche e digitali. Essi evidenziano come l'estrazione di materie prime, come i minerali delle terre rare, devasti gli ecosistemi locali, inquinino i sistemi idrici e spostino le comunità, specialmente nelle regioni ricche di risorse del Sud globale. Questi processi esternalizzano i costi ecologici e umani sulle popolazioni marginalizzate, peggiorando le disuguaglianze sistemiche che sostengono l'economia digitale. Il funzionamento ad alta intensità energetica delle tecnologie mediatiche, dai data center ai dispositivi personali, contribuisce anche in modo significativo al riscaldamento globale e al degrado ambientale, complicando gli sforzi per combattere il cambiamento climatico (Maxwell, Miller 2012). Un esempio cruciale a tal proposito sono i semiconduttori, tra cui i circuiti integrati (chip). La miniaturizzazione estrema dei chip, celebrata come un trionfo dell'ingegneria, maschera la scala massiccia delle infrastrutture industriali, dei flussi di materiali e dei consumi di risorse necessari per la loro fabbricazione. Questa discrepanza tra la dimensione fisica del prodotto finale e l'enormità del processo produttivo contribuisce a una sottostima diffusa, a livello sociale, dei reali costi ambientali associati.

Queste prospettive ci invitano perciò a ripensare radicalmente l'ontologia stessa dei media: non come canali immateriali di comunicazione, ma come oggetti finiti, situati e compromessi, la cui esistenza e obsolescenza sono inseparabili dalle reti politiche, ecologiche ed economiche che li producono e li distruggono (Cubitt 2017). La crescita del digitale è inscindibile da un processo di ri-materializzazione globale, dove energia, suolo e materie prime vengono assorbiti per sostenere una rete tecnologica apparentemente evanescente. Questo squilibrio tra visione immateriale e impatti materiali rende evidente il paradosso al cuore del capitalismo digitale: mentre l'innovazione è narrata come strumento di dematerializzazione ed efficienza, essa alimenta una nuova fase di estrattivismo energetico e territoriale, i cui costi vengono spesso esternalizzati verso il Sud globale e le generazioni future.

3.5 Amazon Capitalism: logistica, potere e nocività

È ora utile soffermarsi su un caso paradigmatico che incarna molte delle dinamiche del capitalismo digitale: Amazon. L'azienda fondata da Jeff Bezos rappresenta una forma estrema di integrazione tra sorveglianza digitale, logistica globale, potere di mercato e trasformazione del lavoro. Questa configurazione ha dato origine a quello che è stato definito 'Amazon Capitalism' (Alimahomed-Wilson, Reese 2020): una forma avanzata di capitalismo contemporaneo che integra in modo sistematico tecnologie digitali, sorveglianza, logistica globale e infrastrutture materiali, rappresentando al contempo una manifestazione concreta della digitarchia (Pirina 2022).

Prima l'immaginario della rete, poi quello del digitale e infine quello del «mondo a domicilio» (Borghi 2021) hanno favorito l'espansione della portata sociale delle imprese digitali a livelli senza precedenti. Questa crescita ha comportato non solo un'estensione del potere economico nelle mani di pochi attori, ma anche una progressiva influenza politico-istituzionale. Tra queste imprese, Amazon si impone come caso emblematico. Il suo modello si fonda su un ampio dominio in settori strategici, come il commercio elettronico, la logistica, e il *cloud computing*, con Amazon Web Services (AWS) che rappresenta una delle principali fonti di profitto (Antoccia et al. 2024). All'interno di questa architettura di potere, il rapporto con il lavoro riveste un ruolo centrale. Nei magazzini Amazon, i lavoratori sono sottoposti a ritmi di produzione estremamente serrati, monitorati costantemente attraverso sistemi algoritmici che registrano ogni movimento. Questa forma di sorveglianza algoritmica ha l'obiettivo di massimizzare l'efficienza, trasformando i lavoratori in meri esecutori di compiti ripetuti e privi di autonomia, con conseguenze rilevanti per la salute fisica e psicologica (Delfanti 2021). In parallelo, l'azienda investe ingenti risorse nell'automazione dei processi, integrando robotica e intelligenza artificiale per ridurre progressivamente la dipendenza dal lavoro umano, senza però eliminare la necessità di una forza lavoro massiccia e flessibile, capace di adattarsi alle mutevoli esigenze operative (Delfanti 2021; Into the Black Box 2024).

Alla questione lavorativa si affianca l'aspetto ecologico come dinamica dell'efficienza logistica e la promessa di consegne rapide e gratuite per il consumatore. L'espansione dei magazzini, l'intensificarsi del traffico su gomma e aereo, e il consumo energetico associato alle operazioni quotidiane contribuiscono in modo sostanziale all'inquinamento atmosferico e alle emissioni di gas climalteranti. Amazon, in questo contesto, si presenta come un attore chiave del capitalismo cosiddetto verde, promuovendo iniziative come il *Climate Pledge* e investendo in tecnologie verdi e soluzioni apparentemente sostenibili. Tuttavia, queste strategie sono criticate per il loro carattere speculativo e per il fatto che non

affrontano le radici strutturali della crisi ecologica. Le comunità locali e i lavoratori contestano l'impatto ambientale e sociale delle infrastrutture logistiche di Amazon, evidenziando come l'espansione dei magazzini contribuisca all'inquinamento, alla precarizzazione del lavoro e alla segregazione razziale (Arrighetti, Benegiamo, Leonardi 2024). Queste mobilitazioni, spesso guidate da organizzazioni per la giustizia ambientale, pongono al centro la necessità di una redistribuzione equa delle risorse e di un riconoscimento delle forme di esclusione sociale e ambientale generate dal capitalismo verde.

Una terza dimensione essenziale dell'Amazon Capitalism riguarda il trattamento dei dati. Amazon raccoglie, analizza e sfrutta una mole immensa di informazioni sugli utenti: comportamenti di acquisto, preferenze, tempi di permanenza online, interazioni con i contenuti. Questi dati alimentano un sistema di profilazione e raccomandazione iper-personalizzata, in cui l'azienda promuove i propri prodotti, marginalizza la concorrenza e modella le scelte dei consumatori (Zuboff 2019). L'uso estensivo degli algoritmi per finalità commerciali contribuisce alla costruzione di una forma inedita di sorveglianza predittiva, che pone seri interrogativi etici e giuridici sul piano della privacy e della libertà individuale. In questa dinamica, l'asimmetria informativa tra l'azienda e l'utente finale si traduce in una nuova forma di potere, invisibile ma capillare, che si estende ben oltre l'esperienza d'acquisto (Alimahomed-Wilson, Reese 2020).

Sul piano istituzionale e politico, Amazon ha saputo consolidare un'influenza capillare capace di incidere sulle scelte pubbliche. Attraverso operazioni di lobbying, partnership strategiche con governi locali, incentivi fiscali e accordi vantaggiosi, l'azienda esercita una pressione sistemica sulle istituzioni, ottenendo condizioni favorevoli che consolidano ulteriormente il suo dominio (Into the Black Box 2024). Questo fenomeno esprime una nuova forma di capitalismo clientelare, in cui la concentrazione di capitale si accompagna a una crescente capacità di indirizzare le politiche pubbliche, con ricadute evidenti in termini di disuguaglianza. In un simile contesto, Amazon si configura come il simbolo per eccellenza delle contraddizioni del capitalismo globale: da un lato, efficienza e innovazione tecnologica; dall'altro, intensificazione dello sfruttamento del lavoro, impatti ambientali elevati e destrutturazione del patto sociale.

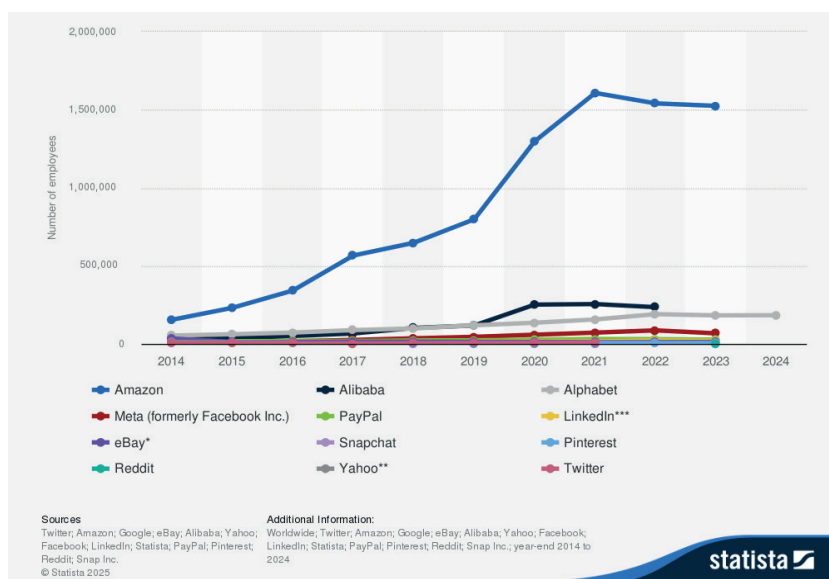


Figura 3 Numero di dipendenti delle principali imprese digitali a livello globale, nel periodo 2014-24.
Fonte: Statista 2024

Nel 2023 Amazon ha consolidato la sua posizione di principale azienda internet al mondo per numero di dipendenti, superando la soglia di 1,52 milioni di lavoratori. Questo dato, sorprendente se confrontato con la retorica dell'automazione, rivela un paradosso strutturale del settore tecnologico. Lontano dall'essere entità immateriali, molte imprese digitali continuano ad avere un bisogno massiccio di forza lavoro, soprattutto nei comparti della logistica, della distribuzione e dell'assistenza. Amazon, in particolare, rappresenta l'esempio più significativo di questo fenomeno, combinando sofisticate architetture cloud e servizi digitali all'avanguardia con un'estesa infrastruttura fisica fondata su personale operativo. La pandemia di COVID-19 ha rafforzato ulteriormente questa tendenza, evidenziando la centralità della forza lavoro nei momenti di massima pressione logistica e crescita della domanda.

Confrontando Amazon con altre grandi imprese digitali come Meta, che nel 2024 contava circa 67.000 dipendenti, o Alphabet, con circa 183.000 lavoratori, emergono differenze sostanziali nei modelli organizzativi. Mentre aziende come Meta e Google incarnano il modello tipico delle internet companies, con strutture snelle e personale altamente specializzato nel campo dell'ingegneria informatica, dell'analisi dei dati e dell'intelligenza artificiale, Amazon si distingue per un'organizzazione ibrida. Essa unisce al cuore tecnologico un sistema logistico-materiale che richiede milioni di ore

lavorative umane per mantenere l'intera filiera in funzione. Questa differenziazione strutturale evidenzia una crescente complessità nella definizione stessa di 'azienda digitale', che oggi non può più prescindere da un'analisi combinata delle infrastrutture materiali e cognitive.

Nel quadro attuale, la straordinaria dimensione della forza lavoro di Amazon non appare come un'anomalia, ma come un indicatore delle trasformazioni in atto nel capitalismo digitale globale. L'apparente contraddizione tra automazione e occupazione si rivela un'opposizione fuorviante: le imprese più competitive sono quelle capaci di coniugare l'efficienza delle tecnologie avanzate con l'adattabilità del lavoro umano. Il successo nel settore digitale non dipende solo dall'innovazione algoritmica o dalla scalabilità delle piattaforme, ma dalla capacità di costruire modelli ibridi, capaci di gestire in modo integrato processi materiali, cognitivi e relazionali su scala planetaria. Amazon, in questo senso, si propone come anticipazione – e forse anche come monito – delle forme organizzative e sociali che caratterizzeranno la nuova fase del capitalismo digitale.

3.6 Iper-connettività patologica

Il processo di digitalizzazione non si limita alla costruzione di infrastrutture fisiche e all'estrazione di risorse naturali, ma si estende alla sfera immateriale delle emozioni e del tempo sociale. La nocività digitale si manifesta, quindi, anche nell'esperienza quotidiana. L'iper-connettività rappresenta il cuore della trasformazione digitale contemporanea, un fenomeno che connette continuamente miliardi di dispositivi, utenti e infrastrutture in un flusso incessante di dati.

La comunicazione è forse l'ambito in cui le tecnologie digitali hanno avuto l'impatto più palpabile e immediato. L'avvento delle piattaforme di messaggistica come WhatsApp, Telegram e le applicazioni di videoconferenza come Zoom ha permesso a individui, famiglie, organizzazioni e aziende di superare le barriere geografiche. L'Europa rappresenta uno dei mercati più digitalizzati al mondo: nel 2024 il 94% delle famiglie dell'UE aveva accesso a Internet a casa (Eurostat 2024a) e il 93% degli individui tra i 16-74 anni ha dichiarato di aver usato Internet nei 3 mesi precedenti (Eurostat 2024b). Per l'Italia, le stime nel 2025 indicano una penetrazione Internet pari all'89,9% della popolazione a inizio 2025 (DataReportal 2025).

Sul versante informativo, i social media stanno rappresentando per una crescente quota di popolazione, in particolar modo tra i giovani, il principale vettore attraverso cui informarsi. A questo proposito, secondo il 3° Rapporto Ital Communications – Censis (2023), l'83% degli italiani che si informano abitualmente (47 milioni, ovvero il 93,3%) usano fonti web, cioè internet e social media; il 74,1%

sui media tradizionali. Il 64,3% usa un mix dei canali informativi, mentre il 19,2% usa solo Internet e i social media. Per quanto riguarda la fascia d'età più giovane, «il 69,1% utilizza abitualmente la messaggistica istantanea e il 76,6% i social media per informarsi» (Ital Communications, Censis 2023, 6).

Questo (molto parziale) spezzone di iper-connettività si può esprimere quantitativamente attraverso una serie di indicatori, come quelli proposti dall'International Telecommunication Union (ITU) relativi all'utilizzo delle ICTs: abbonamenti di telefonia fissa e mobile; abbonamenti alla banda larga fissa e mobile; popolazione coperta da una rete cellulare e da una rete a banda larga mobile; utilizzo della larghezza di banda internazionale; famiglie con accesso a Internet; persone che utilizzano Internet; persone che possiedono un telefono cellulare.

Tabella 4 Andamento dell'utilizzo di specifici servizi ICTs (2023). Fonte: ITU 2023, Measuring Digital Development.

Abbonamenti di telefonia fissa e mobile	10,7%; 110,6%
Abbonamenti alla banda larga fissa e mobile	18,6%; 87,4%
Popolazione coperta da una rete cellulare e da una rete a banda larga mobile	97,9%
Utilizzo della larghezza di banda internazionale (2022)	224,2 kbit/s
Traffico derivante dalla banda larga fissa e mobile per abbonamento (2022)	3.086 GB; 134,1 GB
Persone che utilizzano Internet	67,4%
Persone che possiedono un telefono cellulare	78,1%

Nel quadro di questa iper-connettività, l'economia del 'clic' e del 'Mi piace' rappresenta un esempio emblematico. Strumenti come il 'Mi piace' non solo raccolgono dati emotivo-affettivi dagli utenti, ma trasformano queste informazioni in valore economico, consolidando piattaforme come Facebook e Google come nodi centrali del capitalismo digitale (Gerlitz, Helmond 2013). Questi strumenti fungono da 'recinzioni digitali', estendendo il controllo capitalistico anche ai momenti più intimi della vita quotidiana (Greene, Joseph 2015).

In questa prospettiva, il capitalismo della sorveglianza (Zuboff 2019) si configura come una forma specifica del capitalismo che sfrutta la datificazione come meccanismo principale per trasformare la vita sociale in una risorsa economica. Le piattaforme digitali non si limitano a osservare passivamente i comportamenti degli utenti, ma li modellano attivamente, utilizzando i dati raccolti per prevedere e influenzare le scelte future. Questo processo non solo monetizza il tempo libero e le interazioni sociali, ma rafforza un sistema di

dependenza che mantiene gli utenti all'interno delle piattaforme stesse, ampliando continuamente la portata del controllo digitale.

Si consolidano così forme di 'lavoro gratuito' - cioè non retribuito - per cui gli utenti sono sia produttori inconsapevoli di valore che consumatori di contenuti. Come sottolineato da Whitney (2014), il lavoro gratuito online mantiene una separazione strutturale tra capitale e lavoro, ma lo fa estendendo questa dinamica a nuovi spazi e momenti della vita sociale. Le piattaforme digitali trasformano momenti fugaci di interazione, come mettere un 'Mi piace' o consultare un'app, in merci digitali, mentre nuovi ambiti della vita quotidiana, come l'Internet delle Cose, vengono continuamente inglobati nel sistema economico digitale.

Questi fenomeni rafforzano l'idea che la digitalizzazione, lungi dall'essere immateriale, abbia un impatto tangibile sulle dinamiche sociali e sull'accumulazione di valore. Essa evidenzia come il 'clic' sia non solo il punto di partenza di una complessa rete infrastrutturale, ma anche un meccanismo chiave per il controllo e la monetizzazione del tempo e delle emozioni degli individui. Inoltre, questo sistema intensifica le disuguaglianze di potere, con le piattaforme digitali che accumulano risorse e influenza senza precedenti, a discapito della privacy, dell'autonomia e della sostenibilità.

3.7 Digitarchia e il mito del digitale

Il mito del digitale è anche funzionale a una specifica forma di governo del digitale, o di ordine sociale digitale, che è stato definito come digitarchia (Pirina 2022), in cui l'istanza originaria di rimozione dei confini e delle frontiere come vincoli materiali alle libertà del tecno-utopismo del cyberspazio, si è ribaltata nel suo contrario: un controllo pervasivo e pervicace attraverso le ICTs di lavoro, emozioni, relazioni organizzative da parte di pochi attori globali, sotto l'egida del profitto.

Per un miglior inquadramento della digitarchia è utile rimandare alla tradizione del «potere infrastrutturale», la cui formulazione si deve al sociologo Michael Mann nella sua dissertazione sul potere statale (Mann 1984). Egli ne ha individuato due tipi: il «potere dispotico» e il «potere infrastrutturale». Il primo si riferisce alle azioni che l'élite statale può intraprendere senza negoziazione, mentre il potere infrastrutturale riguarda la capacità dello stato di penetrare e coordinare la società attraverso una rete di infrastrutture che consente l'implementazione logistica delle decisioni politiche su tutto il territorio. Secondo Mann, il potere infrastrutturale è particolarmente evidente nelle società industriali moderne, dove lo Stato ha sviluppato strumenti avanzati per raccogliere informazioni, tassare direttamente i cittadini, influenzare l'economia e fornire

servizi essenziali. A differenza delle società pre-capitalistiche, in cui il potere infrastrutturale era limitato e spesso frammentato, gli Stati contemporanei hanno raggiunto un livello di penetrazione senza precedenti nella vita quotidiana dei cittadini, rendendo impossibile sfuggire alla loro influenza. Tuttavia, il potere infrastrutturale non implica necessariamente un controllo autonomo da parte dell'élite statale, poiché in molte democrazie capitalistiche le decisioni politiche sono influenzate da gruppi di interesse della società civile, come elettori e finanziatori (Mann 1984).

Tra i pregi di questo modo di inquadrare le infrastrutture vi è senza dubbio quello di attribuire loro un significato socio-politico, contestualizzandone funzione e indirizzi. La formulazione proposta da Mann è stata un terreno fertile per ulteriori riflessioni e ampliamenti. A tal riguardo, mi sento di condividere le tesi proposte da Mattia Frapporti, che riporto integralmente qui di seguito:

Prima tesi: la politica è incapsulata nelle infrastrutture e le infrastrutture veicola una visione politica di ordine e di governo. Nella loro dimensione apparentemente inerte, esse racchiudono una politicità intrinseca che rivela gli scopi di chi le ha ideate e costruite, o di chi le possiede. Seconda tesi: per cogliere il potere *nelle* infrastrutture non bisogna fermarsi solamente alla loro dimensione tecnica. È indispensabile sondare non solo quanto permettono, ma quanto promettono [...] La Terza tesi: il governo si dà spesso *fuori* dallo Stato. Dalla Compagnia delle Indie ad Amazon, il governo è sempre espressione di un insieme di attori, la cui caratteristica comune è di esprimerlo in termini funzionali attraverso il controllo delle infrastrutture. Quarta tesi: le piattaforme digitali sono le 'nuove' infrastrutture del contemporaneo ed esprimono la stessa *forma* del potere delle 'infrastrutture materiali'. (2024, 13-14)

Negli ultimi anni si è consolidato un filone di studi noto come «capitalismo delle infrastrutture». Secondo il sociologo Vando Borghi (2021), il potere infrastrutturale nel contesto del capitalismo delle infrastrutture si riferisce alla capacità delle infrastrutture di modellare e organizzare la vita sociale, sia sul piano materiale che su quello simbolico. Le infrastrutture non sono solo strumenti tecnici, ma dispositivi che influenzano profondamente le pratiche sociali e le forme di vita. Esse operano come sistemi sociotecnici che abilitano il terreno su cui altri oggetti e attività si sviluppano, contribuendo alla trasformazione del rapporto tra 'mondo' e 'realtà'. In particolare, il potere infrastrutturale si manifesta attraverso la sincronizzazione tra infrastrutture delle cose e infrastrutture dell'esperienza, alimentata dall'immaginario sociale del «mondo a domicilio» (Borghi 2021). Questo potere si estende oltre la semplice erogazione di servizi,

influenzando la percezione del mondo e la relazione con esso, la quale riduce l'alterità del mondo a una dimensione completamente accessibile e controllabile.

Tommy Tse e Pun Ngai (2024) applicano la riflessione sul potere infrastrutturale al caso di Alibaba, in Cina, dove questa forma di potere si manifesta nell'integrazione di iniziative statali e pratiche aziendali per il conseguimento di obiettivi politici e commerciali. Ciò include la creazione e il funzionamento di infrastrutture fisiche come le reti logistiche, infrastrutture digitali come il *cloud computing* e le piattaforme di *e-commerce*, e infrastrutture umane che coinvolgono lavoratori e comunità. Il potere infrastrutturale di Alibaba si riflette in meccanismi come i partenariati pubblico-privati, le reti di consumo aziendale e la concorrenza globale. Questi meccanismi permettono all'azienda di allineare le sue operazioni commerciali agli obiettivi statali, di monetizzare i dati degli utenti e di esercitare un controllo sensoriale sui lavoratori, promuovendo aspirazioni legate a sogni nazionalistici e aziendali. Questo potere è ulteriormente rafforzato dalla perfetta integrazione delle infrastrutture fisiche e digitali – che perciò diventano «figitali» – che condizionano le vite economiche, sociali e affettive, consentendo al contempo lo sfruttamento del lavoro e la sorveglianza (Tse, Pun 2024).

Gli approcci analitici pocanzi menzionati hanno tutti il merito di enfatizzare l'estensione del campo di applicazione delle infrastrutture ben oltre la dimensione tecnico-ingegneristica, tratteggiando invece tanto le dimensioni materiali quanto quelle simbolico-culturali e politiche, tanto la promessa delle infrastrutture ancorata a specifici immaginari soluzionisti e modernizzatori quanto il legame con la dimensione di governo e di potere. Tali approcci, inoltre, permettono una lettura che va aldilà delle visioni dicotomiche, a favore invece dell'esplorazione delle interconnessioni tra ambiti apparentemente distinti. È in questo senso che fisico e digitale si uniscono in figitale (oppure cyber-fisico).

Un ulteriore quadro per comprendere le radici della digitarchia è la 'algocrazia' (Aneesh 2009), cioè un sistema di governance distinto da quello burocratico e di mercato, fondato sull'impiego di programmi e codici informatici per dirigere e strutturare le attività lavorative. L'idea è di virtualizzare lo spazio organizzativo, creando ambienti condivisi a livello globale attraverso piattaforme virtuali che facilitano collaborazioni parallele, sequenziali e sincrone. L'algocrazia agisce sulla gestione del lavoro e influenza profondamente la cultura organizzativa. La governance incorporata, con regole e processi codificati direttamente nel software garantisce che il lavoro segua percorsi predefiniti. Questo diminuisce l'orientamento umano richiesto, poiché il sistema guida le azioni attraverso opzioni programmate, limitando le alternative non previste e non richiedendo che i lavoratori siano socializzati o formati in modo estensivo alle

regole. L'automazione del controllo monitora e registra ogni azione, fornendo un controllo continuo e dettagliato senza intervento umano. L'algocrazia facilita la collaborazione globale tramite piattaforme virtuali che sincronizzano attività e condividono progressi in tempo reale, migliorando l'efficienza operativa. L'eliminazione delle gerarchie tradizionali è un altro effetto significativo, poiché il sistema permette una comunicazione diretta tra i vari livelli. La flessibilità del codice garantisce adattabilità e scalabilità. Tuttavia, l'algocrazia può anche intensificare il ritmo di lavoro, come dimostrano gli algoritmi predittivi nei call center che determinano la cadenza delle chiamate, aumentando la produttività ma anche la pressione sui lavoratori (Aneesh 2009).

La capacità dell'algocrazia di creare spazi di lavoro virtuali globali si lega strettamente all'idea tecno-utopista del cyberspazio come una forma deterritorializzata di organizzazione economica. In questa visione, il cyberspazio rappresenta un dominio digitale capace di superare i confini fisici e le limitazioni imposte dai mercati del lavoro nazionali. Le piattaforme algocratiche, operando in questo spazio virtuale, facilitano l'incontro tra domanda e offerta di lavoro su scala globale, permettendo alle aziende di attingere a un pool di talenti distribuito e ai lavoratori di accedere a opportunità indipendentemente dalla loro localizzazione geografica. Come analizzato da Vili Lehdonvirta (2022), piattaforme quali oDesk (ora parte di Upwork) e Upwork sono esempi emblematici di come queste piattaforme digitali non siano semplici intermediari, ma veri e propri 'imperi' che stabiliscono le regole e le infrastrutture per l'organizzazione del lavoro online, creando un nuovo tipo di mercato del lavoro globale che opera al di fuori delle tradizionali giurisdizioni nazionali e delle regolamentazioni locali. L'algocrazia, in questo senso, fornisce il meccanismo di governance che rende operativa questa visione del cyberspazio come spazio economico globale e apparentemente deterritorializzato.

3.7.1 Tecno-colonialismo, capitalismo digitale e *digital commons*

Nel saggio «Digital Colonialism: US Empire and the New Imperialism in the Global South» (2019), Michael Kwet sostiene che le multinazionali tecnologiche statunitensi stanno reinventando il colonialismo nel Sud Globale attraverso il dominio delle infrastrutture digitali. Google, Amazon, Facebook, Apple e Microsoft esercitano un controllo imperiale sull'architettura digitale globale – software, hardware, connettività – imponendo modelli economici e culturali che perpetuano disuguaglianze strutturali e dipendenza tecnologica. Questa nuova forma di dominio si intreccia con il concetto di

«colonialismo dei dati», proposto da Nick Couldry e Ulises Mejias (2019), secondo cui i dati umani e sociali vengono estratti e trasformati in valore economico dalle grandi aziende del Nord Globale, sottraendo a individui e comunità il potere di decidere sul proprio futuro digitale.

L'immaginario della connettività come bene neutrale e universale funziona così come un potente dispositivo ideologico, utile a celare gli effetti profondamente asimmetrici dell'era digitale. Lungi dall'essere uno spazio aperto, il cyber-spazio si configura come una estensione dei poteri storici coloniali in nuove forme. In questa prospettiva, il tecno-colonialismo (Madianou 2019) è una forma contemporanea di egemonia culturale, epistemica e infrastrutturale, dove il mito del *cloud*, dell'immaterialità e della connettività universale nasconde relazioni di dipendenza strutturale. Come osserva Kroeze (2024), questa egemonia si manifesta in ogni livello dell'infrastruttura digitale: algoritmi, sistemi proprietari, monopoli di piattaforme e intere relazioni socio-ecologiche. Con tecno-colonialismo si intende un'ideologia che tenta di riprodurre selettivamente le pratiche del colonialismo storico, adattandole alla realtà del XXI secolo e utilizzando le ICTs sfruttando la vita delle persone (Durán Matute, Camarena González 2021). Questa ideologia, di matrice neoreazionaria, è caratterizzata da tre elementi principali: il rifiuto della democrazia multi-razziale, la ricerca di nuove frontiere per creare un ordine sociale alternativo, e l'impiego di tecnologie avanzate per facilitare la fuga dalla democrazia multi-razziale (Hughes 2024). Questi tre elementi richiamano, in parte e in maniera speculare, le istanze del cyberspazio e dei pionieri dell'industria informatica, che vedevano nella tecnologia un mezzo per creare spazi di libertà e nuove comunità, ma il tecno-colonialismo persegue questi obiettivi con una visione politica radicale e anti-democratica. Secondo Tristan Hughes (2024), le figure chiave associate a questo fenomeno includono Nick Land, filosofo noto per le sue posizioni accelerazioniste e la promozione di concetti radicali come l'eugenetica e la creazione di micro-nazioni autonome; Curtis Yarvin, influente blogger del movimento Neoreazionario che critica la democrazia a favore di un sistema di micro-stati corporativi e dell'idea di 'exit' (intesa come abbandono della partecipazione politica tradizionale); Peter Thiel, co-fondatore di PayPal e sostenitore dell'anarco-capitalismo, che finanzia progetti come il *Seasteading Institute* per creare spazi politici al di fuori del controllo statale; e Patri Friedman, fondatore del medesimo istituto, che mira a tradurre le idee neoreazionarie in modelli di governance praticabili. Questi individui condividono la visione di utilizzare la tecnologia e l'innovazione per trascendere i vincoli degli stati tradizionali e instaurare nuovi ordini politici.

Tra i progetti più estremi del tecno-colonialismo vi è senza dubbio la 'colonizzazione marina' o 'insediamento marittimo' (*seasteading*), laddove tra le nuove frontiere individuate dai suoi profeti vi sono gli

oceani: spazi a loro modo di vedere liberi su cui creare città-stato galleggianti in cui creare la loro idea di società e spazializzare così il loro disappunto, come scritto da Nick Land nel blog Xenosystems.⁵ Questa visione sublima l'approccio tecno-soluzionista e accelerazionista applicato ai cambiamenti climatici: laddove non è possibile contrastare questi ultimi, in particolare l'innalzamento del livello dei mari, la tecnologia consente di spostare nuovamente la frontiera – la quale assurge a spazio di innovazione e libertà proprio come è accaduto col cyber-spazio – colonizzando gli oceani. La dimensione coloniale di questa pratica si evince dall'applicazione del concetto di *terra nullius*, secondo il quale territori non utilizzati o non abitati possono essere legittimamente reclamati e trasformati. In questa prospettiva, gli oceani vengono percepiti come spazi vuoti e privi di sovranità, ideali per essere colonizzati (Hughes 2024). La giustificazione ideologica richiama quella storicamente impiegata sia dal colonialismo che dal tecno-utopismo dell'Ideologia Californiana, basata sulla retorica della creazione di società ideali e dell'innovazione istituzionale.

La letteratura critica sociologica e degli studi sui media e la comunicazione ha analizzato in profondità queste sfide, proponendo al contempo il potenziale trasformativo dei beni comuni digitali (*digital commons*) (Dulong de Rosnay, Stalder 2020) e della sfera pubblica digitale per la promozione della democrazia (Fuchs 2021). Il capitalismo digitale si manifesta attraverso una serie di problemi chiave che minacciano la democrazia e perpetuano disuguaglianze sociali, tra cui lo sfruttamento del lavoro digitale da parte di aziende che tendono a creare monopoli (Mosco 2014), una cultura digitale competitiva e individualista dominata dall'accumulo asimmetrico di attenzione e visibilità online, e un complesso industriale della sorveglianza derivante dalla collaborazione tra corporazioni e stati per monitorare pervasivamente gli utenti (Morozov 2011; Zuboff 2019). Ulteriori criticità includono la promozione di autoritarismo digitale, razzismo, nazionalismo e fascismo digitale da parte dei social media antidemocratici, l'influenza degli algoritmi sui contenuti e sull'attenzione online attraverso la politica algoritmica, la frammentazione della sfera pubblica digitale in 'bolle di filtro' e 'camere dell'eco', e la dominanza dell'industria culturale digitale da parte di ideologie e pubblicità con contenuti spesso sensazionalistici. A ciò si aggiungono il capitalismo degli influencer, che maschera la pubblicità da contenuti regolari, l'accelerazione digitale, che ostacola il dibattito politico sostenuto, e la diffusione di fake news e politica post-fattuale, che minano la fiducia e la conoscenza condivisa.

Questi problemi convergono nel favorire un capitalismo autoritario e nell'accentuare le disuguaglianze sociali (Fuchs 2021).

In risposta a tali sfide, si delineano alternative basate sui beni comuni digitali e sulla sfera pubblica digitale, con l'obiettivo di contrastare il capitalismo digitale e promuovere una società più equa e democratica. I beni comuni digitali rappresentano un modello non capitalistico, fondato su principi di proprietà collettiva, governance democratica e accesso universale. Sebbene i beni comuni digitali sul piano della sostenibilità ambientale siano parte del problema, in quanto le infrastrutture informatiche e i manufatti elettronici utilizzate incorporano importanti costi ambientali, essi possono essere anche la soluzione poiché promuovono pratiche come il *green computing* e il controllo comune delle risorse naturali, contrastando così l'estrattivismo eco-digitale (Dulong de Rosnay, Stalder 2020; Fuchs 2021).

È in questa dimensione economica che gli studi di Trebor Scholz sul cooperativismo di piattaforma offrono un contributo importante, integrandosi con le riflessioni sui beni comuni digitali. Scholz (2016), tra gli altri, ha teorizzato e promosso il modello del cooperativismo di piattaforma come una risposta diretta alle problematiche del capitalismo delle piattaforme e della *gig economy*, proponendo un'alternativa che privilegia il controllo democratico e la proprietà collettiva delle piattaforme digitali. Il cooperativismo di piattaforma mira a creare piattaforme online che siano di proprietà e governate dai lavoratori e dagli utenti stessi, anziché da investitori esterni con un primario obiettivo di profitto. Questo modello si basa su principi quali la trasparenza, la condivisione del valore generato, la protezione dei diritti dei lavoratori e la sostenibilità sociale ed economica. Scholz ha sottolineato come le piattaforme cooperative possano offrire condizioni di lavoro più eque, salari dignitosi, benefici sociali e un maggiore controllo sulle proprie attività, contrastando lo sfruttamento e la precarizzazione tipici delle piattaforme dominanti. Egli evidenzia come progetti come Stocksy United (agenzia fotografica cooperativa), FairMondo (marketplace cooperativo) e Resonate (servizio di streaming musicale di proprietà degli artisti e degli utenti) dimostrino la fattibilità e il potenziale di questo approccio.

4 **Industria elettrodigitale e nocività**

Sommario 4.1 Un'industria elettrodigitale: concettualizzazione e componenti chiave. – 4.2 I semiconduttori – 4.3 La dimensione socio-ecologica della nocività digitale. – 4.4 L'impronta dell'eco-infrastruttura digitale. – 4.5 Produzione e mercato dei semiconduttori: una panoramica globale. – 4.6 La crisi dei chip e le dinamiche geopolitiche. – 4.7 Le politiche per i semiconduttori in Europa e Italia. – 4.8 I data center. – 4.9 Zone economiche speciali e industria elettrodigitale.

4.1 Un'industria elettrodigitale: concettualizzazione e componenti chiave

Per capire la portata reale della digitalizzazione e coglierne le varie manifestazioni fisico-spaziali e, più in generale, le sue conseguenze socio-ecologiche, è fondamentale non separarla dall'industria elettronica. In altri termini, il digitale deve essere analizzato come un'industria integrata su scala globale definibile come 'elettrodigitale',¹ in cui progettazione, componentistica, manifattura, logistica, infrastrutture di rete e servizi software si articolano lungo catene globali del valore (GVC) modulari (Gibbon, Bair, Ponte

1 La scelta di utilizzare il termine composto 'elettrodigitale' ha l'obiettivo di rendere ancora più esplicito il legame inscindibile tra il digitale e l'elettronica, evidenziando come le innovazioni nel mondo digitale siano strettamente ancorate a infrastrutture e componenti materiali, nelle reti fisiche di trasmissione e nei semiconduttori che ne costituiscono il cuore tecnologico.

2008; Sturgeon 2002; Sturgeon, Kawakami 2011) nel quadro di una divisione internazionale del lavoro digitale (Fuchs 2014; Pirina 2022). L'industria elettronica ha attraversato un processo significativo di delocalizzazione ed esternalizzazione dei processi produttivi ad alta intensità di lavoro. Dalla produzione concentrata nel Nord Globale fino agli anni Sessanta, a partire dagli anni Ottanta l'industria ha conosciuto un'ampia esternalizzazione verso *Contract Manufacturers* (basata sul modello dell'*Electronic Manufacturing Service* – EMS) e *Original Design Manufacturers* (ODM): le imprese leader (*lead firms*) mantengono controllo su progettazione, marchio e mercato, mentre la produzione è affidata a fornitori specializzati; accanto a queste figure, i *platform leaders* (ad es. progettisti di chip e architetture) inseriscono i propri standard tecnologici nei prodotti altrui (Sturgeon 2002; Sturgeon, Kawakami 2011; Gereffi 2018).

Tabella 5 Tipologie di imprese nella filiera elettrodigitale (definizioni sintetiche).
Fonte: elaborazione dell'Autore a partire da Gibbon, Bair, Ponte 2008; Gereffi 2018; Sturgeon 2002; Sturgeon, Kawakami 2011.

Tipo di impresa	Definizione
<i>Lead firms</i> (imprese leader/brand)	Detengono progettazione, marchio, proprietà intellettuale e canali commerciali. Esternalizzano gran parte della produzione fisica a terzi, mantenendo il controllo architetturale della filiera (es.: Apple, Dell, HP).
EMS – <i>Electronic Manufacturing Services</i> (fornitori di produzione elettronica)	Aziende che assemblano e producono dispositivi e componenti per conto delle <i>lead firms</i> , spesso su specifiche tecniche del committente. Offrono servizi di industrializzazione, approvvigionamento, test e logistica (es.: Foxconn, Pegatron, Flex).
ODM – <i>Original Design Manufacturers</i> (produttori a progettazione originale)	Progettano e producono prodotti completi che possono essere venduti con il marchio del cliente (<i>white/grey label</i>). Rispetto agli EMS hanno maggiore autonomia progettuale e talvolta forniscono piattaforme di riferimento (es.: Compal, Quanta, Wistron).
<i>Platform leaders</i> (leader di piattaforma tecnologica)	Imprese che sviluppano standard, architetture o componenti chiave (chip, sistemi operativi, toolchain) che diventano basi comuni per l'ecosistema, imponendo traiettorie tecnologiche e di compatibilità (es.: Intel, ARM, Google per Android).

La ricollocazione geografica della manifattura ha favorito il Sud-Est asiatico, con la Cina come snodo chiave. Ad esempio, nel 2020 la Cina ha rappresentato circa il 30% delle esportazioni mondiali di beni ICT (*ICT goods*), risultando di gran lunga il principale esportatore globale (UNCTAD 2021). Da oltre un decennio la Cina presidia i segmenti chiave: dalle esportazioni di computer che coprono circa metà del mercato mondiale almeno dal 2010, ai telefoni che superano il 40% del mercato globale dal 2015; nel complesso, la Cina è il principale esportatore mondiale di prodotti ICT (Chen, Salike, Thorbecke 2025).

Un ambito fondamentale dell'industria elettrodigitale è rappresentato dalle ICTs. Basandoci sulla definizione proposta dal United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD),² l'ambito delle ICTs può suddividersi in servizi (*ICTs services*) e merci o manifattura (*ICTs goods*). Il primo comprende lo sviluppo di software, i servizi informatici e di telecomunicazioni. Il secondo include la componentistica e l'hardware, dunque dispositivi dell'elettronica di consumo, delle comunicazioni, i PC, la componentistica periferica ecc. Secondo i dati Eurostat (2025), tra il 2012 e il 2022 nel contesto dell'UE-27 la manifattura ICTs è stata caratterizzata da una crescita molto contenuta: il suo contributo al valore aggiunto lordo è aumentato di appena 0,6%, riflettendo le sfide legate all'automazione, alla concorrenza globale e ai trasferimenti produttivi in regioni a costi inferiori. Nel 2022 l'ICTs ha contribuito per circa il 5,5% al valore aggiunto lordo europeo, di cui 4,6% attribuibili ai servizi e 0,9% alla manifattura. Queste dinamiche si riflettono anche sul fronte occupazionale, dove quasi il 92% dei posti di lavoro nel settore ICT è concentrato nei servizi, contribuendo significativamente all'innalzamento della produttività, sebbene il comparto manifatturiero, nonostante il suo ruolo strategico per il 'made in Europe', mostri un calo occupazionale (con un indice in diminuzione da 100 nel 2012 a circa 83,9 nel 2022) dovuto all'effetto congiunto di automazione e delocalizzazione (Eurostat 2025).

L'importanza delle ICTs all'interno dell'industria elettrodigitale è evidente anche nella loro capacità integrativa e abilitante, poiché forniscono l'infrastruttura e i servizi necessari per la raccolta, l'elaborazione, lo scambio e la gestione delle informazioni. Inoltre, l'interazione tra ICTs e semiconduttori è cruciale: i progressi nella progettazione e nella produzione di microchip ad alte prestazioni supportano lo sviluppo di algoritmi complessi e di infrastrutture per reggere e incrementare la potenza computazionale (Ruberti 2023).

2 Per maggiori dettagli sul quadro definitorio, le statistiche e gli indicatori per misurare il commercio internazionale di beni ICT e servizi ICT si veda la nota tecnica dell'UNCTAD consultabile alla seguente pagina: https://unctad.org/system/files/official-document/tn_unctad_ict4d03_en.pdf.

4.2 I semiconduttori

I semiconduttori costituiscono uno dei fondamenti tecnologici più importanti – se non il più importante – dell'industria elettrodigitale. Essi sono materiali – principalmente silicio, ma anche germanio per applicazioni specializzate – lavorati con precisione nanometrica per realizzare dispositivi complessi che permeano la vita quotidiana, dagli smartphone e computer all'elettronica automobilistica, dai sistemi di intelligenza artificiale alle infrastrutture di telecomunicazione, fino agli elettrodomestici più comuni come tostapane e frigoriferi. Essi hanno una caratteristica distintiva rispetto ad altri materiali: in sé, trasmettono (appunto, conducono) pochissima elettricità, ma con l'aggiunta di materiali e sostanze specifiche (*doping*) e di un campo elettrico, la loro capacità di trasmettere energia aumenta (Miller 2024; Sissa 2024).

La centralità strategica di questa industria deriva dalla sua trasversalità: i semiconduttori sono indispensabili non solo nell'elettronica di consumo, ma anche in industrie come quella automobilistica, la difesa, l'automazione industriale, l'IoT, i data center e l'AI. La loro ubiquità è resa possibile dalle dimensioni infinitesimali – come riportato dalla European Semiconductor Industry Association (ESIA), un transistor moderno è 10.000 volte più sottile di un capello umano e un processore odierno di fascia alta contiene fino a 100 miliardi di transistor³ – e dalla loro capacità di abilitare tecnologie sempre più avanzate.

I microchip combinano milioni o miliardi di transistor su una singola unità, consentendo operazioni logiche e computazionali straordinariamente avanzate. La loro progettazione e fabbricazione richiedono strutture sofisticate, come le camere bianche ultra-sterili e i macchinari per la litografia ottica. La qualità del wafer, inclusa la purezza del materiale e la precisione nella sua lavorazione, è determinante per l'efficienza e l'affidabilità dei semiconduttori finali. La lavorazione dei wafer avviene con processi altamente specializzati, che includono incisioni, deposizioni e trattamenti termici, e su di essi vengono realizzati strati multipli di circuiti elettronici. Una volta prodotti, i microchip vengono integrati in schede madri, circuiti stampati che collegano processori, memoria e periferiche, ottimizzando flussi di dati, gestione energetica e dissipazione del calore. Un aspetto chiave nella produzione dei semiconduttori è l'assoluta necessità di eliminare ogni contaminante, come polvere o umidità, per garantire il corretto funzionamento dei dispositivi (Khan, Mann 2020).

3 Per maggiori informazioni sui semiconduttori e per un quadro definitorio si veda la pagina dell'ESIA: <https://www.eusemiconductors.eu/esia/semiconductors-industry/what-semiconductor>.

A ben vedere, questa condizione accompagna l'evoluzione dei semiconduttori e dei relativi dispositivi elettronici fin dalle loro origini, seppur con livelli di precisione e di complessità differenti. Lo storico dell'economia Chris Miller (2024) racconta questa attenzione a partire dal passaggio dai calcolatori meccanici a ingranaggi ai calcolatori elettrici basati su valvole termoioniche, spiegando l'origine del termine informatico *debugging*. Pur garantendo un salto qualitativo nella capacità computazionale, i calcolatori elettrici avevano un limite esogeno derivante dal loro funzionamento fisico. Le valvole termoioniche apparivano come lampadine, con all'interno dei filamenti che emettevano luce e calore, attraendo in questo modo insetti come le falene. Questa condizione comportava perciò continue operazioni di disinfestazione – appunto, *debugging* – per garantire il funzionamento continuo ed efficace dei calcolatori elettrici.

L'origine dei semiconduttori si rintraccia nei laboratori dell'apparato accademico-militare-industriale statunitense, sorti durante la Seconda Guerra Mondiale e il secondo dopo guerra per la ricerca in ambito atomico, missilistico e spaziale. Sono tre i passaggi fondamentali per l'affermazione dell'industria dei semiconduttori: l'invenzione del transistor nel 1947 rappresentò un punto di rottura rispetto alle vecchie valvole termoioniche, offrendo un sistema più affidabile e compatto per il controllo dei segnali elettrici. Successivamente, nel 1958, l'introduzione del circuito integrato consentì di miniaturizzare ulteriormente i componenti, raggruppando più transistor su un'unica piastrina o wafer di silicio (o, in alternativa, di germanio) e migliorando prestazioni ed efficienza. Infine, il microprocessore (microchip), sviluppato nel 1971, permise di integrare in un solo chip tutte le funzioni di un'unità di elaborazione centrale e aprendo la strada all'informatica personale e ai dispositivi digitali che oggi dominano la nostra vita quotidiana (Brown, Linden 2009; Miller 2024).

L'industria dei semiconduttori comprende diversi segmenti specializzati, ciascuno con funzioni distinte e applicazioni specifiche. I chip di memoria, tra cui la DRAM (*Dynamic Random-Access Memory*), costituiscono la memoria volatile a breve termine dei computer, essenziale per l'elaborazione rapida dei dati, mentre la memoria flash offre archiviazione non volatile a lungo termine, mantenendo le informazioni anche in assenza di alimentazione. I chip logici, come CPU e GPU, sono il 'cervello' dei dispositivi elettronici, responsabili dell'esecuzione di calcoli complessi e operazioni logiche. I chip analogici, invece, gestiscono segnali continui come suono, temperatura e tensione, trovando impiego in amplificatori audio, sensori e sistemi di alimentazione. I chip discreti, tra cui transistor e diodi, svolgono funzioni circuitali fondamentali come la regolazione e la commutazione della corrente elettrica. I sensori, come quelli di movimento, luce o pressione, convertono stimoli

fisici in segnali elettrici, abilitando l'interazione tra dispositivi e ambiente. I chip ottici, utilizzati nelle fibre ottiche e nei sistemi di comunicazione laser, ottimizzano la trasmissione di dati ad alta velocità. Infine, i microcomponenti, tra cui oscillatori e regolatori di tensione, sono elementi essenziali per il corretto funzionamento e la sincronizzazione dei circuiti integrati. Questa diversificazione riflette la natura poliedrica dell'industria dei semiconduttori, che alimenta settori che vanno dall'elettronica di consumo all'*automotive*, dall'IoT all'intelligenza artificiale (Brown, Linden 2009; Miller 2024).

Tabella 6 Tipologie di chip e descrizione sintetica. Fonte: parziale adattamento dell'Autore da Blevins et al. 2023; trad. dell'Autore.

Tipo	Funzione/applicazione
Chip logici	Funzionano tipicamente come il 'cervello' dei dispositivi informatici. Includono microprocessori, come le unità di elaborazione centrale (CPU) per il computing generico e le unità di elaborazione grafica (GPU) per il rendering video. Comprendono anche chip meno costosi progettati per compiti specifici (es. controllo finestrini e sedili nelle auto). I mercati principali includono smartphone, personal e high-performance computing (es. supercomputer e server), dispositivi IoT (es. dispositivi smart come smartwatch, altoparlanti, automazione domestica e sistemi di sorveglianza) e il settore automotive (es. sistemi di infotainment e assistenza alla guida).
Chip di memoria	Memorizzano dati. I due tipi principali sono la memoria ad accesso casuale dinamico (DRAM) e la memoria flash NAND. La DRAM conserva dati a breve termine mentre il dispositivo è acceso (es. codice necessario al processore per eseguire programmi). La NAND flash fornisce archiviazione a lungo termine per dati come foto e musica, che rimangono disponibili anche dopo lo spegnimento del dispositivo. I mercati principali includono telefoni mobili, data center e dispositivi personali.
Chip analogici	Svolgono diverse funzioni, tra cui: lavorare con sensori per convertire segnali analogici dall'ambiente (es. temperatura, velocità e pressione, che possono assumere un intervallo continuo di valori) in segnali digitali; gestione dell'alimentazione per convertire, controllare e distribuire energia elettrica (es. nei veicoli elettrificati); comunicazioni (es. telefoni mobili e applicazioni militari come rilevamento e sorveglianza, radar, sonar e imaging a infrarossi).

Tipo	Funzione/applicazione
Optoelettronica	Dispositivi che interagiscono con o producono luce. Le principali applicazioni includono: diodi a emissione luminosa (LED), sensori di immagine (es. nelle fotocamere) e diodi laser (es. nelle comunicazioni in fibra ottica).
Sensori	Rilevano o controllano proprietà fisiche come temperatura, pressione e accelerazione. Hanno applicazioni in elettronica di consumo (es. smartphone), automobili e apparecchiature industriali.
Componenti discreti	Svolgono una singola funzione elettrica, come il controllo della corrente in un circuito integrato. Esempi includono transistor, diodi e resistori ad alta potenza.

4.3 La dimensione socio-ecologica della nocività digitale

I decenni in cui si è affermato il modello della società dell'informazione hanno testimoniato il fiorire delle innovazioni microelettroniche e nella chimica, le cui conseguenze si sono riverberate in tutti i settori produttivi, seguendo quella che è stata definita come la «transizione dagli atomi agli elettroni» (Pasek 2023): una transizione questa che, lungi dal realizzare la promessa di dematerializzazione, ha semplicemente spostato il peso materiale dell'infrastruttura tecnologica verso nuove forme di consumo energetico e nuove geografie estrattive. In questo contesto, la Legge di Moore e la Legge di Koomey – che descrivono rispettivamente la crescita esponenziale della potenza di calcolo e il miglioramento dell'efficienza energetica – possono essere rappresentate come una crescita tendenziale dei costi socio-ecologici dell'industria elettrodigitale: mentre i semiconduttori, i chips, i transistor si rimpiccioliscono e le loro prestazioni aumentano, i costi socio-ecologici dell'industria elettrodigitale crescono. Dunque, la miniaturizzazione – che permette di inserire sempre più componenti in spazi sempre più ridotti – diventa un 'fetaccio', marxianamente inteso, per cui il peso specifico di semiconduttori, chip e transistor, misurato in termini di movimentazione e consumo di risorse naturali ed energia, diventa gargantuesco. Un singolo smartphone, ad esempio, contiene in media oltre quaranta metalli diversi. Inoltre, il prodotto finale rappresenta solo il 2% della massa complessiva dei rifiuti generati lungo l'intero ciclo di vita: per esempio, la produzione di un microchip di due grammi comporta la generazione di circa 32 chilogrammi di scarti, ossia un rapporto di 1 a 16.000 tra materia utile e rifiuti (Pitron 2023).

La tendenza a una crescita dei costi socio-ecologici si può cogliere a partire da una tecnologia chiave nel quadro dell'industria elettrodigitale e, più nello specifico, dei circuiti integrati (IC) e per

la Legge di Moore: la litografia – cioè un metodo che utilizza la luce per stampare circuiti microscopici su un wafer di silicio, creando così i chip dei microprocessori – in particolare mediante EUV (*Extreme Ultraviolet*). Quest'ultima svolge una funzione cruciale poiché consente una riduzione della lunghezza d'onda di esposizione di un fattore 15 rispetto alla litografia UV profonda tradizionale, operando a 13 nm (Teng et al. 2023), essenziale per sostenere la legge di Moore e permettere la fabbricazione di dispositivi con dimensioni sempre più ridotte e maggiore densità di transistor, sebbene l'ambiente di vuoto richiesto e l'utilizzo di specchi multistrato altamente riflettenti introducano complessità tecniche e sfide ambientali legate al consumo energetico e all'inquinamento (Ma et al. 2022; Teng et al. 2023).

La capacità della litografia EUV di operare a 13 nm sostiene il ritmo di avanzamento previsto dalla legge di Moore, ma richiede un controllo ambientale rigoroso poiché contaminanti come vapore acqueo e idrocarburi, generati dal *fotorezist* – una sostanza chimica che reagisce alla luce per creare una patina sulla superficie di un wafer di silicio – o dal degassamento dei cavi, possono depositarsi sulle superfici ottiche sotto irradiazione EUV, riducendone la riflettività (Teng et al. 2023). La diffusione di queste sostanze, se non adeguatamente controllata, dà origine a problematiche ambientali multiformi, interessando atmosfera, suolo e risorse idriche. Dal punto di vista atmosferico, esse contribuiscono alla formazione di smog fotochimico, particolarmente in contesti industriali non adeguatamente controllati, dove l'interazione tra la radiazione EUV ad alta energia e gli idrocarburi ne favorisce la frammentazione in specie reattive che, combinandosi con ossidi di azoto e radiazione solare, generano ozono troposferico e particolato secondario, con conseguente degrado della qualità dell'aria nelle aree ad alta densità produttiva (Teng et al. 2023). Parallelamente, l'inquinamento da idrocarburi interessa anche il suolo e l'idrosfera, poiché i composti organici, attraverso una gestione non ottimale dei rifiuti di processo, possono infiltrarsi nel terreno contaminandolo, con ripercussioni lungo la catena alimentare. La natura idrofobica di molti di questi composti ne facilita inoltre la migrazione verso le falde acquifere, con conseguente compromissione degli ecosistemi acquatici e rischi per la salute pubblica legati alla possibile presenza di contaminanti nelle risorse idriche destinate al consumo umano (Teng et al. 2023).

A ciò si aggiungono le emissioni di gas serra e il consumo energetico dei sistemi a vuoto e di abbattimento (Ma et al. 2022), con l'idrogeno, usato per la pulizia delle superfici e la riduzione della contaminazione da stagno, che contribuisce significativamente all'impronta energetica, sebbene sistemi di riciclo possano ridurre le emissioni di CO₂ fino a 536 tonnellate annue per sistema (Ma et al. 2022). L'industria deve quindi bilanciare innovazione e sostenibilità attraverso ottimizzazione energetica, ad esempio con sistemi di terza

generazione che riducono del 49% i consumi, controllo avanzato dell'inquinamento, e gestione sostenibile delle risorse come il riciclo dell'idrogeno, approcci che migliorano l'efficienza produttiva riducendo contemporaneamente l'impronta di carbonio e allineando lo sviluppo tecnologico con le esigenze di sostenibilità globale (Ma et al. 2022; Teng et al. 2023).

Il punto diventa, quindi, riflettere sulla «energetica digitale» (Pasek et al. 2023) per comprendere come l'energia non sia semplicemente un *input* per il funzionamento dei dispositivi, ma il vero *medium* che plasma l'ecologia stessa dell'industria elettrodigitale. L'elettricità diventa così l'elemento che connette la chimica dei wafer di silicio con la geopolitica delle miniere di terre rare, i data center con le centrali a carbone, in un unico sistema metabolico che delinea una «storia naturale dell'elettronica» (Gabrys 2011): l'elettronica non scompare nel momento in cui viene dismessa, ma continua ad agire nell'ambiente sotto forma di rifiuti tossici, microplastiche e metalli pesanti, riconfigurando gli ecosistemi in modi spesso invisibili. Seguendo l'intuizione di Jussi Parikka (2015), i media - e per estensione le tecnologie digitali - non sono più una semplice estensione dei sensi umani, bensì della Terra, entrando così a pieno titolo nei processi geologici.⁴ Questa visione permette di smascherare la magnificazione digitale, cioè l'illusione ottica prodotta dall'immaginario tecnologico che dipinge il digitale come forza dematerializzante (Balbi 2022). In realtà, la cosiddetta rivoluzione digitale non ha affatto risolto il problema del metabolismo sociale con la natura, ma lo ha semplicemente traslato su scala globale, creando nuove forme di nocività che riconfigurano gli ecosistemi attraverso rifiuti elettronici, microplastiche e metalli pesanti.

Dunque, l'apparente paradosso della crescita tendenziale dei costi socio-ecologici della miniaturizzazione dei semiconduttori alla base dell'infrastrutturazione digitale sfida radicalmente il racconto dominante sul passaggio dall'analogico al digitale, dagli atomi ai bits (Marrone, Pirina, Peterlongo 2022). Quella che è stata presentata come una dematerializzazione dell'economia e dei consumi si rivela piuttosto una riconfigurazione della materialità, dove l'infrastrutturazione non più solo digitale ma figurale - con i suoi data center, cavi sottomarini e dispositivi sociotecnici di varia natura - riproduce e intensifica le logiche estrattive del Capitalocene. Come nota Guillaume Pitron (2023), ogni semplice clic o video in streaming attiva una complessa catena di processi materiali ed energetici che si estende attraverso continenti e oceani, che comprende oltre 500 anelli lungo le catene produttive con più di sedici mila subappaltatori.

⁴ A questo proposito si veda anche la mappa «Anatomy of an AI System» realizzata da Kate Crawford e Vladan Joler e consultabile alla pagina: <https://anatomyof.ai/>.

4.4 L'impronta dell'eco-infrastruttura digitale

La connettività permanente sulla quale si basa la digitalizzazione contemporanea ha implicazioni significative per il lavoro, la produzione e la sostenibilità ambientale. Da un lato, l'aumento della connettività ha migliorato l'accesso a informazioni, istruzione ed economie digitali. Tuttavia, ha anche intensificato la domanda di dispositivi elettronici e di infrastrutture informatiche e di telecomunicazione, tanto fisiche quanto intangibili, esercitando ulteriore pressione sulle catene di approvvigionamento manifatturiere globali.

Come si è chiesto la fisica ed esperta di impatto ambientale delle tecnologie digitali Giovanna Sissa: «potevamo davvero pensare che tale *universo digitale* fosse privo di un impatto ambientale?» (2024, 6). Effettivamente, a uno sguardo più attento, l'impronta ecologica e materiale emerge chiaramente. Uno studio condotto da Wang e colleghi (2021) sul consumo di acqua ed energia e sulle emissioni di gas serra (GHG) nell'industria dei semiconduttori, ha evidenziato l'elevata intensità di risorse necessarie per la produzione con una forte correlazione positiva tra il consumo di energia e il prelievo di acqua da parte delle aziende di semiconduttori. La loro analisi indica che nel 2021, il consumo totale di acqua da parte di 28 aziende di semiconduttori è stato di 789 milioni di m³, con un intervallo che variava tra 2,3 e 163,7 milioni di m³ per azienda.

Il consumo energetico totale ha raggiunto i 149 miliardi di kWh, con un intervallo compreso tra 410 milioni e 32,3 miliardi di kWh. Le emissioni totali di gas serra (GHG) sono state pari a 71,5 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente, suddivise in 27,4 milioni di tonnellate di emissioni dirette (Scope 1) e 44,1 milioni di tonnellate di emissioni indirette (Scope 2). Cinque aziende (Samsung, SK hynix, TSMC, Intel e Micron) hanno consumato oltre 50 milioni di m³ di acqua e 9 miliardi di kWh di energia ciascuna, mentre la maggior parte delle altre aziende ha registrato consumi inferiori a 30 milioni di m³ di acqua e 4 miliardi di kWh di energia (Wang et al. 2021). Per quanto riguarda il consumo medio per unità di prodotto, nel 2021 è stato calcolato che per ogni centimetro quadrato di prodotto sono stati consumati 8,22 litri di acqua, 1,15 kWh di energia e sono stati emessi 0,84 kg di CO₂ equivalente. Sulla base delle informazioni fornite da 6 imprese (DB HiTek, PSMC, VIS, HUAHONG, NXP e UMC) delle 28 considerate, lo studio ha calcolato che per la produzione di un singolo wafer da 8 pollici sono stati consumati 2,58 m³ di acqua, 361,3 kWh di energia e sono state emesse 263,9 kg di CO₂ equivalente. Dal 2017 al 2020, il consumo medio di acqua ed energia per unità di prodotto è aumentato rispettivamente del 15% e del 10,2%, mentre nel 2021 si è registrata una diminuzione del 10,5% per il consumo di acqua e del 13,6% per quello di energia rispetto al 2020. Le principali fonti di approvvigionamento idrico delle aziende di semiconduttori sono

state l'acqua superficiale, che ha rappresentato il 47,0% del totale, la fornitura municipale con il 35,3%, il prelievo di acque sotterranee con l'8,5%, la fornitura da terze parti con il 5,8% e l'acqua riciclata con il 3,2%. Sette aziende, tra cui PSMC, UMC, TSMC, GFS, Seagate, Sony e SK hynix, hanno utilizzato acqua riciclata proveniente da impianti di trattamento esterni, con percentuali che variavano dal 0,15% al 37,3% del consumo totale. TSMC, ad esempio, ha costruito impianti di riciclo dell'acqua per ridurre il consumo di acqua dolce, con uno di questi impianti che nel 2021 ha fornito 10.000 m³ di acqua riciclata al giorno (Wang et al. 2021).

Sissa, nella sua efficace e chiara esposizione sulle emissioni di gas climalteranti lungo le varie e articolate fasi che compongono il ciclo di vita delle tecnologie digitali, ha ricordato che possono essere raggruppate in due gruppi principali: le «emissioni incorporate», che «derivano dall'utilizzo di energia primaria nei processi di produzione, trasporto e smaltimento e le «emissioni operative», le quali «sono effetto del consumo di energia in fase di utilizzo» (2024, 23). Volendo utilizzare un linguaggio meno tecnico e più prossimo alle scienze sociali, potremmo richiamare quanto scritto nell'introduzione al presente libro sulla metafora dell'iceberg e sulla «storia sulla sfera» e la «storia in primo piano» (Fraser, Jaeggi 2019): la prima include l'insieme delle emissioni incorporate, la seconda le emissioni operative.

Data la loro organizzazione su scala globale e lungo molteplici settori e segmenti produttivi, le catene di produzione e del valore delle tecnologie digitali sono complesse e dinamiche (Sissa 2024). Da ciò deriva una difficoltà nella contabilità della loro impronta ecologica per quanto concerne le emissioni di gas climalteranti, il consumo energetico e idrico e l'inquinamento derivante dall'utilizzo di fonti fossili. Questo dipende da un carente quadro definitorio su cosa includere nel calcolo, ma anche al fatto che vi sono stati avanzamenti dal punto di vista dell'efficientamento energetico. Dunque, è un compito assai arduo creare un'equazione relativa al vantaggio in termini di consumo energetico dell'utilizzo di un dispositivo digitale rispetto al corrispettivo analogico/fisico a causa della quantità di variabili che entrano in gioco nel ciclo di vita di un prodotto. Il cosiddetto *rebound effect* è un esempio emblematico: i miglioramenti nell'efficienza tecnica delle tecnologie digitali (più potenza per kWh) vengono neutralizzati dall'aumento complessivo del traffico dati e dell'uso digitale globale (Galenbe 2023). Secondo Lange e Santarius (2020), questi sviluppi tecnologici rappresentano una forma di esternalizzazione dei costi ambientali, trasferendo i benefici economici a pochi attori e lasciando i costi ecologici alla collettività. In pratica, una privatizzazione della ricchezza e una socializzazione dei costi in salsa *green*.

Al netto della difficoltà di contabilizzare con precisione costi e benefici ambientali della transizione digitale, la letteratura converge nel ritenere che le ICT assorbano circa il 7-10% dei consumi elettrici mondiali, sulla base di stime modellistiche e di misurazioni consolidate (Andrae 2020; Gelenbe 2023). In termini di emissioni climalteranti, la migliore sintesi disponibile colloca l'impronta dell'ICT tra il 1,8% e il 2,8% delle emissioni globali, che può salire fino al 2,1-3,9% quando si corregge per la troncatura delle filiere (Freitag et al. 2021). Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, i soli data center e le reti di trasmissione hanno generato 330 MtCO_{2e} nel 2020, pari a 0,9% delle emissioni energetiche globali (IEA, 2023). Il report congiunto di International Telecommunication Union (ITU) e World Benchmarking Alliance (WBA) mostra che, nel 2023, 166 delle 200 aziende digitali valutate hanno riportato emissioni operative (quindi scope 1 e scope 2) di 297 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente (MtCO_{2e}), pari a circa lo 0,8% delle emissioni globali legate al settore energetico ed equivalenti alle emissioni annuali combinate di Argentina, Bolivia e Cile (ITU, WBA 2025). Di queste, le emissioni operative dirette (Scope 1) – dunque quelle derivanti da fonti di proprietà dell'azienda o sotto il suo diretto controllo – ammontavano a 46 milioni di tCO_{2e}, mentre le emissioni indirette derivanti dall'acquisto di energia elettrica *location-based* (Scope 2) – cioè quelle che considerano il mix energetico della rete locale – raggiungevano i 244 milioni di tCO_{2e}, segnando un incremento dell'1,4% rispetto al 2022, malgrado i crescenti impegni per la loro riduzione. Da quanto emerge dal report, le emissioni indirette lungo le catene del valore (Scope 3) rappresentano l'84% delle emissioni totali tra le aziende che hanno fornito dati completi, principalmente dovute all'uso dei prodotti venduti (57,6%), ai beni e servizi acquistati (23,7%) e ai beni capitali (5,6%). L'impatto più elevato è stato riscontrato nel settore dell'elettronica, con emissioni totali di 900,4 milioni di tCO_{2e}, seguito dal settore IT software e servizi con 319,5 milioni di tCO_{2e} e dalle telecomunicazioni con 279,5 milioni di tCO_{2e}.

Le emissioni sono fortemente concentrate: le prime 10 aziende, tra cui China Mobile, Amazon, Samsung Electronics, China Telecom, China Unicom, TSMC, Alphabet (Google), Microsoft, SK Hynix e BOE Technology Group, sono responsabili da sole del 53% delle emissioni operative complessive (Scope 1 e Scope 2). Queste aziende sono prevalentemente con sede in Asia orientale e Pacifico, regioni caratterizzate da un'elevata dipendenza da reti energetiche basate su fonti fossili. Secondo il già citato studio di Wang e colleghi (2021), le emissioni di gas serra sono diminuite costantemente nel tempo, con una riduzione del 19,4% nel 2021 rispetto al 2017. Tuttavia, ricerche più recenti che hanno incluso anche l'espansione dell'IA e della produzione di chip dedicati mostrano come questi ultimi stiano contribuendo significativamente all'aumento delle emissioni globali:

ad esempio, il consumo elettrico globale per la fabbricazione di chip IA è cresciuto di oltre il 350% tra il 2023 e il 2024, soprattutto nelle regioni altamente dipendenti da combustibili fossili, come Taiwan, Corea del Sud e Giappone (Greenpeace 2025; ITU, WBA 2025). Per quanto riguarda le fonti energetiche, nel 2021 l'elettricità ha rappresentato l'83,7% del consumo totale, seguita dai combustibili fossili con il 12,0%, dall'energia rinnovabile con il 2,7% e da altre fonti non rinnovabili con l'1,7%. Complessivamente, l'elettricità e i combustibili fossili hanno costituito il 95,8% del consumo energetico totale (Wang et al. 2021). Per comprendere la vasta portata dei consumi, lo studio ha paragonato l'impatto delle 27 principali aziende di semiconduttori (produttrici dei chip essenziali per l'elettronica moderna) alle esigenze di una popolazione civile. Ad esempio, nel 2021 il prelievo idrico totale era equivalente al consumo annuale di acqua di una città con 1,88 milioni di abitanti, mentre consumo energetico totale del settore, corrispondeva al fabbisogno energetico di una metropoli con ben 25,2 milioni di abitanti (Wang et al. 2021).

A valle dell'infrastrutturazione digitale, i data center, anche per via dell'espansione dell'IA, rappresentano una quota in rapido aumento dei consumi elettrici e idrici: nel 2024 hanno utilizzato 415 TWh (circa 1,5% dell'elettricità mondiale) e, secondo l'IEA, la domanda dei data center è destinata a superare i 945 TWh entro il 2030 (IEA, 2025; ITU-WBA, 2025 (ITU, WBA 2025)). Ma l'impatto ambientale non si limita al consumo energetico. Ad esempio, la costruzione di data center *hyperscale* comporta la cementificazione di vaste aree periurbane e rurali, frammentando gli ecosistemi, assorbendo acqua per i sistemi di raffreddamento e contribuendo alla frammentazione degli habitat naturali (Carr et al. 2022). Ad esempio, l'addestramento del modello GPT-3 nei data center di Microsoft ha consumato circa 5,4 milioni di litri di acqua, di cui 700.000 litri per il raffreddamento sul posto e si stima che la domanda globale di AI nel 2027 comporterà un prelievo di acqua tra 4,2 e 6,6 miliardi di metri cubi e un consumo tra 0,38 e 0,60 miliardi di metri cubi, equivalenti al consumo annuale di acqua di 4-6 volte quello della Danimarca o metà del Regno Unito (Li et al. 2023).

In parallelo, la crescente digitalizzazione ha contribuito alla pressione su catene globali di approvvigionamento di risorse naturali. La domanda di materie prime come le terre rare e semiconduttori è esplosa, accompagnando l'espansione della potenza computazionale e della produzione di dispositivi. Non a caso, la capitalizzazione delle 40 principali compagnie minerarie è triplicata dal 2003 al 2022 (PwC 2023), e sebbene questa crescita non sia dovuta unicamente alla digitalizzazione, segnala una tendenza di fondo: il digitale - meglio, l'industria elettrodigitale - ha un 'peso', e questo peso è misurabile anche in tonnellate di minerali estratti, trattati, trasportati e assemblati.

A ciò si aggiunge la contraddizione del mix energetico. Nonostante gli sforzi per una transizione ecologica, gran parte dell'infrastrutturazione digitale è alimentata ancora oggi da petrolio, gas e carbone. L'adozione di soluzioni verdi come il raffreddamento attraverso il riutilizzo dell'acqua o l'energia eolica/solare è importante, ma non ancora sufficiente a invertire la tendenza di fondo. Le politiche europee, pur esercitando una pressione normativa, non sempre si traducono in azioni concrete a livello industriale (Brodie 2025). Queste dinamiche riflettono la tensione tra la necessità di concentrare le risorse in poli altamente sviluppati e l'obiettivo di distribuire equamente i benefici della digitalizzazione tra le diverse aree geografiche.

4.5 Produzione e mercato dei semiconduttori: una panoramica globale

Dopo aver delineato le implicazioni ecologiche e geopolitiche dell'infrastrutturazione digitale attraverso i concetti di assemblaggi carbo-siliconici e capitale cyber-fossile, è necessario esaminare le forme concrete in cui tale sistema si struttura e si consolida a livello industriale. L'industria dei semiconduttori rappresenta, in tal senso, il nodo strategico per comprendere le dinamiche economiche, produttive e finanziarie.

Questa industria è dominata da poche grandi multinazionali, tra cui Intel, TSMC e Samsung, che controllano una quota significativa della produzione globale di microchip. Questa elevata concentrazione è dovuta agli enormi investimenti richiesti e alla complessità tecnologica del settore.

Le fasi produttive dell'industria dei semiconduttori sono organizzate su tre livelli, ciascuno con elevato gradiente di *know-how*:

1) design; 2) 'fabrication'; 3) 'assembly, testing and packaging' (ATP). All these three phases can be carried out: a) in-house, by a single company ('integrated device manufacturer' or IDM), as for Intel; although this happens in very few cases now; b) or, as it is much more common, by different agents. (Ruberti 2023, 2)

Dunque, da un lato ci sono grandi produttori integrati (IDM) come Samsung, Intel e SK Hynix, che controllano più fasi delle catene del valore; dall'altro le aziende *fabless*, come ad esempio Nvidia e Qualcomm, che progettano i chip e ne affidano la produzione a fonderie (*fab*) esterne specializzate come TSMC, attualmente la maggiore realtà mondiale nel campo della produzione a contratto: nel quarto trimestre 2024 TSMC ha detenuto circa il 67% del mercato

globale delle fonderie, raggiungendo un record di 70,2% nel secondo trimestre 2025 (TrendForce 2024; 2025b).

Per orientarsi nell'ecosistema, è utile distinguere fasi (progetto, fabbricazione su wafer, assemblaggio e test) e famiglie di prodotto. Una tassonomia accessibile che adotta questa doppia chiave — fasi + tipologie (logica/SoC, memorie, microprocessori e microcontrollori, analogico, optoelettronica/sensori/discreti) — è proposta nei recenti lavori dell'OCSE sulla filiera dei semiconduttori (OECD 2024; 2025). A livello europeo, i rapporti del JRC mostrano come la domanda automotive pesi in modo crescente sulla configurazione della filiera e sulle politiche industriali, specie per i semiconduttori di potenza (Bonnet et al. 202).

Sul piano quantitativo, il 2024 si è chiuso a 627,6 miliardi di dollari di vendite globali, con una previsione per il 2025 rivista al rialzo nel corso dell'anno fino a circa 700,9 miliardi (SIA 2025; WSTS 2025).

Dal lato della domanda, smartphone e comunicazioni restano un baricentro importante (5G, realtà estesa, IA sul dispositivo), ma una spinta crescente viene da server e data center dovuta all'adozione di acceleratori per l'IA (Mii 2024). In quest'ultimo segmento si stima che le vendite di semiconduttori possano raggiungere il picco di 156 miliardi di dollari nel 2025, con una traiettoria che raggiunge 361 miliardi nel 2030 (Infosys Knowledge Institute 2025).

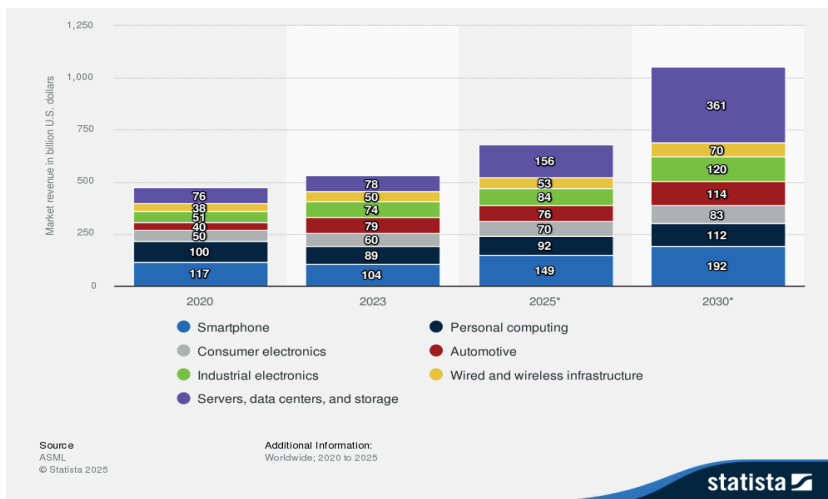


Figura 4 Ricavi del mercato globale dei semiconduttori nel periodo 2020-30, per mercato finale (in miliardi di dollari). Fonte: ASML 2025

Secondo l'ultimo report di PwC sullo stato dell'industria dei semiconduttori (2024), l'impatto dell'IA si manifesta principalmente lungo due direttrici: da un lato, l'integrazione di tecniche di IA nei processi di progettazione e fabbricazione dei chip; dall'altro, la crescente domanda di semiconduttori specializzati, trainata dalla diffusione di applicazioni avanzate di machine learning.

Sul piano produttivo, l'adozione di algoritmi di IA sta trasformando le metodologie di progettazione, consentendo un'ottimizzazione più efficiente dei circuiti integrati e una significativa riduzione degli errori di fabbricazione. L'analisi automatizzata di grandi dataset permette, ad esempio, di identificare precocemente difetti nei wafer o di perfezionare il layout dei transistor, accelerando così i tempi di sviluppo. Contemporaneamente, l'emergere di modelli con elevata potenza computazionale ha innescato una corsa verso soluzioni hardware sempre più performanti. Tale esigenza si traduce nella richiesta di componenti specializzati – tra cui GPU, TPU e memorie ad alta banda (HBM) – capaci di gestire l'onere computazionale associato alle fasi di training e inferenza dei modelli di deep learning (PwC 2024).

Un fenomeno particolarmente rilevante è la proliferazione di semiconduttori personalizzati, progettati *ad hoc* per applicazioni specifiche. Questa tendenza, che vede impegnati attori come Google, Microsoft e Amazon, riflette una strategia volta a conciliare efficienza energetica e capacità di calcolo. Non a caso, AWS ha sviluppato acceleratori dedicati (Tranium e Inferentia), mentre Google ha ottimizzato le proprie TPU per l'addestramento distribuito su larga scala. Analoghi sforzi sono osservabili nel contesto asiatico, con Huawei e Alibaba che stanno investendo in architetture proprietarie per superare i vincoli imposti dalle restrizioni tecnologiche (PwC 2024).

Nonostante gli impatti negativi legati a questa crescita, l'industria sta compiendo sforzi per rendere la produzione di microchip più sostenibile. Alcune aziende, come TSMC, stanno investendo in tecnologie più pulite e processi di produzione più efficienti per ridurre il consumo di energia e acqua e minimizzare i rifiuti tossici, implementando programmi di riciclaggio dell'acqua e di riduzione delle emissioni di gas serra nei suoi *fabs*. Tuttavia, questi sforzi sono spesso limitati dalla pressione competitiva e dalla necessità di ridurre i costi. Le tecnologie digitali stesse possono anche svolgere un ruolo nel promuovere la sostenibilità nell'industria dei semiconduttori; ad esempio, Cubitt (2017) ha esplorato come possano essere utilizzate per migliorare la trasparenza e la responsabilità nelle catene di approvvigionamento, attraverso piattaforme di tracciabilità e campagne di sensibilizzazione sui diritti dei lavoratori e la sostenibilità ambientale. È fondamentale, tuttavia, che queste

tecnologie siano impiegate in modo etico, evitando che contribuiscano a ulteriori forme di sfruttamento e inquinamento.

Tabella 7 Top 10 fornitori di semiconduttori per fatturato a livello mondiale, 2023-24 (in milioni di dollari statunitensi). Fonte: Gartner (aprile 2025);* trad. dell'Autore.

Posizione 2024	Posizione 2023	Fornitore	Fatturato 2024	Quota di mercato 2024 (%)	Fatturato 2023	Crescita 2024-23 (%)
1	3	NVIDIA	76.692	11,7	34.846	120,1
2	2	Samsung Electronics	65.697	10,0	40.868	60,8
3	1	Intel	49.804	7,6	49.427	0,8
4	6	SK hynix	44.186	6,7	23.077	91,5
5	4	Qualcomm	32.976	5,0	29.229	12,8
6	5	Broadcom	27.801	4,2	25.613	8,5
7	12	Micron Technology	27.619	4,2	16.153	71,0
8	7	AMD	24.127	3,7	22.307	8,2
9	8	Apple	20.510	3,1	18.052	13,6
10	13	MediaTek	15.934	2,4	13.451	18,5
-	-	Altri (fuori top 10)	270.536	41,2	269.031	0,6
-	-	Totale Mercato	655.882	100,0	542.054	21,0

4.5.1 Anatomia di un chip

La manifattura dei semiconduttori è un processo complesso e tecnologicamente avanzato che avviene nei *fabrication plants* (FABS), strutture altamente specializzate che richiedono investimenti miliardari per la costruzione e il mantenimento, con costi che possono superare i 10-20 miliardi di dollari per impianti all'avanguardia, come dimostrato, ad esempio, dall'investimento da oltre 40 miliardi di dollari di TSMC per allestire un impianto in Arizona. La produzione di litografi *extreme ultraviolet* (EUV), in cui domina l'olandese ASML, costa oltre 150 milioni di dollari per unità (ASML Annual Report 2022). La fabbricazione ha luogo prevalentemente in paesi come Taiwan, Corea del Sud e, in misura minore, Cina e Stati Uniti (Baldwin 2016).

5 Per un approfondimento con la tabella originale, si rimanda all'articolo consultabile alla seguente pagina: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-04-10-gartner-says-worldwide-semiconductor-revenue-grew-21-percent-in-2024>.

Il modello *fabless* permette di evitare questi investimenti, caratterizzandosi per una netta separazione tra progettazione e produzione. Questo approccio consente di concentrarsi sull'innovazione e sul design dei chip, delegando la produzione a terzi. Tale modello ha favorito una divisione internazionale del lavoro altamente specializzata (Gereffi, Fernandez-Stark 2016): le imprese *fabless*, prevalentemente localizzate negli Stati Uniti (es. NVIDIA, Qualcomm e AMD), si occupano della progettazione, mentre le fonderie (*fabs*), concentrate prevalentemente in Asia (Taiwan, Corea del Sud, Malesia, Indonesia e Cina), gestiscono la produzione.

Infine, l'assemblaggio e i test vengono spesso effettuati in paesi dove il costo della manodopera è più contenuto, come Cina, Vietnam e Filippine. Questa fase è caratterizzata da un'intensa attività manuale e da una logistica complessa, che richiede una forza lavoro abbondante e a basso costo (Milberg, Winkler 2013).

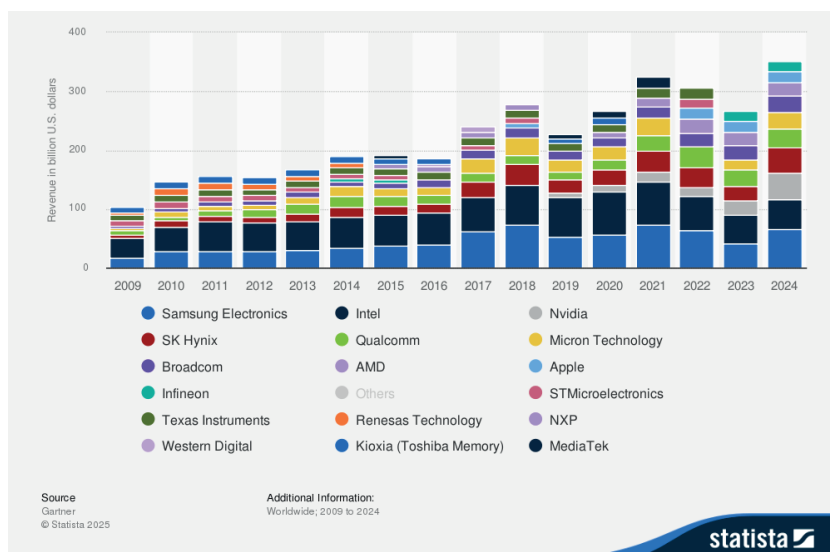


Figura 5 Ricavi delle imprese di semiconduttori a livello globale, nel periodo 2009-24 (in miliardi di dollari). Fonte: Statista 2025c

Nel 2024, Nvidia si è confermata leader tra le *fabless* di circuiti integrati (IC), raggiungendo ricavi pari a 124,38 miliardi di dollari statunitensi, un significativo incremento rispetto ai 55,27 miliardi registrati l'anno precedente, posizionandosi come protagonista assoluta della rivoluzione dell'intelligenza artificiale che sta trasformando il panorama tecnologico globale (TrendForce 2025). La crescita esponenziale di Nvidia (come esemplificato dalla Figura 6) è strettamente legata all'adozione dei suoi chip per l'addestramento

e l'esecuzione di modelli linguistici avanzati, come ChatGPT, e più in generale per applicazioni di IA che richiedono processori specializzati, in grado di offrire maggiore potenza, efficienza e ottimizzazione per algoritmi di machine learning complessi. Questo boom dell'IA ha favorito non solo Nvidia, ma anche altre aziende *fabless* come Qualcomm e AMD, contribuendo a un significativo aumento dei loro ricavi (TrendForce 2025c).

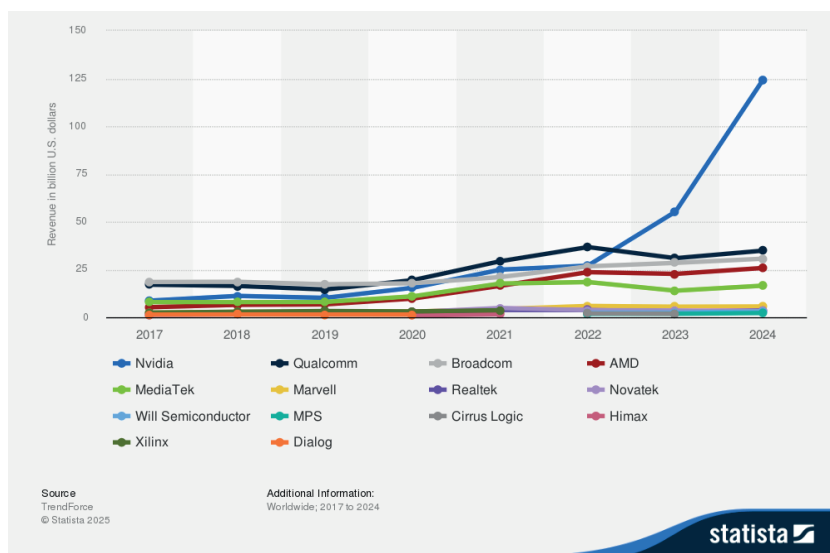


Figura 6 Ricavi delle imprese *fabless* nel periodo 2017-24 (in miliardi di dollari).

Fonte: Statista 2025b

Per quanto riguarda la capitalizzazione di mercato, nonostante il crollo di oltre 600 miliardi di dollari di valore di mercato a causa dell'introduzione di DeepSeek, Nvidia nel primo trimestre del 2025 si è attestata come leader con 3.050 miliardi di dollari, davanti TSMC, Broadcom, ASML e Samsung. Dal punto di vista geografico, il settore rimane saldamente nelle mani di attori nordamericani e asiatico-pacifici, con particolare riferimento ai mercati cinese, sudcoreano e taiwanese, che guidano la spesa globale in macchinari per la produzione di chip. In questo contesto spicca il ruolo strategico dell'europea ASML, unico produttore al mondo di sistemi di litografia a raggi ultravioletti estremi (EUV), tecnologia fondamentale per i processi produttivi più avanzati. La posizione di ASML come fornitore esclusivo di aziende come TSMC - a sua volta principale partner produttivo di Nvidia - evidenzia le complesse interdipendenze che caratterizzano questa industria globale ad alta intensità tecnologica.

A dicembre 2024, le vendite globali di semiconduttori hanno raggiunto i 56,97 miliardi di dollari statunitensi, registrando un incremento di oltre 12 miliardi rispetto allo stesso mese dell'anno precedente. L'analisi per aree geografiche conferma il predominio della regione asiatica, che si mantiene il principale mercato di riferimento, seguita dalle Americhe e dall'Europa (World Semiconductor Trade Statistics 2025). Sebbene il Vecchio Continente mostri volumi di vendita inferiori, il recente annuncio dell'Unione Europea di voler raggiungere entro il 2030 una quota pari al 20% della produzione globale di semiconduttori in termini di valore potrebbe ridisegnare gli equilibri del settore.⁶

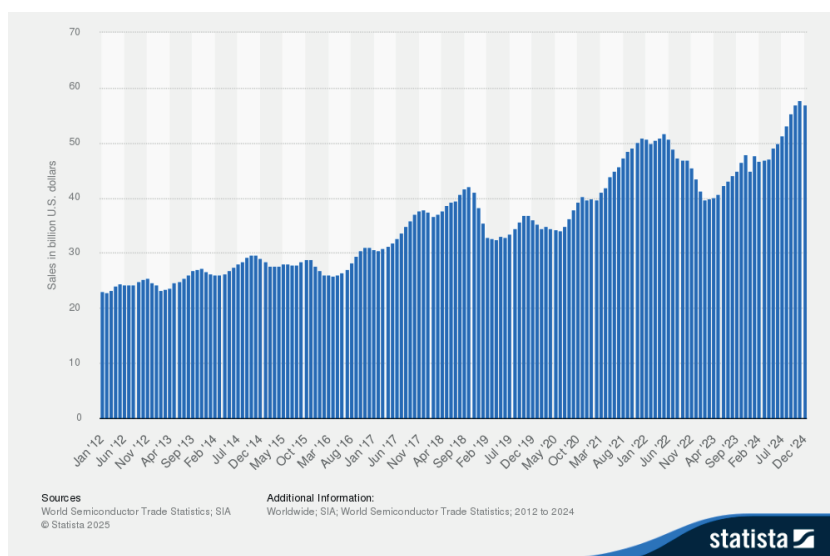


Figura 7 Vendite globali di semiconduttori nel periodo 2012-24, per mese (in miliardi di dollari).
Fonte: Statista 2025a; WSTS 2025

4.6 La crisi dei chip e le dinamiche geopolitiche

Gli avvenimenti degli ultimi anni - dalla pandemia di COVID-19 alla guerra commerciale lanciata dall'Amministrazione Trump all'inizio del 2025 - impongono una riflessione, per quanto breve e certamente

⁶ Le informazioni sul Regolamento europeo sui Chips, con gli obiettivi specifici e il quadro degli investimenti sono consultabili alla seguente pagina: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_it.

non esaustiva, sulle criticità relative all'approvvigionamento di materiali critici. A questo riguardo, i semiconduttori, in virtù della loro centralità nell'organizzazione economico-sociale degli ultimi 50 anni, ricadono in dinamiche strategiche, di sicurezza e geopolitiche per le entità statali, sovrastatali e le imprese.

La recente «crisi dei chip» (Condemi, Diddi, Franchina 2025) si inserisce nel più ampio contesto dell'approvvigionamento delle materie prime critiche e strategiche: le prime in relazione ai rischi di approvvigionamento, le seconde definite in questo modo per la centralità che esse rivestono in specifici settori economico-produttivi, per la difesa e nel settore energetico. La concentrazione della produzione in pochi paesi (in particolare Taiwan, Corea del Sud e Cina) ha creato dipendenze strategiche che hanno implicazioni globali. Ad esempio, la carenza di semiconduttori durante la pandemia di COVID-19 ha evidenziato la vulnerabilità delle catene di approvvigionamento globali e ha spinto molti paesi a ripensare le proprie strategie industriali.

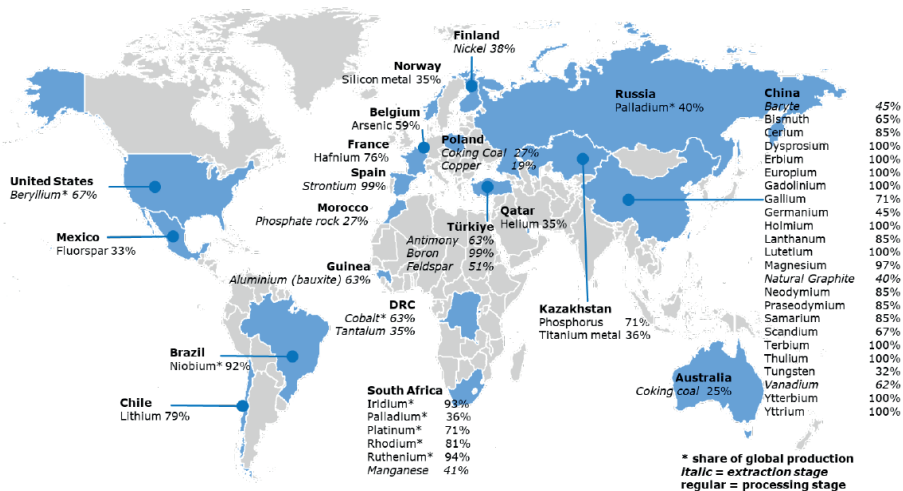


Figura 8 Mappa dei principali fornitori di CRMs per l'Europa, al 2023.
Fonte: European Commission 2023

Secondo Miller (2022), la competizione tra Stati Uniti e Cina per il controllo della produzione di semiconduttori è diventata una delle principali aree di conflitto geopolitico. Gli Stati Uniti hanno imposto sanzioni alla Cina per limitare l'accesso alle tecnologie avanzate, mentre la Cina ha intensificato gli investimenti nella produzione domestica di semiconduttori, cercando di ridurre la propria dipendenza dalle importazioni. L'approvvigionamento di questi ultimi nell'Unione Europea ha una valenza strategica e di

sicurezza (energetica) nel quadro delle transizioni gemelle digitale ed energetica, proprio in virtù della loro applicazione in una pluralità di segmenti fondamentali per conseguire tali transizioni.

Ma, ad una più attenta lettura storica dell'industria dei semiconduttori, quest'ultima emerge ricorsivamente come oggetto della tensione tra attori globali. Prima della Cina, negli anni Ottanta il Giappone è stato il principale competitore degli Stati Uniti – seppur in un rapporto di alleanza, a differenza di quanto accade oggi con la Cina – nella produzione e commercializzazione di semiconduttori. Douglas A. Irwin, professore universitario statunitense ed esperto in politiche commerciali, in uno scritto del 1996 per il National Bureau of Economic Research descrisse approfonditamente i motivi delle scelte protezionistiche attuata dall'Amministrazione Reagan negli anni Ottanta per tutelare le imprese produttrici di semiconduttori dall'ascesa nipponica. Quest'ultima avviata negli anni Settanta e basata sul sistema produttivo integrato noto come *keiretsu*, fu sostenuta da massicci investimenti statali e da una struttura industriale che creava barriere d'ingresso per imprese straniere (Irwin 1996). La concorrenza in un settore altamente strategico per le applicazioni sia in ambito civile che militare convinse gli Stati Uniti – su spinta della Semiconductor Industry Association (SIA) – ad imbastire un tavolo negoziale per tutelare gli interessi delle principali aziende statunitensi di produzione di semiconduttori e attuare misure antidumping, in particolare per la produzione di chip DRAM (*Dynamic Random Access Memory*) e EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*). Ad esempio, il prezzo dei DRAM da 64K scese da circa \$ 3,00 nel primo trimestre del 1984 a \$ 0,75 a metà del 1985, rendendo difficile per i produttori statunitensi competere a causa dei ridotti margini di profitto. Ciò comportò il guadagno di quote di mercato significative da parte delle imprese nipponiche: nel mercato globale dei DRAM, la quota statunitense scese dal 70% nel 1978 al 20% nel 1986, mentre la quota giapponese è aumentata dal 30% al 75% nello stesso periodo (Irwin 1996).

L'esito del tavolo negoziale fu un accordo commerciale siglato nel 1986, che imponeva al Giappone di monitorare i prezzi di esportazione per evitare pratiche sleali e di garantire ai produttori stranieri un accesso equo al proprio mercato con una quota del 20% per le aziende americane entro cinque anni (Irwin 1996). Tuttavia, le misure per limitare la produzione e aumentare i prezzi attuate dal Giappone attraverso il Ministero del Commercio Internazionale e dell'Industria non riuscirono nell'intento. Perciò, l'amministrazione Reagan nell'aprile del 1987 impose dazi del 100% su 300 milioni di dollari di importazioni giapponesi, un atto senza precedenti contro un alleato strategico (Irwin 1996; Miller 2024).

Gli andamenti dell'industria si basano infatti su cicli di rapida crescita della domanda seguiti da bruschi cali, come dimostrato dal

boom-and-bust cycle del 1999-2001, in cui il 2001 è stato definito «l'anno peggiore mai visto» per il settore (Bezemer, Akkermans 2003). Durante il boom (1999-2000), la domanda è cresciuta del 35%, trainata dall'espansione di Internet e dell'elettronica di consumo, portando a investimenti eccessivi in capacità produttiva. Tuttavia, nel 2001, la saturazione del mercato e l'effetto 'frusta' hanno causato un crollo della domanda, lasciando le aziende con capacità inutilizzata e livelli di inventario insostenibili. La rigidità delle catene di approvvigionamento ha perciò comportato ritardi significativi nell'adattarsi a queste fluttuazioni, con differenti tipi di riardo: ritardi operativi (10-20 settimane per indicatori come la qualità delle consegne), tattici (1-2 anni per l'inventario) e strategici (2-3 anni per l'adeguamento della capacità) (Bezemer, Akkermans 2003). Tali criticità si collocano nel quadro di una modello logistico *just-in-time*, con una riduzione degli inventari in cui immagazzinare le risorse.

4.7 Le politiche per i semiconduttori in Europa e Italia

Nell'epoca post-COVID-19, l'Unione Europea ha avviato una serie di politiche, strategie e pacchetti di sviluppo, tra cui il *NextGenerationEU* e il *Green Deal*, volte a mitigare il cambiamento climatico e a sostenere la transizione gemella verde-digitale e la sovranità digitale. Tuttavia, queste ambizioni hanno dovuto affrontare sfide cruciali, come il crollo dell'approvvigionamento di semiconduttori e di materie prime critiche e strategiche.

La produzione di semiconduttori in Europa è storicamente andata a rilento, rimanendo indietro rispetto ad altri contesti territoriali più rilevanti, in particolar modo Stati Uniti, Cina, Taiwan, Corea del Sud e Giappone. In un mercato globale che vale oltre 550 miliardi di dollari, l'Europa rappresenta solo il 10% della produzione mondiale, in calo rispetto al 30% degli anni Novanta (Yeung 2022; Johnston, Huggins 2023). Nonostante questo ritardo, l'industria europea dei semiconduttori è caratterizzata da una solida base tecnologica e da una rete di distretti innovativi, tra cui Leuven (Belgio), Dresda (Germania), Eindhoven (Paesi Bassi) e Grenoble (Francia), in cui sussiste una stretta collaborazione tra aziende, università e centri di ricerca, che favorisce lo sviluppo di tecnologie avanzate e sinergie interdisciplinari (European Commission 2013; Huggins et al. 2022).

Tabella 8 Principali imprese europee di semiconduttori. Fonte: industriALL European Trade Union 2023.

Posizione	Impresa	Paese	Ricavo (milioni di dollari)	N° lavoratori
7	ASML	Olanda	27.424	37.704
15	STMicroelectronics	Francia/Italia	17.318	51.370
16	Infineon	Germania	17.240	57.217
19	NXP Semiconductors	Olanda	12.177	34.500
39	ASM International	Olanda	2.811	4.258
45	AT&S	Austria	2.026	14.403
46	Silitronic	Germania	1.851	4.500
60	Soitec	Francia	963	1.986
62	Melexis NV	Belgio	923	1.900
70	X-Fab	Belgio	769	4.200
79	BE Semiconductor	Olanda	635	1.682
80	Technoprobe	Italia	588	2.120
87	Aixtron	Germania	475	974
91	Magnachip	Lussemburgo	338	897

La dipendenza dalle importazioni di semiconduttori, dimostrata anche dal deficit commerciale di circa 20 miliardi di euro con i principali paesi produttori ed esportatori – in particolare dalla Cina, che rappresenta un terzo delle importazioni europee di chip (European Commission 2022; Johnston, Huggins 2023; Meyers 2022) – espone l'Europa a rischi di approvvigionamento, accentuati dalle recenti tensioni geopolitiche tra Stati Uniti e Cina (Fitri 2022).

In questo scenario, gli Stati Uniti hanno approvato il *Chips and Science Act*, con un investimento di 50,3 miliardi di dollari per rafforzare la produzione nazionale e la sicurezza della catena di approvvigionamento. Hanno inoltre creato un'alleanza strategica, il *Chip 4*, con Giappone, Corea del Sud e Taiwan, per favorire l'attrazione di colossi come TSMC – che sta costruendo due mega-fab in Arizona per 40 miliardi di dollari – e Intel, impegnata in Ohio con un investimento da 20 miliardi, con l'obiettivo di riportare la quota statunitense nella produzione globale dal 12% al 20-30% entro il 2030 (Blevins et al. 2023; Sutter et al. 2023).

Per affrontare queste sfide, l'Unione Europea ha introdotto il *Chips Act*, un'iniziativa da 43 miliardi di euro che mira a raggiungere il 20% della produzione globale di semiconduttori entro il 2030 (Condemi, Diddi, Franchina 2025). Il piano si articola in tre pilastri: promuovere l'innovazione, garantire la sicurezza delle forniture e coordinare gli interventi a livello europeo (European Commission 2022). Ciò si è tradotto in un'aumentata quota di investimenti per l'apertura di impianti di produzione di semiconduttori, così come in una 'corsa' ad attività di ricerca, prospezione ed estrazione di materie prime 'critiche' e 'strategiche'.

La ESIA in un documento pubblicato nel 2021⁷ ha sottolineato l'impegno dell'industria dei semiconduttori europea per ridurre le emissioni di carbonio e per supportare il *Green Deal*. Ciò avviene attraverso l'implementazione di soluzioni tecnologiche innovative abilitate dai semiconduttori, che rappresentano strumenti chiave per la decarbonizzazione delle economie. I semiconduttori, ha ribadito la ESIA, contribuiscono a ridurre l'impronta ambientale della società ottimizzando l'uso dell'energia nei settori dei trasporti, della produzione, dei prodotti di consumo e dei servizi. Inoltre, facilitano la transizione verso un'economia decarbonizzata e promuovono una società sostenibile e innovativa.

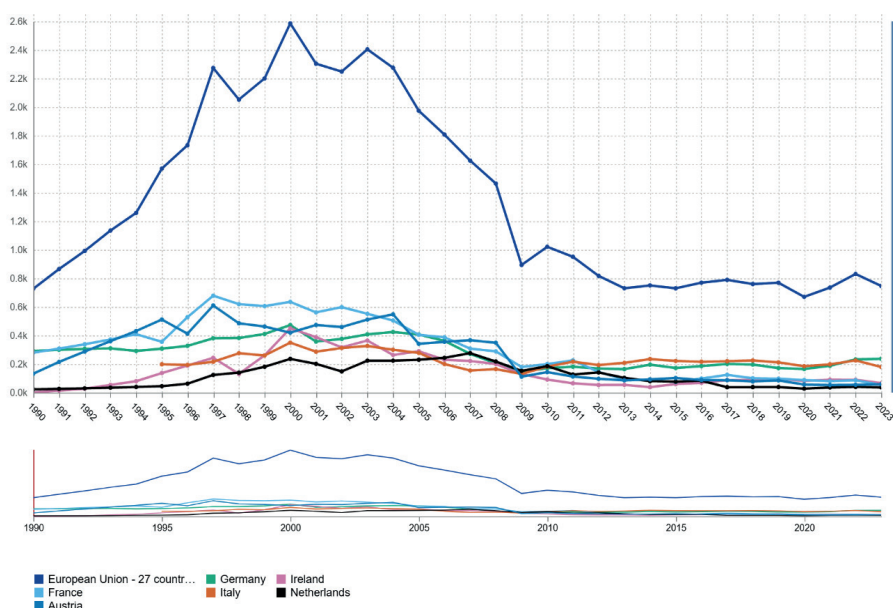


Figura 9 Emissioni di inquinanti atmosferici e gas serra, in migliaia di tonnellate, per la produzione di circuiti integrati e semiconduttori in UE, per settore (1990-2023). Fonte: Eurostat (2025).
Note: Inquinanti atmosferici e gas serra: Gas serra (CO₂, N₂O in equivalente CO₂, CH₄ in equivalente CO₂, HFC in equivalente CO₂, PFC in equivalente CO₂, SF₆ in equivalente CO₂, NF₃ in equivalente CO₂)

Indubbiamente si tratta di un dato di realtà, che tuttavia va contestualizzato nei processi decennali di delocalizzazione delle fasi produttive a maggiore impronta ecologica. Per quanto riguarda le emissioni di GHG, ma anche l'uso di sostanze pericolose per la salute

7 Il documento è disponibile alla seguente pagina: https://www.eusemiconductors.eu/sites/default/files/uploads/ESIA_GHGbrochure_1907.pdf.

umana e ambientale, è infatti ormai noto che la fase più critica sia quella manifatturiera; dunque, la parte dell'iceberg digitale e della storia sullo sfondo che comprende le emissioni incorporate. È qui, nel momento della produzione, fusione e raffinamento di materie prime critiche, semilavorati e nel loro assemblaggio come dispositivi elettronici che viene emesso oltre l'80% di gas climalteranti (Cook, Jardim 2017; Sissa 2024).

4.7.1 Il panorama italiano

Sulla base di quanto riportato da Arsenio Spadoni su *Elettronica e Mercati*,⁸ l'Italia vanta una filiera dei semiconduttori compatta ma fortemente specializzata, il cui valore complessivo (produzione wafer, impianti di processo, ricerca e servizi di test) è stimato in 6-8 miliardi di dollari. Il baricentro produttivo rimane STMicroelectronics, che presidia i due poli di Agrate Brianza, dove è stata appena avviata una nuova linea che usa dischi di silicio più grandi (300 mm) e tecnologie di fascia media (40-65 nm) grazie ai fondi del *Chips Act* europeo, e Catania, che è diventata il punto di riferimento in Europa per materiali avanzati come carburo di silicio e nitruro di gallio, indispensabili per auto elettriche e sistemi energetici. La prima fase di produzione dei chip è completata da LFoundry ad Avezzano, una fonderia che realizza sensori per fotocamere, e da MEMC-GlobalWafers, che tra Merano e Novara taglia i dischi di silicio e sta ampliando la capacità sui formati più grandi con l'aiuto del Fondo Nazionale per la Microelettronica.

Nella costruzione dei macchinari e nel collaudo dei chip, l'Italia può contare su aziende molto orientate all'export - Technoprobe, SPEA, Seica, Osai, LPE, ELES - che insieme fatturano oltre un miliardo di euro e vendono più del 70% dei loro prodotti all'estero. Rimane invece scoperto l'assemblaggio finale dei chip, un vuoto che il governo vorrebbe colmare con l'arrivo della società singaporiana Silicon Box.

Sempre secondo Spadoni, grazie a queste risorse e ai nuovi incentivi nazionali ed europei (*National Chips Act*, crediti d'imposta per ricerca e sviluppo, progetti IPCEI), l'Italia mira a ritagliarsi un ruolo di media grandezza in Europa, puntando su elettronica di potenza, automotive e strumenti di test. Con politiche coordinate e maggiori investimenti privati, le eccellenze di nicchia di oggi potrebbero diventare una filiera completa e competitiva.

Effettivamente, pacchetti di sviluppo come il *NextGenerationEU* sono stati declinati a livello nazionale con il PNRR, aprendo

⁸ Per una panoramica dell'industria italiana dei semiconduttori si veda l'articolo disponibile alla seguente pagina: <https://www.elettronicaemercati.it/litalia-dei-chip-una-panoramica-dellindustria-italiana-dei-semiconduttori/>.

così una rinnovata fase di investimenti anche in Italia. Tra i vari settori individuati come strategici, sia per la transizione gemella verde-digitale sia per la sovranità digitale, vi è quello della microelettronica e dei semiconduttori. Dal 2022 in avanti, il governo italiano ha infatti avviato una serie di piani di investimento volti a potenziare le catene di produzione e di fornitura italiane – e, dunque, il ruolo dell'Italia nel quadro delle catene globali del valore – di semiconduttori. In seguito all'implementazione dello *European Chips Act*, è stato stanziato il Fondo nazionale per la microelettronica, di oltre 4 miliardi di euro fino al 2030. Secondo una nota tematica del Dipartimento del Tesoro italiano, tale Fondo

è stato utilizzato per una serie di misure organiche con una visione sistemica del settore: i) aiuti alla produzione di impianti primi nel loro genere, ii) sostegno a progetti di ricerca e sviluppo avviati dalle imprese, iii) finanziamento di progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito del partenariato europeo previsto dal Chips Act (Chips Joint Undertaking), iv) promozione dello sviluppo dell'infrastruttura di ricerca per le nano ed eterostrutture e per i materiali avanzati a semiconduttore, e v) sostegno alle linee pilota definite nell'ambito del Chips Act. (Pierleoni 2023, 4)

Nel 2023, il governo italiano ha intensificato gli sforzi per rafforzare la presenza nazionale nel settore strategico della microelettronica. Una delle iniziative più significative è stata l'istituzione della Fondazione Chips.IT, con sede a Pavia, configurata come 'Centro italiano per il design dei circuiti integrati a semiconduttore'. Il centro, inaugurato con un investimento pubblico di 225 milioni di euro, si propone di sviluppare competenze avanzate nel chip design, fornire infrastrutture e software all'avanguardia, coordinare progetti pubblico-privati e formare nuove generazioni di lavoratori altamente specializzati (Vincentelli et al. 2025).

Inoltre, l'Italia ha attivato un ampio quadro di strumenti politico-industriali: un Fondo Nazionale multimiliardario per la Microelettronica, un *National Chips Act* (con agevolazioni fiscali per attività di ricerca e sviluppo fino a 530 milioni di euro entro il 2027) e una partecipazione significativa agli IPCEI europei sulla microelettronica con un impegno complessivo di oltre 1 miliardo di euro.⁹

⁹ <https://www.investinitaly.gov.it/sectors/microelettronica-semiconduttori>.

4.8 I data center

La fruizione di Internet e, in generale, di servizi e strumenti digitali è possibile grazie a specifiche manifestazioni materiali e territoriali, come i punti di interscambio (*Internet Exchange Point* - IXP) e i data center. I primi sono infrastrutture fisiche che consentono un interscambio efficiente del traffico Internet tra i diversi fornitori (*Internet Service Provider*). I secondi svolgono un ruolo cruciale nella società contemporanea come infrastrutture fondamentali per l'economia digitale. I data center sono luoghi fisici - o meglio, figitali - che contengono moltissimi server e che assolvono la funzione di immagazzinamento e elaborazione dati, e che rendono possibile l'utilizzo di servizi nel *cloud*. Come sottolineato da Julia Velkova e Jean-Christophe Plantin (2023), essi mediano le temporalità dei dati, influenzando il ritmo, la velocità e la durata delle operazioni digitali. La maggior parte dei contenuti e dei dati su Internet passa attraverso e viene archiviata in queste strutture, rendendole essenziali per il funzionamento di servizi digitali come piattaforme online, streaming video e social media. Contrariamente a quanto possa far supporre il riferimento alla 'nuvola' (appunto, *cloud*), con un richiamo quindi all'impalpabilità e leggerezza, l'impatto ambientale o il peso dei data center in quanto apparato socio-tecnico è elevato. Le tecnologie di cloud computing non avverano una dematerializzazione fisica, quanto piuttosto una dematerializzazione logica dei server che rendono possibile la fruizione dei servizi ICT tramite Internet (Sissa 2024, 59).

Lungi dall'essere immateriali e solo virtuali, queste infrastrutture cyber-fisiche o figitali presentano un elevato fabbisogno energetico, stimato tra l'1% e il 3% del consumo globale di energia elettrica. Secondo stime recenti (Lange, Santarius 2020; Monserrate 2022), l'incremento globale delle capacità dei data center con un consumo annuale di 200 terawattora (TWh) ha spinto un consumo di energia che supera quello di interi settori industriali, come quello aereo, e nazioni. Shehabi e colleghi (2018) hanno stimato che, a livello globale, il consumo energetico legato ai data center potrebbe crescere fino al 13% della domanda mondiale di elettricità entro il 2030. I data center, inoltre, rappresentano lo 0,3% delle emissioni globali di carbonio, che sale al 2% includendo dispositivi connessi come laptop e smartphone (Monserrate 2022).

Questo consumo energetico è fortemente concentrato, con gli Stati Uniti, l'Europa e la Cina responsabili di circa l'85% del totale (IEA 2025). Negli Stati Uniti, la domanda di energia derivante dai data center è cresciuta del 12% all'anno dal 2015 al 2024, raggiungendo i 180 TWh nel 2024 - quasi il 45% del totale globale e oltre il 4% dell'uso nazionale di elettricità. Il settore dei data center in Cina si è espanso rapidamente dopo il 2015, con una crescita annua della domanda di elettricità del 15% - il doppio del tasso del periodo 2005-15 - contro

un aumento del 7% del consumo energetico complessivo. Attualmente, i data center cinesi consumano circa 100 TWh, paragonabile all'uso di veicoli elettrici nel paese, e rappresentano il 25% della domanda globale, in aumento rispetto a meno del 20% di un decennio fa. Tuttavia, persistono sfide nella stima a causa delle limitazioni dei dati. In Europa, i data center rappresentano poco meno del 2% dell'uso di elettricità (contro l'1,1% della Cina). Il consumo specifico dei data center è pari a circa 74 TWh annui, rappresentando il 2,25% del consumo totale energetico europeo (JRC/EU 2020, citato in Bettiol, Fano, Toschi 2023), per un totale di 70 TWh nel 2024 e con proiezioni che indicano una potenziale crescita globale fino a 2000-3000 TWh entro il 2030 (Andrae et al. 2019, citato in Bettiol, Fano, Toschi, 2023, 15). Sebbene la quota globale dell'Europa sia diminuita, rimane leggermente al di sopra del 15% (IEA 2025). In Italia, secondo gli ultimi aggiornamenti diffusi da Terna, le richieste di connessione alla rete elettrica da parte dei data center hanno raggiunto 30 GW nel 2024, con un incremento di 24 GW rispetto al 2023. La domanda risulta fortemente concentrata nel Nord, con 25,83 GW (86,52% del totale), con una forte localizzazione in Lombardia (circa 18,6 GW) di cui circa la metà concentrati nell'area milanese (Terna 2025).

Tale intensità energetica deriva dalla necessità di una connettività permanente, 24/7, alimentando apparati IT e sistemi di raffreddamento che dissipano il calore generato. Il raffreddamento è la fase più energivora, con oltre il 40% del consumo energetico, mentre solo il 6-12% dell'energia è dedicata ai processi computazionali attivi (Monserrate 2022). A livello tecnico, l'efficienza energetica è quantificata attraverso l'indicatore *Power Usage Effectiveness* (PUE), dove valori prossimi a 1 denotano un uso ottimale dell'energia, con operatori avanzati, come Facebook e Google, che registrano PUE medi di circa 1,1 (Bettiol, Fano Toschi 2023). Oltre all'energia, i data center consumano grandi quantità di acqua¹⁰ principalmente per il raffreddamento dei server e la generazione di elettricità, suddividendo l'uso in tre ambiti: il consumo diretto sul posto (Scope-1), che include l'acqua evaporata nei sistemi di raffreddamento e quella utilizzata per il controllo dell'umidità, con un'efficienza che varia in base alle condizioni climatiche e ai metodi di raffreddamento; il consumo indiretto (Scope-2), legato alla produzione di elettricità, con un prelievo medio di 43,8 L/kWh e un consumo di 3,1 L/kWh negli Stati Uniti; e il consumo nella catena di fornitura (Scope-3), che comprende l'acqua impiegata nella fabbricazione di chip e server, spesso con scarico di sostanze chimiche tossiche (Li et al. 2023). Il consumo stimato per lo stoccaggio raggiunge dati fino a 5 litri per GB, con

10 L'efficienza del consumo di acqua si calcola attraverso il *Water Usage Effectiveness*, indicatore dato dal rapporto tra consumo di acqua *in situ* e consumo energetico dei server.

impatti idrici complessivi per GB che oscillano tra 0,1 e 35 litri a seconda delle tecnologie e delle condizioni (Bettiol, Fano, Toschi 2023).

Le fonti di inquinamento includono anche i rischi associati allo stoccaggio di ingenti volumi di carburanti fossili per i generatori di emergenza, con potenziali perdite e contaminazione, l'inquinamento acustico generato dai sistemi di raffreddamento e dai generatori, i campi elettromagnetici e la produzione di rifiuti elettronici derivante dalla rapida obsolescenza delle apparecchiature (Murdock, Brevini 2019). L'impatto ambientale si estende all'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime al fine vita, e può essere sistematicamente valutato tramite il *Life Cycle Assessment* (LCA), conforme agli standard ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (Cerana 2023). Le fasi di LCA includono la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, l'analisi di inventario (LCI) con la raccolta dei dati sui flussi di input e output, la valutazione dell'impatto (LCIA) associando i flussi agli impatti ambientali, e l'interpretazione dei risultati per identificare le fonti principali di impatto (Cerana 2023). L'applicazione dell'LCA al data center VSIX dell'Università di Padova, ad esempio, ha evidenziato che gli impatti ambientali maggiori sono legati alla fase di produzione dei componenti e alla realizzazione del data center stesso, con quote stimate tra il 71% e il 92% a seconda delle ipotesi, mentre gli impatti sul funzionamento (consumi energetici) risultano minori (Borgo, De Pietro 2023, 9). Questo sottolinea come i miglioramenti nelle performance degli apparati, pur riducendo i consumi operativi, possano avere implicazioni ambientali rilevanti nella fase produttiva; un'analisi comparata tra un disco HDD e un disco SSD di pari dimensioni e capacità ha mostrato emissioni legate alla produzione e al trasporto 50 volte superiori per l'SSD, attribuibili principalmente al processo di produzione dei circuiti integrati (Borgo, De Pietro 2023, 9).

I data center, in quanto infrastruttura digitale, includono numerose materie prime *critiche* e strategiche (*Critical Raw Materials* - CRM), tra cui metalli preziosi (oro, argento), terre rare (neodimio, ittrio) e minerali insanguinati (tantalo, cobalto) (Peñaherrera, Pehlken 2023), la cui estrazione e lavorazione sono associate a impatti ambientali e umani significativi e a problematiche di approvvigionamento legate alla scarsità e alla governance. La gestione del fine vita di questi componenti rappresenta una sfida complessa: la varietà e la complessità dei materiali, la frammentazione degli elementi e le tecnologie di riciclo ancora limitate e spesso inefficienti rendono arduo il recupero efficace. Le normative esistenti, quali le direttive europee sui RAEE, tendono a focalizzarsi sulla quantità di materiale recuperato piuttosto che sulla criticità degli elementi o sugli impatti evitati. Inoltre, i costi elevati e la scarsità di dati dettagliati sulla

composizione dei componenti ostacolano una gestione ottimale (Peñaherrera, Pehlken 2023).

Questa complessità è intrinsecamente legata alle catene globali del valore (CGV) dell'industria IT, caratterizzate da una forte frammentazione geografica e una governance modulare che, sebbene favorisca l'innovazione, rende difficile monitorare e controllare le pratiche sostenibili lungo l'intera filiera, dall'estrazione delle materie prime alla produzione e alla dismissione. Nonostante le sfide, le CGV offrono opportunità per l'upgrading ambientale e l'influenza delle aziende leader (come Google, Facebook, Amazon che si impegnano a utilizzare il 100% di energia rinnovabile o Google che ha posizionato i data center strategicamente in aree con alta disponibilità di rinnovabili) sui fornitori per promuovere la sostenibilità (Di Maria, De Marchi 2023).

Le strategie per migliorare la sostenibilità dei data center includono l'adozione diffusa di fonti energetiche rinnovabili (spesso tramite *Power Purchase Agreements* - PPA), il miglioramento continuo dell'efficienza energetica (es. implementando free cooling, ottimizzando il layout), il riutilizzo del calore di scarto, l'applicazione dei principi dell'economia circolare (prolungamento della vita utile e miglioramento del riciclo e recupero dei materiali) e l'adesione a certificazioni (ISO 14001, ISO 50001) e impegni di settore (Climate Neutral Data Centre Pact) (Bettiol, Fano, Toschi 2023, 17-21; Di Maria, De Marchi 2023, 56). Tuttavia, la piena integrazione dell'economia circolare è ancora in fase iniziale, come dimostrato dal dato che solo il 38% dei data center europei ha stretto partnership con aziende certificate per il riciclo dei rifiuti elettronici (Bettiol, Fano, Toschi 2023, 29). L'indagine ha anche esplorato come i gestori comunicano la sostenibilità online, analizzando i contenuti dei siti web aziendali per capire gli impegni presi e la loro intensità comunicativa. In conclusione, la sostenibilità dei data center richiede un approccio olistico che consideri non solo l'efficienza operativa (energetica e idrica), ma anche l'impatto incorporato dei materiali e la gestione responsabile lungo l'intera catena del valore, promuovendo l'innovazione e la collaborazione per ridurre significativamente l'impronta ecologica di queste infrastrutture critiche (Bettiol, Fano, Toschi 2023).

4.8.1 Il mercato della *colocation*

Il mercato della *colocation* (co-locazione) nei data center rappresenta una manifestazione significativa della trasformazione economica e tecnologica globale, configurandosi come una risposta alle esigenze di digitalizzazione delle società contemporanee. Esso prevede la concessione in locazione di spazi fisici all'interno di data center gestiti

da fornitori terzi, offrendo alle imprese un'alternativa più flessibile e sostenibile rispetto alla costruzione e gestione di infrastrutture IT proprie. Le aziende che ricorrono alla colocation possono beneficiare di un accesso privilegiato a infrastrutture tecnologiche avanzate, con garanzie elevate in termini di sicurezza, scalabilità e connettività, contribuendo così alla riduzione dei costi operativi e al rafforzamento della resilienza digitale (Uptime Institute 2024).

I data center non si limitano a rappresentare una fabbrica o apparato di elaborazione dati, ma emergono come nodi strategici di convergenza di capitale, conoscenza e controllo tecnologico, incarnando le logiche strutturali del capitalismo digitale (Couldry, Mejias 2019; Schiller 1999). In particolare, il mercato della colocation riflette la centralizzazione delle infrastrutture IT nelle mani di grandi operatori globali, che costruiscono e gestiscono complessi tecnologici in aree geografiche strategiche. Questo fenomeno solleva interrogativi fondamentali sulla distribuzione del potere economico e tecnologico e sulla sovranità digitale (Blotta 2024), evidenziando la necessità di politiche più inclusive e sostenibili. Secondo il report dell'Uptime Institute (Uptime Institute 2024), i temi della sostenibilità energetica e dell'efficienza nell'uso delle risorse occupano una posizione centrale nelle agende politiche e industriali internazionali, influenzando le scelte di localizzazione dei data center. Questi ultimi, inoltre, stanno acquisendo un ruolo sempre più cruciale nella gestione delle emergenze climatiche e nella resilienza economica.

Il settore della colocation sta vivendo un'espansione senza precedenti alimentata dalla crescente domanda di servizi digitali, dall'adozione di tecnologie come l'Intelligenza Artificiale e l'*Internet of Things* (IoT), e dall'ascesa del *cloud computing* come infrastruttura essenziale per l'economia digitale (Andrae 2020). Secondo le più recenti stime del Data Center Map (2025), in Europa sono attualmente attivi oltre 2.300 data center, con una concentrazione significativa nelle regioni FLAP (Francoforte, Londra, Amsterdam e Parigi), che fungono da snodi centrali per le operazioni digitali del continente.

Tuttavia, le regioni nordiche stanno emergendo come hub competitivi grazie all'abbondanza di risorse energetiche rinnovabili, ai costi operativi relativamente contenuti e alle condizioni climatiche favorevoli. Le temperature rigide tipiche di queste aree rappresentano un elemento strumentale nella scelta di posizionare i data center, poiché agevolano il raffreddamento dei sistemi, riducendo la necessità di impianti artificiali dedicati, che comportano alti consumi energetici. Questa caratteristica contribuisce a rendere i data center nordici particolarmente efficienti dal punto di vista operativo e ambientale, facendo di questa regione una scelta strategica per le grandi aziende tecnologiche (IEA 2023). Questa combinazione di fattori rende le regioni nordiche un modello di riferimento per l'efficienza operativa e ambientale nel settore.

Formalmente, l'Europa si pone tra le regioni più avanzate in questo settore grazie a normative rigorose e investimenti mirati (Greenpeace 2017). Tuttavia, i processi reali mostrano dinamiche ambivalenti, dove l'adozione di soluzioni sostenibili varia significativamente tra i Paesi membri e dipende in larga misura dalle politiche nazionali e locali. Inoltre, esiste il rischio che la transizione ecologica avvenga secondo una logica top-down, in cui decisioni centralizzate privilegiano grandi operatori tecnologici a scapito delle comunità locali. Questo approccio potrebbe rafforzare forme di estrattivismo verde, caratterizzate dall'uso intensivo di risorse naturali per alimentare infrastrutture tecnologiche, con costi ambientali e sociali significativi per le aree coinvolte (Brodie 2025).

Per quanto riguarda l'Italia, il mercato della colocation si trova in una fase di evoluzione e consolidamento, con Milano che si configura come il principale hub digitale nazionale. Secondo un recente report della Commissione Europea, l'Italia conta circa 178 data center (su 2161 presenti in UE), la maggior parte dei quali localizzati nelle principali città del nord, come Milano e Torino, che rappresentano i poli tecnologici del Paese (European Commission 2025).

Nonostante ciò, il settore affronta significative sfide strutturali, tra cui una distribuzione disomogenea delle infrastrutture IT e una dipendenza energetica da fonti non rinnovabili, che ne limitano la competitività su scala internazionale. Tuttavia, il governo italiano sta promuovendo iniziative per incentivare la digitalizzazione, come previsto dal PNRR, che mira a colmare il divario digitale e favorire un accesso equo alle risorse digitali (Ministero dell'Economia e delle Finanze 2023). La concentrazione delle infrastrutture tecnologiche nelle aree urbane più sviluppate sottolinea la necessità di interventi mirati per garantire una maggiore equità territoriale, soprattutto nelle regioni periferiche.

4.9 Zone economiche speciali e industria elettrodigitale

L'industria elettrodigitale, lungi dall'essere deterritorializzata o despaializzata, ha molteplici manifestazioni spaziali che si articolano in diverse fasi: i siti di estrazione mineraria, le traiettorie delle fibre ottiche, le fonderie e raffinerie, gli stabilimenti per la manifattura e l'assemblaggio, gli snodi della logistica, come ad esempio i magazzini di Amazon, i data center, le discariche di rifiuti elettronici. L'espansione dell'industria elettrodigitale è strettamente legata alla proliferazione di specifiche configurazioni urbane, le 'zone economiche speciali' (ZES), le quali offrono condizioni come bassi costi della manodopera, accesso privilegiato alle infrastrutture e normative favorevoli al capitale. L'organizzazione multinazionale delle aziende lungo le catene del valore favorisce sistematicamente

l'opacità e la deresponsabilizzazione da parte delle aziende leader, nonostante la presenza di meccanismi di 'dovuta diligenza' (*due diligence*). Secondo Yeoh (2022), la complessità delle catene di subappalto e la frammentazione giurisdizionale creano zone grigie in cui diventa estremamente difficile attribuire responsabilità per violazioni lavorative o ambientali, creando un «regime di opacità strutturata». In sintesi, l'industria elettronica e dei semiconduttori rappresenta uno dei settori più globalizzati e complessi dell'economia contemporanea, caratterizzato da catene di approvvigionamento altamente frammentate e da un'intensa concentrazione di capitale e tecnologia. Le ZES e i parchi industriali ad alta tecnologia hanno fornito un ambiente ideale per lo sviluppo di questo settore, grazie a una combinazione di fattori economici, normativi e infrastrutturali. Tuttavia, questa crescita è accompagnata da significative criticità, tra cui l'ipersfruttamento del lavoro, l'impatto ambientale e la dipendenza da dinamiche geopolitiche globali.

Prendiamo, ad esempio, Shenzhen, in Cina: una città che, da piccolo villaggio di pescatori, si è trasformata in uno dei più grandi hub globali per la produzione di elettronica di consumo (Chen 2018). Grazie a una combinazione di infrastrutture, manodopera a basso costo e normative favorevoli agli investimenti stranieri, Shenzhen è diventata un simbolo del potere delle ZES nel ridisegnare il panorama industriale globale. Queste zone non offrono solo vantaggi logistici, ma anche una serie di incentivi economici che le rendono irresistibili per le aziende internazionali. Esenzioni fiscali, dazi ridotti o addirittura nulli, e agevolazioni finanziarie sono solo alcuni degli strumenti utilizzati per attrarre investimenti (Farole, Akinci 2011). A ciò si aggiunge l'accesso a infrastrutture moderne: reti di trasporto efficienti, energia elettrica affidabile e connettività a banda larga sono elementi chiave che facilitano la produzione su larga scala.

Una macro-regione cruciale per l'industria elettrodigitale e, quindi, per il capitalismo digitale odierno è la *SIJORI Cross-Border Region* (Singapore-Johor-Riau), costituita da Singapore, Malesia e Indonesia nel 1989 come esperimento di integrazione economica transnazionale (Hutchinson, van Grunseven 2018). Questo 'triangolo della crescita' (*growth triangle*) ha attirato ingenti flussi di investimenti esteri, specialmente nel settore high-tech, trasformando la regione in un nodo cruciale per la produzione di semiconduttori. Nel corso dei decenni, Singapore si è posizionata come *hub* tecnologico e finanziario, attirando i centri di ricerca e sviluppo delle principali multinazionali grazie a mirate politiche statali (Yeoh 2006). Tuttavia, la produzione materiale viene sistematicamente delocalizzata a Johor e Batam, dove viene sfruttata manodopera a basso costo attraverso normative più permissive. Questa divisione spaziale delle attività produttive crea vere e proprie «gerarchie del valore» transnazionali (Ford 2019; Blotta 2025).

Un caso paradigmatico e solo apparentemente controintuitivo è quello della Silicon Valley, che, pur non essendo una ZES nel senso tradizionale del termine, rappresenta un modello di parco industriale ad alta tecnologia che ha influenzato lo sviluppo di numerose altre aree a livello globale. Saxenian (1994) ha attribuito il successo della Silicon Valley a una combinazione di fattori, tra cui la presenza di università e centri di ricerca, la disponibilità di capitale di rischio e una cultura imprenditoriale favorevole all'innovazione. Tuttavia, questo modello non è esente da critiche, poiché spesso riproduce dinamiche di esclusione e disuguaglianza, sia a livello locale che globale.

Queste contraddizioni rendono le ZES un campo di studio cruciale per comprendere le trasformazioni socio-spaziali del capitalismo digitale, evidenziando come il progresso tecnologico ed economico spesso si realizzi attraverso meccanismi di esclusione, disuguaglianza e sfruttamento del lavoro e delle risorse naturali che ne rivelano il carattere tutt'altro che immateriale.

5 I costi umani e ambientali: lavoro, ecologia e (in)giustizia

Sommario 5.1 Il razzismo ambientale nella filiera digitale. – 5.2 La filiera estrattiva. – 5.3 Oltre la miniera: circuiti estrattivi del digitale e le contraddizioni del green extractivism. – 5.4 La filiera manifatturiera.

5.1 Il razzismo ambientale nella filiera digitale

I costi della digitalizzazione non si limitano al piano energetico o infrastrutturale, ma investono pienamente la sfera umana ed ecologica, generando forme profonde di violenza ambientale e sociale, rendendo la questione ecologica uno dei terreni principali di conflitto sociale, politico ed economico. La transizione energetica, diventata ormai imprescindibile, è stata accelerata non tanto da una diffusa consapevolezza delle classi dirigenti riguardo i rischi legati al cambiamento climatico, quanto piuttosto da crisi globali come la pandemia da COVID-19 e il conflitto russo-ucraino. In questo scenario, il termine ‘sostenibilità’ ha assunto un ruolo centrale nel linguaggio politico e istituzionale, ma rischia di trasformarsi in un ‘contenitore privo di contenuto’ se non accompagnato da scelte strutturali coerenti. Sebbene le tecnologie digitali abbiano il potenziale per promuovere la sostenibilità ambientale e la giustizia

sociale, sono anche legate a pratiche di sfruttamento e inquinamento su base diseguale (Cubitt 2017).

La letteratura sul razzismo ambientale nell'industria high-tech ha mostrato come le disuguaglianze razziali ed economiche siano intrinsecamente legate alla produzione e allo smaltimento dei dispositivi elettronici. Il razzismo ambientale è un concetto che si riferisce alla distribuzione diseguale dei danni ambientali e dei rischi legati all'inquinamento, che colpiscono in modo sproporzionato le comunità di colore e quelle a basso reddito, mentre le grandi multinazionali continuano a massimizzare i profitti esternalizzando i costi ambientali e sociali. Uno dei contributi più significativi in questo campo è stato quello di Bullard (1990; 1993), che ha definito il razzismo ambientale come una forma di discriminazione sistemica che espone le comunità di colore a rischi ambientali maggiori rispetto alle comunità bianche. Questo concetto è stato ulteriormente sviluppato da Pellow e Park (2002), che hanno esplorato come le disuguaglianze razziali ed economiche siano intrinsecamente legate alla gestione dei rifiuti tossici, compresi quelli derivanti dall'industria elettronica. Essi hanno sottolineato come le comunità di colore negli Stati Uniti siano state spesso costrette a vivere in prossimità delle discariche, con conseguenti effetti negativi sulla salute e sull'ambiente. Questa esposizione diseguale ai rischi ambientali è il risultato di una combinazione di fattori, tra cui la segregazione residenziale, la mancanza di potere politico ed economico, e la collusione tra industria e governo: «gli impianti 'tossici' tendono ad essere collocati presso comunità particolarmente vulnerabili piuttosto che il contrario, come prevede l'ipotesi del trasferimento delle comunità presso aree degradate. Queste comunità erano sistematicamente selezionate per la collocazione di impianti pericolosi» (Brulle, Pellow 2022, 42).

Come sottolineato dai sociologi Fabio Perocco e Francesca Rosignoli, il razzismo ambientale «intreccia tre grandi questioni sociali del nostro tempo: la questione razziale, la questione ambientale (dall'urbanistica all'estrattivismo), la questione della salute pubblica» (2022, 8). Perocco e Rosignoli lo definiscono come «la disuguaglianza ambientale legata al fattore razziale o caratterizzata da una dimensione razziale», che rappresenta un «fenomeno totale poiché rimanda alla storia e alla struttura di una data società, rimanda al sistema dei rapporti sociali di produzione, di razza, di genere» (2022, 8). Da questo *milieu* critico nascono espressioni come zone di sacrificio (*sacrifice zone*), cioè quei territori dove si realizza il ricatto ambiente-lavoro, in cui l'inquinamento e i disinvestimenti industriali compromettono in modo duraturo sia l'ambiente che la salute umana.

L'economia politica della comunicazione ha offerto ulteriori approfondimenti sulle dinamiche di potere che sostengono il razzismo ambientale nell'industria elettronica. Fuchs (2014) ha

analizzato come le grandi multinazionali dell'elettronica sfruttino le disuguaglianze globali per massimizzare i profitti, esternalizzando i costi ambientali e sociali nei paesi in via di sviluppo. Nell'industria elettronica, ciò si manifesta nel trasferimento delle attività più inquinanti e pericolose verso i paesi del Sud del mondo, dove le normative ambientali sono meno severe e i costi del lavoro più bassi. Questo trasferimento di rischi e danni ambientali rappresenta una forma di colonialismo ambientale che perpetua le disuguaglianze globali (Nixon 2011). Questo fenomeno è particolarmente evidente, ad esempio, nella produzione, uso e smaltimento di dispositivi elettronici. Il caso dei rifiuti elettronici (*e-waste*), spesso esportati illegalmente dalle economie avanzate, mostra chiaramente come questi ultimi ritornino sotto forma di contaminazione nei paesi del Sud globale, in particolare nel Sud-est asiatico (Malaysia, Vietnam, Thailandia) e in Africa Occidentale (Nigeria e Ghana) – dove le normative ambientali sono meno stringenti e i costi del lavoro sono più bassi (ITU, UNITAR et al. 2024), chiudendo un ciclo globale di sacrificio ambientale. Queste aree diventano vere e proprie zone di sacrificio, in cui l'ambiente e la salute delle persone vengono sistematicamente compromessi per sostenere i modelli di consumo dei centri di potere economico globale. Tale modello riproduce logiche neocoloniali, in cui il costo ecologico della tecnologia è esternalizzato verso soggetti privi di tutela politica e accesso decisionale. Queste dinamiche non sono accidentali, ma derivano da una precisa struttura economico-produttiva che determina chi beneficia e chi subisce le conseguenze della modernità digitale.

A fronte di tali dinamiche, negli ultimi anni si è assistito a una proliferazione dei conflitti ambientali, con l'obiettivo di denunciare la miopia delle politiche di mitigazione del cambiamento climatico. Tuttavia, le disuguaglianze ambientali non rappresentano un fenomeno nuovo. Già negli anni Settanta, i movimenti per la giustizia ambientale e contro la tossicità industriale iniziavano a mostrare i legami tra danni ambientali e razzismo (Pulido 1996). Negli Stati Uniti, dove si intrecciano in modo potente razzismo e colonialismo, queste dinamiche hanno avuto un impatto particolarmente forte, diventando un punto di riferimento anche per altre mobilitazioni globali. La necessità di un'azione sistemica è oggi riconosciuta anche da organismi sovranazionali: la risoluzione 48/13 del 2021 del Consiglio per i diritti umani dell'ONU ha affermato il diritto a un ambiente pulito, salubre e sostenibile, mentre nel successivo report è stata sostenuta l'integrazione del diritto a un ambiente non tossico nelle costituzioni nazionali, nelle legislazioni e nei trattati regionali sui diritti umani.¹

¹ <https://docs.un.org/en/A/HRC/49/53>.

5.2 La filiera estrattiva

5.2.1 Tecnologie Digitali ed estrazione mineraria: implicazioni socio-ecologiche di una trasformazione globale

Le materie prime si ottengono attraverso due modi di estrazione principali: l'estrazione industriale e l'estrazione artigianale e su piccola scala (*Artisanal and Small Scale Mining* – ASM). La prima si caratterizza per un'alta intensità di capitale, grazie a investimenti in robotizzazione, infrastrutture logistiche e tecnologie avanzate come i sistemi di geolocalizzazione. L'applicazione delle tecnologie digitali nell'estrazione mineraria ha aperto nuovi orizzonti per l'efficienza operativa e la sostenibilità. Esse permettono previsioni più precise su riserve e depositi, migliorando la redditività anche per minerali di bassa qualità. Le aziende minerarie adottano sistemi sofisticati per minimizzare i rischi e ottimizzare i costi, contribuendo a rendere i processi estrattivi sempre più efficienti e meno invasivi dal punto di vista ambientale. Tecnologie come droni, sensori avanzati e l'analisi con i big data consentono di individuare e prevenire rischi ambientali, come contaminazioni idriche, frane e degrado del suolo, limitando i danni agli ecosistemi circostanti. Come osservato da Martín Arboleda, «Innovazioni nell'intelligenza artificiale, big data e robotica hanno consentito alle aziende minerarie di introdurre veicoli automatici, trapani, pale meccaniche e locomotive nelle fasi del processo produttivo» (2020, 14). Queste innovazioni permettono una penetrazione più profonda del capitale nei territori periferici, riducendo la necessità di lavoro umano diretto, ma generando nuove forme di dipendenza economica e frammentazione sociale. L'adozione di veicoli automatici e robot avanzati non solo minimizza i rischi fisici per i lavoratori, ma accentua anche le disuguaglianze tra le comunità locali e le multinazionali, che detengono il controllo delle infrastrutture tecnologiche. Questo processo «rende i territori estrattivi nodi cruciali di un sistema di accumulazione globale che riproduce logiche coloniali» (Arboleda 2020, 22).

A differenza dell'estrazione industriale, il regime delle ASM si distingue per una bassa intensità di capitale e un'elevata intensità di lavoro manuale, spesso svolto con strumenti rudimentali come picconi, vanghe e pompe idrauliche. Secondo Matthysen e colleghi (2019) le ASM, sebbene cruciali per le economie locali, sono spesso segnate da instabilità politica e infrastrutture inadeguate, fattori che riducono ulteriormente la produttività e aumentano il rischio di sfruttamento. La mancanza di accesso a tecnologie moderne e la dipendenza dalle fluttuazioni del mercato mondiale rappresentano barriere significative per il miglioramento delle condizioni lavorative e ambientali in questi contesti.

5.2.2 Il contesto dell'estrazione artigianale e su piccola scala (asm) nella Repubblica Democratica del Congo: il caso del Kivu

La Repubblica Democratica del Congo (RDC) è cruciale per il capitalismo digitale in virtù della sua ricchezza di materie prime. Ciò emerge particolarmente considerando alcuni minerali, come il cobalto e i 3TG – *tin* (stagno), *tantalum* (tantalio), *tungsten* (tungsteno) *gold* (oro) –, fondamentali per le loro applicazioni nell'industria elettrodigitale, tra cui batterie, microelettronica, elettronica di consumo.

Nel 2024 la RDC ha fornito circa tre quarti della produzione mondiale di cobalto, con 220.000 tonnellate estratte e 6 milioni di tonnellate di riserve su un totale globale di 11 milioni (USGS 2025).

Per quanto riguarda i minerali 3TG, la RDC è primo produttore mondiale di tantalio con 880 tonnellate nel 2024, pari a circa due quinti dell'offerta globale, una quota sostenuta in larga parte da circuiti di estrazione artigianali e su piccola scala dell'Est del Paese (USGS 2025; IPIS 2023). Quest'area è importante anche per lo stagno: il giacimento di Bisie (Alphamin) ha consegnato 17,3 mila tonnellate nel 2024, intorno al 6% del minerale mondiale (International Tin Association 2025). Il tungsteno (wolframite) è invece presente con un peso marginale in riferimento alla scala mondiale, in un mercato dominato da altri produttori, soprattutto la Cina (USGS 2025). Quanto all'oro, l'estrazione artigianale nell'Ituri continua a sfuggire in larga misura al controllo statale, generando almeno 140 milioni di dollari l'anno per reti armate e criminali: un dato che illumina i nessi tra sicurezza, governance e tracciabilità (UNSC-Group of Experts 2024).

La regione del Kivu, situata nell'est della RDC e confinante con Ruanda, Burundi e Uganda, costituisce uno dei principali epicentri mondiali dell'estrazione artigianale. Storicamente ricca di minerali, dagli anni Novanta è diventata uno dei principali poli di estrazione del coltan (columbite-tantalite). Nest (2011) identifica due grandi giacimenti nella RDC: il deposito Kibaran, che attraversa longitudinalmente il Nord e Sud Kivu, e il deposito Eburnean, situato più a Nord. Le attività minerarie nel Kivu affondano le radici negli anni Venti del Novecento, come confermato dallo studio del Groupe de recherche sur les activités minières en Afrique (GRAMA; cf. Martineau 2003), secondo cui la regione ha conosciuto momenti di relativa prosperità grazie all'estrazione di oro e cassiterite.

Il numero di miniere artigianali presenti è molto elevato e difficile da indicare con esattezza, poiché spesso accade che una miniera un tempo abbandonata venga riattivata. Dai dati del catasto congolese riportati dall'IPIS emerge che, per la fine del 2010, il numero di concessioni e di cave attive ammontava a 3.279, mentre da un'analisi condotta sul campo dallo stesso istituto nell'intervallo temporale

2009-14, risulta che le miniere attive erano 1574. Ciononostante, come specificato dallo stesso IPIS, a loro mappatura resta incompleta, e il numero reale potrebbe essere ben più elevato.

Il contesto delle ASM è caratterizzato da investimenti a bassa o bassissima intensità di capitale e ad elevata intensità di lavoro, eseguito da individui, cooperative di lavoratori, unità familiari mediante strumenti di lavoro basilari (picconi, vanghe, pale, asce, pompe idrauliche, compressori ecc.). Recenti stime hanno mostrato il costante incremento di questo settore, in particolare nei paesi ricchi di materie prime (Ofosu et al. 2020). Nel contesto del Nord-Kivu e del Sud-Kivu, il minerale, caricato in grossi sacchi, viene trasportato a piedi – spesso da donne – nei villaggi minerari, mentre per gli spostamenti di lungo raggio si utilizzano mezzi motorizzati come auto e camion. Inoltre, le ASM sono caratterizzate dal sovraffollamento, al fine di garantire una maggiore estrazione di minerale. La scelta del metodo di estrazione mineraria è fortemente influenzata dal valore del minerale. Per minerali di pregio presenti in quantità limitate e prossimi alla superficie, l'estrazione artigianale, condotta da singoli con strumenti semplici, può risultare economicamente vantaggiosa. Al contrario, se i medesimi minerali si trovano in giacimenti più estesi, l'adozione di tecniche di estrazione industriali diventa più profittevole. In generale, la metodologia estrattiva è determinata da una combinazione di fattori economici e strutturali, tra cui la disponibilità e il costo del capitale, della forza lavoro, delle infrastrutture necessarie e la robustezza dei diritti di proprietà sul giacimento (Nest 2011).

5.2.3 Le forme di lavoro forzato e coercizione nella RDC orientale

Uno dei volti più celati e violenti delle catene di produzione dei minerali 3TG, o minerali insanguinati, è certamente rappresentato dalla fase a monte, in particolare l'estrazione artigianale nelle miniere della RDC. Le forme di lavoro forzato e di coercizione extra-salariale qui presenti possono rappresentare un caso paradigmatico di lavoro eseguito da «classi lavoratrici 'periferiche'», intendendo con esse il più ampio insieme di lavoratori non salariati, o salariati che, di fatto, non sono liberi, che non possono «disporre liberamente della propria forza lavoro – per esempio, perché resi dipendenti dall'indebitamento» (van der Linden 2018, 39-41). Cioè, ci dice van der Linden, nel Sud globale è esistito, e continua a persistere, una forma mista, non inquadrabile nel lavoro salariato puro, poiché continua ad esserci una dipendenza dal lavoro di sussistenza. Per questo la definizione di classe lavoratrice deve essere ripensata e ampliata, per includere l'altra metà del cielo composta da «schiavi e altri lavoratori coatti,

così come lavoratori formalmente ‘autonomi’» (van der Linden 2018, 40).

Christian Fuchs (2014) propone di ampliare il concetto di ‘lavoro digitale’ all’intero spettro delle attività che sostengono la produzione tecnologica globale, includendo anche il lavoro estrattivo artigianale, quello manifatturiero nelle fabbriche elettroniche (come Foxconn), e i servizi digitali precarizzati nei paesi emergenti. All’interno di questa ‘divisione internazionale del lavoro digitale’ (IDDL), l’estrazione artigianale in Congo rappresenta una delle sue forme più estreme e violente.

Secondo l’Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO 2017b), l’Africa è il continente con la maggiore incidenza di schiavitù contemporanea, con una media di 7,6 persone su 1000 sottoposte a forme di coercizione. Nello specifico, il lavoro forzato colpisce 2,8 persone su 1000, rendendo il continente secondo solo all’Asia e all’area del Pacifico. Nell’ambito delle attività minerarie ASM sono state documentate almeno sei tipologie di sfruttamento grave: lavoro coatto, servitù per debiti, matrimoni forzati, traffico sessuale, lavoro minorile e schiavitù domestica (Bales 2016; Free the Slaves 2011; 2013a; 2013b; Haider 2017). Un report redatto per il Governance and Social Development Resource Centre (GSDRC) e basato su dati del Global Slavery Index stima che nel 2016 circa 873.000 persone fossero coinvolte in forme di schiavitù moderna nella RDC, collocando il paese al nono posto su 167 per prevalenza del fenomeno (Haider 2017).

Come osservato da Claude Meillassoux (1992, 97), la schiavitù produce vantaggi immediati rispetto ad altre forme di rapporto produttivo, poiché consente un incremento della produzione attraverso la disponibilità immediata di forza lavoro non mediata dal mercato. Questo principio si adatta perfettamente al contesto dell’ASM congolese: l’assenza di investimenti capitali, l’elevata intensità di lavoro fisico e la domanda crescente di minerali rari generano dinamiche di sfruttamento iper-flessibile, capaci di attrarre o espellere lavoratori secondo le fluttuazioni del mercato globale.

A questa forma di schiavitù strutturale si sommano condizioni ambientali e sanitarie gravemente deteriorate: sovraffollamento nei siti estrattivi, diffusione di malattie sessualmente trasmissibili, esposizione a sostanze radioattive (nel caso del coltan) e infortuni frequenti. L’ILO (2017a) segnala inoltre che l’Africa è la regione con il più alto rischio di lavoro minorile, con un bambino su cinque coinvolto in attività lavorative, spesso in miniera.

Le conseguenze per i minori coinvolti sono devastanti: esposizione a violenze sessuali, consumo di sostanze, abbandono scolastico, matrimoni precoci, infezioni respiratorie e danni fisici permanenti (Free the Slaves 2013a; 2013b; Haider 2017). In particolare, l’arruolamento forzato da parte di milizie armate ha trasformato

bambini e adolescenti in combattenti. Si stima che tra il 1998 e il 2009 oltre 30.000 minori abbiano combattuto nei ranghi dei gruppi armati, di cui almeno 8.000 nei due Kivu (Zounmenou et al. 2019).

MAP OF NON-STATE ARMED ACTORS IN NORTH & SOUTH KIVU

(DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO)



www.kivusecurity.org
www.sulu.org

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1 - ADF | 70 - RM Butachibera |
| 2 - APRLS | 71 - RM Donzi/Ngandu |
| 3 - CNRD | 72 - Rala Mutomboki Elanga |
| 6 - FDC-Guides | 73 - Mai-Mai Kiwi/Kalume |
| 7 - Bwamba group | 74 - RM Hamakombo |
| 8 - FDLR-FOCA | 75 - RM Inani/Bisa |
| 9 - FDLR-RUD | 76 - RM Kimba |
| 10 - FNL - Nkumpema | 77 - RM Kizweto |
| 11 - Mai-Mai Kombi | 78 - Rala Mutomboki Lukoba |
| 12 - Nyatura FDP | 79 - Rala Mutomboki Mabala |
| 14 - LD Zone | 80 - RM Maheshu |
| 15 - LD Kashumba | 81 - RM Mungoro |
| 16 - LD Mahindazi | 82 - Rala Mutomboki Mirage |
| 17 - Mai-Mai Nibizi | 83 - RM Mwaile |
| 18 - Mai-Mai Delégue | 84 - Rala Mutomboki Safari |
| 19 - ex-M23 | 85 - RM Ndarumanga |
| 20 - Guides-MAC | 86 - RM Shukururu |
| 21 - Mai-Mai Charles | 87 - RM Kilewama |
| 22 - Corps du Christ | 88 - RM Wenba |
| 23 - FAPI | 90 - UPCI-Lafontaine |
| 24 - RM Kuzanzi | 91 - RM Shabani |
| 26 - Mai-Mai Kihufuza | 93 - RM Bopanga |
| Bambi-Limeli | 94 - Mai-Mai Kpandanga |
| 27 - Mai-Mai Kihufuza Delphin | 95 - Nyatura Lowe |
| 28 - Nyatura Kigini | 96 - Mai-Mai Mazimano |
| 29 - Mai-Mai Kihufuza Mwachano | 97 - Rala Mutomboki Kikweshu |
| 30 - Mai-Mai Kihufuza Shafu | 98 - Mai-Mai Jackson |
| 31 - Mai-Mai Simba (Mami) | 99 - Mai-Mai Darlo |
| 32 - Mai-Mai Mwememeli | 100 - Mai-Mai |
| 33 - Mai-Mai Ndirungu | Leopards Muthundo |
| 34 - Mai-Mai Forces Divines | 101 - MRC-L |
| Simba | 102 - UPLC |
| 35 - Nyatura Mahanga | 103 - Rala Mutomboki |
| 36 - Mai-Mai Reunion (PPC) | Shalimbe |
| 37 - Nyatura Bizagwira | 104 - Mai-Mai Ebu Ela |
| 38 - Mai-Mai Makana | 105 - RED-Tabara |
| 39 - Mai-Mai Kibichu | 106 - Ngomine |
| 41 - Mai-Mai Mahoro | 107 - Mai-Mai Bilgaya |
| 42 - Mazembe | 108 - FOREBU/FPB |
| 43 - Bhoze Bihambula | 109 - FNL Nibizi |
| 44 - Mai-Mai Mulumba | 110 - RM Kahazima |
| 45 - Mai-Mai Mushombe | 111 - Nyatura Gatuzi |
| 46 - Mai-Mai Nguru | 112 - Nyatura JED |
| 47 - Mai-Mai Nyakibila | 113 - Nyatura Jean-Marie |
| 48 - Mai-Mai Nyerere | 114 - Mai-Mai Kibikyo |
| 49 - Mai-Mai PRM/PREM | 115 - Mai-Mai Giberda |
| 50 - Mai-Mai Echilo | 116 - Milice Pokombe |
| 51 - Mai-Mai Malaka-She Assani | 117 - Mai-Mai Luwaga |
| 52 - Mai-Mai Virovo | 118 - Mai-Mai Simba-Luc |
| 53 - Mai-Mai Yakumba | 119 - Milice Mvuba |
| 54 - Mai-Mai Karakara | 120 - Rala Mutomboki Mamba |
| 55 - Nyatura-APRDC | 121 - Mai-Mai Muhima |
| 57 - NOC-R | 122 - RM Machita |
| 58 - NOC Shaka | 123 - Rala Mutomboki Manyila |
| 60 - Nyatura Delta | 124 - Mai-Mai Agile |
| 61 - Nyatura Domi | 125 - Twiganaho |
| 62 - Mai-Mai Ngalapema | 126 - Nyatura Nanyi |
| 63 - Nyatura Kavumbi | 129 - Mai-Mai Rinal |
| 64 - Nyatura Kalume | 130 - Rala Mutomboki |
| 65 - Nyatura Kasongo | Shemakini |
| 66 - RM Akile | 131 - Local Defense Ngangwe |
| 69 - Rala Mutomboki Blaize | 132 - CNPSC |

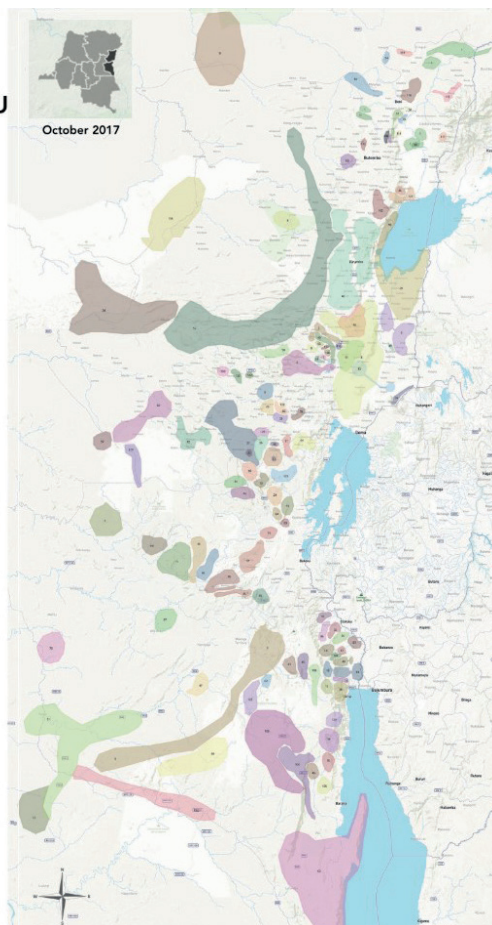


Figura 10 Mappa degli attori armati non statali nel Nord e nel Sud Kivu, 2015.
Fonte: Stearn, Vogel 2015

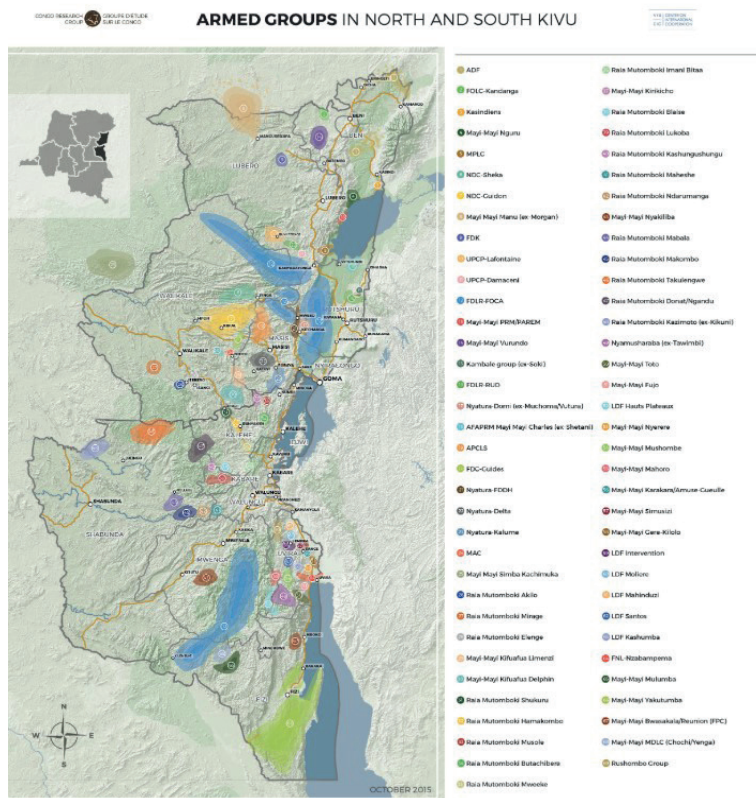


Figura 11 Mappa dei gruppi armati nel Nord e nel Sud Kivu, 2015.
Fonte: Stearn, Vogel 2015

Accanto ai minori, le donne rappresentano un altro gruppo fortemente vulnerabile. Sebbene il 51% delle miniere artigianali coinvolga la partecipazione femminile (Matthysen et al. 2019), i ruoli assegnati alle donne sono generalmente marginali e mal retribuiti: trasporto, lavaggio, frantumazione, trattamento degli scarti. A queste mansioni si aggiungono attività ancillari informali, come la vendita di beni di consumo e la prostituzione, spesso legata a dinamiche di ricatto sessuale o violenza diretta. L'espulsione dalla miniera, la privazione di guadagno o l'aggressione fisica rappresentano le conseguenze più comuni al rifiuto di prestazioni sessuali (Vlassenroot, Raeymaekers 2004).

In molti casi, le donne sono rapite e ridotte in condizioni di schiavitù sessuale. Le violenze comprendono stupro sistematico, mutilazioni genitali e abusi estremi, spesso con il coinvolgimento forzato di familiari come ulteriore forma di umiliazione. Il Congo

detiene uno dei primati mondiali per matrimoni forzati (4,8 ogni 1.000 abitanti), e la situazione è così grave da essere stata descritta come «il peggior posto sulla Terra per essere una donna» (Nest 2011, 67). Lo stigma sociale che colpisce le vittime sopravvissute a queste violenze contribuisce a escluderle completamente dalla vita comunitaria, confinandole in una marginalità permanente (Free the Slaves 2013a; Haider 2017).

La dimensione militare di questo sfruttamento è evidenziata dal fatto che, nella sola regione dei Kivu, oltre 30.000 bambini sono stati impiegati come combattenti; la presenza capillare delle milizie nei territori minerari è confermata dalla mappatura del Congo Research Group,² che registra circa 70 gruppi armati attivi – la maggior parte con meno di 200 combattenti e reclutamento etnico – fra cui spiccano le Forces démocratiques de libération du Rwanda (FDLR, 1.000-2.500 uomini), gli Allied Democratic Forces ugandesi (ADF, circa 300) e la fazione Nzabampema delle Forces nationales de libération burundesi (FNL, circa 150); queste formazioni si finanziano attraverso il controllo delle risorse naturali, racket ed estorsioni, concentrando i conflitti in aree come il confine Walikale-Masisi, la pianura di Rusizi e le zone di operazione militare Sukola I e II delle FARDC, che, con una strategia essenzialmente militare priva di un adeguato sostegno diplomatico o di pace, contribuiscono a sfollamenti massicci e a una frammentazione crescente passata da venti gruppi nel 2008 agli attuali Settanta, alimentata dalla mancanza di programmi di de-mobilizzazione, dalla competizione politica per il potere e dalla strumentalizzazione della violenza da parte di élite locali e nazionali (Stearns, Vogel, 2015)

Eppure, non tutte le presenze nei siti ASM sono frutto di coercizione diretta. In alcuni casi, lavorare nelle miniere è una scelta volontaria, determinata dalla ricerca di un reddito maggiore rispetto ad altre forme di lavoro informale o agricolo. Durante il boom del coltan nei primi anni Duemila, si assistette a un vero e proprio esodo verso le miniere, attratti dalla possibilità di guadagnare in breve tempo più della media del PIL pro capite. Questo fenomeno determinò un temporaneo calo della criminalità e della disoccupazione, ma anche un incremento drastico dell'abbandono scolastico, che coinvolse sia gli studenti che gli insegnanti (Bales 2016; Byemba 2012).

La retribuzione dei minatori varia notevolmente: in media, si attesta tra uno e cinque dollari al giorno (Bleischwitz et al. 2012). Alcuni studi riportano guadagni annuali di circa 800 dollari per i minatori artigianali di coltan nei Kivu, ben inferiori rispetto ai 2.500 o 2.200 dollari ottenuti nei siti di estrazione di diamanti e rame in altre province congolese (Usanov et al. 2013). In molti casi, i minatori

2 <https://www.congoresearchgroup.org/en/>.

non ricevono pagamenti in denaro, ma direttamente in minerale, con il rischio di rimanere impigliati in meccanismi di indebitamento strutturale. Tra il 2016 e il 2018, il 34% dei minatori d'oro dichiarava di lavorare in cambio di minerali, e la stessa condizione riguardava il 14% dei minatori di 3TG.

Questa situazione favorisce la diffusione della schiavitù debitoria, una delle forme più comuni nel Kivu. Spesso, i lavoratori contraggono debiti per acquistare strumenti, noleggiare attrezzature o persino comprare cibo. Come ha osservato Bales (2016, 33): «I lavoratori liberi che arrivano alla miniera scoprono presto di non poter scavare abbastanza in fretta per acquistare il cibo necessario a sopravvivere. Se prendono in prestito cibo, sprofondano ancora di più nel debito».

5.3 Oltre la miniera: circuiti estrattivi del digitale e le contraddizioni del green extractivism

Le ricerche recenti sull'estrattivismo hanno evidenziato le profonde interconnessioni tra progresso tecnologico, flussi materiali e strutture socio-economiche, offrendo nuovi spunti per comprendere la materialità delle tecnologie digitali.

Arboleda (2019) descrive l'estrattivismo attraverso il concetto di «circuiti di estrazione», che integra produzione, logistica e finanza in un sistema globale. Questo approccio rivela come le risorse naturali vengano trasformate in merci attraverso infrastrutture logistiche complesse e come il capitale finanziario sostenga e amplifichi queste dinamiche, influenzando profondamente i paesaggi urbani. Il cosiddetto «nesso miniera/città» rappresenta l'interdipendenza tra l'estrazione e l'urbanizzazione, mostrando come il capitale estrattivo alimenti speculazioni immobiliari, infrastrutturazione e privatizzazione degli spazi pubblici, trasformando il territorio in funzione delle esigenze del capitale. Sebbene questa narrazione prometta maggiore efficienza e sostenibilità, nasconde i costi sociali ed ecologici legati all'automazione, precarizzando il lavoro e rafforzando la mercificazione delle attività produttive. Dal canto suo, Knapp (2016), ha introdotto il concetto di 'miniera flessibile' per descrivere l'inclusione dei rifiuti elettronici nei processi estrattivi. Questo approccio ridefinisce le pratiche tradizionali, sfumando i confini tra produzione, consumo e smaltimento e posizionando i rifiuti come una risorsa fondamentale.

Labban (2014) amplia questa riflessione proponendo il concetto di «miniera planetaria», che deterritorializza l'estrazione superando i limiti geologici tradizionali grazie a processi come il riciclaggio e il *biomining*. L'uso di microrganismi per estrarre metalli dai minerali e dai rifiuti elettronici destabilizza le distinzioni tra processi biologici e industriali, integrando la natura non umana nella produzione di

valore. Questo processo riflette una logica capitalistica globale che, pur sfruttando la natura, trasforma le sue capacità biologiche in un elemento integrante delle dinamiche estrattive. Queste prospettive si innestano su cornici più ampie che legano risorse, spazio e urbanizzazione: Bridge (2009) insiste sulla materialità delle economie delle risorse – evidenziando con ciò il ruolo centrale delle risorse naturali nella produzione, consumo e gestione dei rifiuti e mostrando come queste dinamiche siano intrinsecamente contraddittorie e paradossali – mentre Lefebvre (2003) fornisce il fondamento per comprendere l'urbanizzazione come forma dominante dello spazio, entro cui le città funzionano da centri di comando dei flussi globali. Infine, le implicazioni sociali ed ecologiche dell'espansione estrattiva – in particolare nel Sud globale – sono ben documentate nei lavori di Bebbington e Bury (2013), dove si evidenzia come la sostenibilità promessa dalle nuove frontiere estrattive tenda a riconfigurare (più che risolvere) conflitti, disuguaglianze e vulnerabilità territoriali.

Questi studi si intrecciano con le analisi sull'economia circolare che mettono in discussione la narrativa della sostenibilità evidenziando i limiti strutturali delle attuali pratiche economiche. Sebbene l'economia circolare sia spesso presentata come una soluzione ai problemi ambientali, essa rimane intrappolata nelle logiche del capitalismo estrattivo, perpetuando dinamiche di disuguaglianza e sfruttamento (Pansera et al. 2023). In questo contesto, il concetto di estrattivismo 'verde' (*green extractivism*) emerge come chiave interpretativa per comprendere le contraddizioni di molte iniziative apparentemente sostenibili (Dunlap 2021; Riquito 2025). L'estrattivismo 'verde' si riferisce a pratiche che, pur giustificate dalla retorica della transizione ecologica, continuano a sfruttare intensivamente le risorse naturali e a spostare i costi sociali e ambientali verso comunità marginalizzate, soprattutto nel Sud Globale. I progetti di energia rinnovabile, come le piantagioni di biocarburanti o le installazioni di turbine eoliche, generano in realtà significativi conflitti socio-ambientali, erodendo la legittimità di tali soluzioni apparentemente verdi (Dunlap 2021; Marin, Dunlap, Roels 2023).

Un'importante prospettiva critica è fornita da Stefania Barca (2020), che, attraverso un approccio di ecologia politica femminista, ha sottolineato come l'economia cosiddetta verde e le sue narrazioni ignorino sistematicamente il lavoro ecologico svolto dalle comunità locali, in particolare dalle donne, nel mantenere la sostenibilità della vita. In questo quadro, Barca critica l'economia circolare per il suo orientamento tecnocratico e per la sua incapacità di affrontare le radici sistemiche della crisi ecologica e sociale, suggerendo che il vero cambiamento richiede un passaggio da una logica estrattiva a una logica riproduttiva, incentrata sulla cura e sulla giustizia. Questo approccio è particolarmente utile per analizzare come le politiche

globali di sostenibilità finiscano per perpetuare le gerarchie di potere e di genere, ignorando la conoscenza e l'azione delle comunità direttamente coinvolte.

Emanuele Leonardi (2017) ha contribuito ulteriormente a questa discussione con un'analisi marxiana dell'economia del carbonio, mostrando come la transizione energetica sia spesso modellata da logiche neoliberali che trasformano il cambiamento climatico in un'opportunità di mercato, senza affrontare le disuguaglianze strutturali. Nello specifico, i meccanismi di compensazione del carbonio e le politiche di *green economy* tendono a ricostituire le stesse logiche di accumulazione capitalista che hanno prodotto la crisi ecologica. Questa prospettiva è essenziale per comprendere come le narrazioni dominanti sulla sostenibilità ignorino le cause profonde del degrado ambientale, concentrandosi invece su misure superficiali che favoriscono le élite economiche.

L'estrattivismo 'verde', come evidenziato da questi autori, rappresenta una continuazione del modello capitalista, che si maschera sotto nuove retoriche di sostenibilità. Questo fenomeno è particolarmente evidente nelle pratiche di estrazione di minerali critici per le tecnologie verdi, come il litio e le terre rare per le batterie e in generale per i dispositivi elettronici, che producono enormi impatti ecologici e sulle popolazioni locali. Dunlap (2021) e Barca (2020) hanno sottolineato che tali pratiche non solo perpetuano l'ineguaglianza economica, ma rafforzano anche la privatizzazione dei beni comuni e l'appropriazione delle risorse naturali da parte delle grandi aziende.

Il litio esemplifica bene queste dinamiche controverse. L'estrazione del litio può avvenire da depositi di salamoia o da rocce dure. Per i giacimenti da salamoie (es. il 'Triangolo del Litio' Cile, Argentina, Bolivia) si distingue tra processi di evaporazione (*evaporation ponds* - EP) ed estrazione diretta (*direct lithium extraction* - DLE). Nei primi, fra l'85 e il 95% dell'acqua contenuta nella salamoia si perde per evaporazione, laddove per produrre 1 t di Li_2CO_3 si movimentano in media 96,4 t di salamoia grezza e il fabbisogno di acqua dolce è relativamente basso (ad es. 38 kg per kg di Li_2CO_3 al Salar de Atacama, con forte variabilità tra siti) (Halkes et al. 2024). Al contrario, l'estrazione diretta - pur offrendo efficienze di recupero potenzialmente più alte (fino al 90%) e un'impronta superficiale ridotta - può richiedere quantità significativamente maggiori di acqua dolce, in alcuni casi $>500 \text{ m}^3$ per t di Li_2CO_3 . Inoltre, questa tecnica consente la reiniezione di una parte della salamoia impoverita. In sintesi, gli EP consumano più salamoia e perdono più acqua per evaporazione, mentre la DLE tende a richiedere più acqua dolce; la scelta tra le due tecnologie dipende dalle condizioni locali e dalla disponibilità delle risorse idriche (Halkes et al. 2024). Va specificato tuttavia che parte dell'acqua movimentata è salamoia e non coincide

con acqua dolce, ma l'alterazione del bilancio idrico locale può essere significativa (Vera et al. 2023; Halkes et al. 2024). Nel Triangolo del Litio gli impatti si traducono in pressioni idrosociali e sulla biodiversità: analisi recenti hanno rilevato subsidenza dell'ordine di 1-2 cm/anno (2020-23) nel Salar de Atacama, insieme a effetti sugli ecosistemi (es. popolazioni di fenicotteri) e sulla vivibilità per le comunità locali (Blair et al. 2024).

Per il litio da rocce dure (es. Portogallo), l'estrazione a cielo aperto con esplosivi e i processi di frantumazione, flottazione e lisciviazione impiegano reagenti e generano rifiuti minerari che sollevano preoccupazioni ambientali e socio-territoriali; la letteratura di area documenta rischi e conflitti legati a qualità dell'acqua, suolo e paesaggio (Chaves et al. 2021; Coleandro, Onesti, Pirina 2024), mentre indagini sull'area del Barroso riportano livelli e condizioni ambientali da monitorare attentamente nel tempo (Jesus et al. 2024). Queste attività estrattive hanno implicazioni dirette sulle economie rurali. Le comunità più colpite spesso vedono diminuire la loro capacità di sostenersi attraverso agricoltura e turismo sostenibile, settori che richiedono ambienti naturali integri. Ad esempio, in molte regioni minerarie del Portogallo, l'espansione dell'industria mineraria ha provocato un calo significativo delle attività agricole locali, con conseguente perdita di biodiversità e degrado paesaggistico (Riofrancos 2017). L'utilizzo intensivo di risorse naturali contribuisce inoltre a modificare il ciclo idrico locale, aggravando i problemi di scarsità d'acqua e rendendo insostenibile la vita nelle aree circostanti.

Per quanto riguarda le terre rare, è ormai noto che il rapporto roccia-metallo – cioè una misura che indica la quantità di roccia estratta (inclusa la roccia di scarto) necessaria per produrre una determinata quantità di terre rare totali (TREE) – sia elevato. Secondo Nasser e colleghi (2023), la media globale (dunque considerando l'intera famiglia di terre rare) è pari a $9,8 \times 10^2$ tonnellate di roccia per 1 tonnellata di TREE. Ma qual è il processo che rende questi materiali rilevanti per le tecnologie della transizione energetica? Come sottolineato da Pitron, piccolissime quantità di questi metalli generano campi magnetici che permettono di ottenere più energia rispetto alla stessa massa di carbone o petrolio. Sostituire fonti che riversano quantità enormi di CO₂ con materiali che non si bruciano e non emettono anidride carbonica è, in questa prospettiva, il fulcro del cosiddetto capitalismo verde (Pitron 2023).

La filiera digitale non è un processo neutro né immateriale. Dall'estrazione allo smaltimento, essa si fonda su pratiche sistemiche di sfruttamento umano, disuguaglianza ecologica e razzismo ambientale. Le narrazioni di sostenibilità, se non accompagnate da un profondo ripensamento delle logiche di accumulazione, rischiano di diventare nuovi strumenti di espropriazione.

5.4 La filiera manifatturiera

5.4.1 Le condizioni del lavoro nell'industria elettrodigitale

Come riportato da un recente rapporto dell'ILO sul futuro del lavoro nell'industria elettronica (2024), le condizioni di lavoro presentano sfide significative lungo l'intera catena del valore: esposizione a sostanze chimiche pericolose come piombo, mercurio e cadmio, che possono causare gravi problemi di salute, tra cui cancro e disturbi respiratori; rischi fisici legati a rumori eccessivi, radiazioni e posture ergonomiche scorrette, particolarmente comuni nelle linee di assemblaggio (ILO 2024). Le donne, che costituiscono una parte significativa della forza lavoro in diversi segmenti produttivi dell'elettronica, affrontano rischi specifici per la salute riproduttiva e spesso sono sovrarappresentate in ruoli meno qualificati e peggio retribuiti, con differenziali salariali persistenti nel manifatturiero, seppur variabili per settore e forma contrattuale (World Bank 2023; ILO 2024).

L'eccesso di ore lavorative è un ulteriore elemento critico. In più contesti, durante i picchi stagionali si registrano punte di 60 ore settimanali in paesi come Cina e Vietnam, con straordinari che eccedono i limiti fissati dai codici di condotta e dalla normativa locale; in Vietnam, ad esempio, il tetto legale stabilisce 48 ore settimanali con stringenti limiti allo straordinario, che tuttavia risultano spesso aggirati nella pratica. Come riportato da un report dell'ILO sulle sfide e opportunità del lavoro decente nelle catene di fornitura elettronica, dal 2010 al 2021, il settore dell'elettronica ha registrato un aumento costante (più marcato in confronto ad altri settori economici e industriali) della percentuale di dipendenti che lavorano più di 48 ore a settimana. Negli ultimi cinque anni, l'industria elettronica ha sempre superato la media del settore manifatturiero per la percentuale di lavoratori in straordinario. In particolare, nel 2020, quasi la metà dei lavoratori del settore elettronico ha svolto, in media, più di 48 ore lavorative a settimana (ILO 2022).

La precarizzazione contrattuale attraverso il ricorso a lavoratori interinali, in distacco, a subappalti e impieghi a tempo determinato, riduce l'accesso a protezioni sociali e sicurezza del lavoro; allo stesso tempo, la libertà di associazione e il diritto alla contrattazione collettiva sono spesso limitati, rendendo difficile per i lavoratori organizzarsi e negoziare migliori condizioni (ILO 2024). I lavoratori e le lavoratrici migranti, che costituiscono una parte significativa della forza lavoro, sono particolarmente vulnerabili, spesso soggetti a pratiche illecite, come il trattenimento di documenti, condizioni di dipendenza dal datore di lavoro o dall'agenzia e alti costi di

reclutamento, elementi che alimentano rischi di lavoro forzato lungo le catene dell'ICT (Know The Chain 2022).

Un esempio ormai noto è rappresentato dal sistema cinese di registrazione della residenza '*hukou*', che regola le migrazioni interne cinesi tra campagna e città. Questo sistema ha creato un dualismo nel mercato del lavoro: gli immigrati provenienti dalle aree rurali, impiegati nelle fabbriche urbane, godono di diritti significativamente inferiori rispetto ai residenti urbani (Pun 2012). Tale disparità ha permesso nel tempo di consolidare una struttura dualistica del mercato del lavoro, che ha favorito la proletarianizzazione di massa. Questa condizione si è tradotta in un regime lavorativo-abitativo - noto come *dormitory labour regime* (Smith, Pun 2006) - estremamente rigido volto a garantire un controllo pervasivo, in cui i lavoratori sono costretti a vivere in prossimità dei luoghi di produzione, spesso all'interno di dormitori annessi alle fabbriche o in vasti quartieri dormitorio. Tale sistema, basato su «pratiche illegali ma socialmente accettate, e attività legali ma non etiche» (Inverardi-Ferri 2022, 141), è funzionale alla logica della produzione *just-in-time*, ma allo stesso tempo limita fortemente la possibilità di una riproduzione sociale dignitosa. I bassi salari, infatti, non consentono ai lavoratori di accedere a soluzioni abitative esterne, costringendoli a una vita precaria e segregata.

A ciò si aggiunge il ricorso al lavoro temporaneo, come nel caso del reclutamento di studenti degli istituti tecnici durante i picchi di domanda, una pratica facilitata dal supporto delle istituzioni locali e centrali (Pun et al. 2015). Come evidenziato da Inverardi-Ferri (2022), l'eccesso di straordinari ha gravi implicazioni per i lavoratori, tra cui problemi di salute fisica e mentale dovuti alla fatica e allo stress, alienazione causata da mansioni ripetitive che degradano le competenze, e dipendenza economica dagli straordinari per superare il livello di sussistenza. Inoltre, il regime di lavoro nei dormitori isola i lavoratori dalle loro famiglie, mentre la violazione delle leggi sul lavoro li espone a pratiche di sfruttamento. La paura del licenziamento e la repressione delle proteste limitano la capacità dei lavoratori di rivendicare migliori condizioni, perpetuando un sistema che mina i loro diritti e la loro dignità.

Le dinamiche industriali e la governance e organizzazione delle catene globali del valore rafforzano tali tendenze. La standardizzazione modulare della produzione - con *Electronic Manufacturing Services* (EMS) e *Original Design Manufacturing* (ODM) - amplia la sostituibilità dei fornitori e concentra il potere di mercato nelle imprese principali (*lead firms*), che si appropriano della quota maggiore del valore creato, riversando la pressione sui costi a valle, cioè su fornitori e lavoro (Pun 2012; Pawlicki 2016). In questo quadro, gli ODM di Taiwan coprono una quota largamente maggioritaria della produzione mondiale di notebook (80-90%, a

seconda degli anni e delle metriche), confermando la centralità di tali attori nella governance della filiera (Pawlicki 2016).

Sul piano regolativo, i codici privati di condotta – come quello della Responsible Business Alliance (RBA), che fissa in linea generale un limite di 60 ore settimanali salvo emergenze – hanno contribuito a definire standard di riferimento; tuttavia, in molteplici ispezioni e inchieste indipendenti si riscontrano ancora sforamenti sistematici, opacità negli appalti e debolezze nell'enforcement (RBA 2022; Inverardi-Ferri 2022). Ne consegue la necessità di rafforzare le normative nazionali e internazionali sul lavoro, promuovere la piena attuazione delle Convenzioni fondamentali dell'ILO, aumentare trasparenza e tracciabilità di filiera e investire in formazione e progressioni professionali con attenzione specifica a donne e migranti (ILO 2024; Know The Chain 2022).

5.4.2 Foxconn e il regime lavorativo ipersfruttato transnazionale

La taiwanese Hon Hai Precision Industry Co., Ltd. (Foxconn), il più grande produttore a contratto al mondo con picchi di circa 900.000 addetti nei periodi di massima attività, incarna in modo paradigmatico le criticità sopra descritte. Fondata nel 1974, opera in diverse aree geografiche e in un ampio ventaglio di segmenti, in particolare progettazione, sviluppo e produzione di una vasta gamma di prodotti tecnologici, tra cui componenti per smartphone, computer, cavi e connettori. La Cina ospita la maggior parte della forza lavoro della Foxconn, distribuita in 32 stabilimenti, con oltre 400.000 addetti concentrati nella sola area di Shenzhen (Andrijasevic et al. 2022). In questi siti, la disciplina del lavoro è storicamente rigida. Le maestranze sono sottoposte a meccanismi di controllo serrati e spesso umilianti, come addestramenti di stampo militare, controlli di sicurezza invasivi e misure punitive per infrazioni minori. Ciò ha creato un ambiente disumanizzante, in cui i lavoratori sono alienati sia da sé stessi che dal prodotto del loro lavoro, ridotti a semplici ingranaggi di una macchina (Sandoval 2013; Fuchs 2014).

La forza lavoro nelle fabbriche dei fornitori di grandi committenti (come, ad esempio, Apple) in Cina è composta principalmente da giovani donne migranti, spesso preferite per mansioni ripetitive e di precisione e ritenute (stereotipicamente) più docili e meno inclini alla protesta (Sandoval 2013). Sul piano normativo, in Cina il tetto legale agli straordinari è pari a 36 ore mensili; eppure, in diverse indagini sono stati documentati superamenti sostanziali durante i picchi produttivi, con settimane oltre le 60 ore e casi anche superiori (Pun et al. 2015; Andrijasevic et al. 2022). I salari, calcolati su una settimana lavorativa di 40 ore, variano a seconda della regione e del

periodo: ad esempio, nel 2017 a Chongqing le retribuzioni complessive tra i 300 e i 400 euro mensili (inclusi gli straordinari), superavano di poco il minimo locale, mentre a Shenzhen potevano raggiungere circa 500 euro (Andrijasevic et al. 2022). I contratti di lavoro sono tipicamente a breve termine, interinali o legati a stage per studenti, offrendo poca sicurezza e rendendo quasi impossibile una stabilità a lungo termine. L'ambiente di lavoro stesso è pericoloso, con equipaggiamenti protettivi inadeguati che espongono i lavoratori a sostanze nocive, scarsa ventilazione e rumore eccessivo, tutti fattori che contribuiscono a infortuni, malattie e persino decessi (Sandoval 2013; Lühje, Butollo 2016).

Oltre al costo fisico, l'impatto psicologico sui lavoratori è profondo. La natura estenuante del lavoro, unita all'isolamento sociale e alla mancanza di tempo libero, alimenta un senso di alienazione e solitudine. Ai lavoratori è spesso vietato parlare durante i turni, approfondendo ulteriormente il loro senso di disconnessione dagli altri. La pressione per raggiungere obiettivi di produzione incessanti genera uno stress enorme, mentre la natura ripetitiva e meccanizzata del lavoro elimina qualsiasi senso di appartenenza o realizzazione. Queste condizioni hanno portato a casi allarmanti di crisi di salute mentale, evidenziando il devastante costo umano di questo sistema lavorativo. Infatti, nel 2010, l'azienda è stata teatro di una serie di suicidi tra i lavoratori più giovani, di età compresa tra i 17 e i 25 anni, incapaci di sopportare il carico di lavoro eccessivo e le condizioni di vita disumane (Fuchs 2014; Gambino 2016; Pun et al. 2015).

Un'inchiesta del China Labor Watch (2018) ha approfondito le condizioni di lavoro nello stabilimento di Foxconn a Hengyang, in Cina, che produce dispositivi per Amazon. L'inchiesta ha rivelato numerose violazioni dei diritti dei lavoratori, tra cui l'uso eccessivo di lavoratori interinali (oltre il 40% della forza lavoro), salari bassi, orari di lavoro prolungati e condizioni di vita precarie nei dormitori. Tale impiego di manodopera 'pronta all'uso' assolve una funzione cardine nel regime di flessibilità transnazionale. I lavoratori in distacco (*posted workers*) sono sottoposti a condizioni di lavoro ancora più precarie rispetto ai lavoratori regolari: ricevono meno formazione, non hanno accesso a benefici come l'assicurazione sanitaria e sono spesso costretti a prendere permessi non retribuiti durante i periodi di bassa produzione (China Labor Watch, 2018). Come sottolineato da Rossana Cillo e Fabio Perocco,

I posted workers – legalmente lavoratori in distacco transnazionale, praticamente lavoratori transnazionali temporanei – rappresentano una figura ideale per l'impiego di manodopera mobile, just-in-time, in uno o più siti produttivi al momento giusto e al posto giusto, 'senza sprechi', da cui estrarre maggior valore. (Cillo, Perocco 2022, 5)

Altre filiali della Foxconn si trovano in Australia, Messico, Europa centrale e orientale (con impianti di grandi dimensioni in Repubblica Ceca, Slovacchia e Ungheria) e Turchia, per un totale di circa 200 sedi (Drahokoupil et al. 2016). L'espansione negli anni Dieci in Europa centrale e orientale (Central and Eastern Europe - CEE) - nella fattispecie Repubblica Ceca, Slovacchia e Ungheria - e in Turchia offre un caso emblematico per comprendere la relazione bidirezionale tra l'adattamento delle operazioni aziendali a specifici contesti socio-istituzionali e il ruolo degli Stati nel facilitare tali operazioni attraverso regimi migratori, lavorativi e fiscali favorevoli. Attraverso l'analisi di tre casi di studio - Repubblica Ceca, Ungheria e Turchia - gli autori hanno identificato continuità e discontinuità nei processi globali di insediamento della Foxconn, evidenziando come l'azienda modelli le sue pratiche in base alle caratteristiche locali. In questa organizzazione globale, il regime lavorativo del dormitorio (*dormitory labor regime*) «represents a global spatial 'fix' enabling capital to reorganise and expand [...] that has transformed socialist China into the 'workshop of the world' and is expediting CEE's integration into global production circuits» (Andrijasevic et al. 2022, 8-9). Nel caso della Repubblica Ceca, l'uso di dormitori è stato fondamentale per gestire processi produttivi *just-in-time*. In Turchia, invece, Foxconn si avvale di tirocinanti e apprendisti finanziati dal governo, una pratica che richiama l'ampio utilizzo di manodopera studentesca nelle fabbriche cinesi (Andrijasevic et al. 2022). Perciò, le agenzie di lavoro temporaneo (*Temporary Work Agency* - TWA) risultano centrali: reclutano nei paesi d'origine, organizzano trasporto e alloggio, amministrano contratti a breve termine e salari bassi, rendendo i lavoratori migranti 'invisibili' e sottoposti a maggiore controllo (Andrijasevic, Sacchetto 2017).

Da questo regime di lavoro emerge una netta divisione tra lavoratori *core* (direttamente assunti dalle aziende) e lavoratori immigrati in distacco, con questi ultimi relegati a una posizione di svantaggio, caratterizzata da salari più bassi, minori tutele e maggiore controllo da parte delle agenzie e della direzione delle fabbriche. Questo sistema di segmentazione del lavoro rafforza le disuguaglianze sociali ed economiche, creando una forza lavoro gerarchizzata e divisa. Inoltre, il ruolo delle multinazionali come Amazon e Foxconn nel perpetuare queste condizioni di lavoro precarie è un tema centrale: nonostante l'esistenza di codici di condotta per i fornitori, le normative sono spesso ignorate o applicate in modo insufficiente, consentendo alle aziende di trarre profitto da un sistema che sfrutta i lavoratori più vulnerabili (China Labor Watch 2018; Andrijasevic, Sacchetto 2017).

Questo adattamento ai contesti locali, pur mantenendo una logica globale di sfruttamento, flessibilità e precarizzazione, sottolinea il ruolo attivo degli Stati nel facilitare pratiche aziendali che spesso compromettono i diritti dei lavoratori. L'espansione di stabilimenti

produttivi dell'elettronica in CCE, tra cui la Foxconn, è stata dettata da forme di vantaggio competitivo, tra cui politiche del lavoro e dell'immigrazione favorevoli, una forza lavoro qualificata e con un costo inferiore rispetto all'Europa occidentale, i vantaggi di prossimità al mercato del consumo, le infrastrutture preesistenti (Radosevic 2004). Storicamente, gli investimenti diretti esteri (FDI) hanno rappresentato il motore principale di questa integrazione. Le grandi corporation internazionali hanno delocalizzato segmenti significativi della loro produzione nella CEE, attratti dalla possibilità di ridurre i costi operativi e aumentare la flessibilità produttiva. Questo fenomeno è stato ulteriormente incentivato dalla domanda proveniente dai mercati dell'UE, che ha agito come un potente volano per l'espansione delle attività industriali nella regione. La CEE, in questo senso, non è stata solo un sito di produzione a basso costo, ma anche un nodo strategico per accedere a uno dei mercati di consumo più ricchi e dinamici del mondo con l'insediamento di imprese sussidiarie specializzate nell'assemblaggio ed esportazione di manufatti dell'elettronica di consumo (Radosevic 2004).

Così, l'etichetta *made in EU* non diventa solo un indicatore della qualità della merce prodotta. Piuttosto, all'interno di questa organizzazione globale delle catene e reti produttive, l'etichetta permette una serie di agevolazioni alle imprese che operano nel contesto europeo o in paesi limitrofi come la Turchia, esentandole dal pagamento dell'IVA, delle imposte sui profitti e sui salari e delle imposte sulle esportazioni verso l'UE, il Nord Africa e il Medio Oriente (Andrijasevic et al. 2022).

5.4.3 Un impatto socio-ecologico diseguale

I processi produttivi dell'industria elettronica e dei semiconduttori sono altamente chimico-intensivi e impiegano una vasta gamma di sostanze sintetiche e metalli, tra cui mercurio, ritardanti di fiamma bromurati, solventi organici tossici come tricloroetilene e toluene, metalli pesanti quali arsenico, rame, nichel, zinco, tungsteno e indio, e composti fluorurati persistenti come il perfluorottano sulfonato (PFOS) e i suoi precursori, utilizzati in fasi cruciali come la fotolitografia, la pulizia e l'incisione dei wafer. L'esposizione a tali agenti comporta rischi significativi per la salute umana, con studi che evidenziano la presenza di tossine riproduttive, mutageni e cancerogeni; ad esempio, mercurio e metalli pesanti sono associati a danni neurologici e renali, i ritardanti di fiamma bromurati a disturbi endocrini, e solventi come tricloroetilene e toluene a effetti sul sistema nervoso centrale. Particolarmente allarmanti sono i tassi elevati di aborti spontanei rilevati tra le operaie delle fabbriche di microelettronica in Corea del Sud, un rischio aggravato dalla rapida introduzione di nuove sostanze senza adeguate valutazioni tossicologiche, come sottolineato nel documento (Tu 2023).

L'industria elettronica e, al suo interno, quella dei semiconduttori, appartengono al gruppo di otto industrie che, nel loro insieme, producono oltre il 50% delle emissioni globali di gas climalteranti (World Economic Forum 2021). La fabbricazione di chip e wafer nei *fabs* richiede enormi quantità di acqua per processi come la pulizia, l'incisione e il raffreddamento.

La 'transizione digitale', così, rischia di nascondere il fatto che gli effetti materiali di questi processi restano concentrati in aree ritenute sacrificabili. Al contrario, l'industria high-tech rappresenta un ambito in cui la contraddizione o dilemma lavoro-ambiente può presentarsi in forme eclatanti. Maxwell e Miller (2012) hanno criticato la narrativa dominante che celebra l'innovazione tecnologica senza considerare i costi ambientali e sociali, sostenendo che i media hanno un ruolo cruciale nel perpetuare l'ingiustizia ambientale. Allo stesso modo, i discorsi mediatici sulle tecnologie verdi spesso nascondano le pratiche insostenibili dell'industria elettronica, contribuendo a una forma di *greenwashing* che maschera forme di razzismo ambientale (Gabrys 2011). Questa impostazione distorta non solo oscura i veri costi ambientali e sociali dell'industria elettronica, ma contribuisce anche a normalizzare e giustificare le pratiche di sfruttamento e inquinamento. Pellow e Park (2002) hanno documentato come le comunità di colore nella Silicon Valley siano state storicamente esposte a livelli elevati di inquinanti, dimostrando che l'industria high-tech, lungi dall'essere una soluzione, è intrinsecamente legata a povertà, devastazione ecologica e disuguaglianza.

5.4.4 Pulito all'esterno, nocivo all'interno: la fabbrica microelettronica

Le condizioni descritte nel caso Foxconn non rappresentano un'eccezione, ma una forma emblematica di un regime produttivo transnazionale. Al di là del controllo disciplinare e dello sfruttamento lavorativo in senso stretto, queste pratiche industriali implicano anche una dimensione sanitaria e tossicologica spesso sottovalutata. È nel cuore degli stabilimenti produttivi della microelettronica, che comprende semiconduttori e chip, che emergono in modo tangibile i costi invisibili di questo modello produttivo: patologie croniche, esposizione a sostanze pericolose e degradazione della salute fisica e riproduttiva dei lavoratori. Sin dagli anni Settanta, studi pionieristici sulle fabbriche californiane hanno rilevato tassi di intossicazione chimica fino a sei volte superiori alla media manifatturiera, smentendo il mito della 'camera bianca', o *cleanroom* (LaDou 2006).

Negli stabilimenti di microelettronica gli indicatori ufficiali statunitensi sembrano rassicuranti: nel 2022, secondo i dati del Bureau of Labor Statistic degli Stati Uniti, i casi totali registrati (*total recordable case rate* - TRC) dell'industria dei semiconduttori e di altri componenti elettronici (NAICS 3344, secondo la classificazione statunitense) si ferma a 0,5 infortuni ogni cento lavoratori equivalenti a tempo pieno, un quinto circa della media manifatturiera nazionale (2,4).³ Lo stesso database segnala appena 0,4 casi con giorni di assenza dal lavoro (DAFW) ogni cento addetti, contro 1,5 della manifattura nel suo insieme. Nel sottosettore più specifico 33441 il TRC è comunque di 1,0, contro 2,7 dell'intera manifattura. I soli casi con giorni di assenza (DAFW) sono 0,3 per 100 addetti e quelli con ricollocazione o restrizione (DJTR) 0,2, valori molto più bassi dei corrispondenti 1,5 e 1,1 registrati dall'industria statunitense nel suo complesso (BLS, 2024). Altre sottocategorie dello stesso gruppo NAICS mostrano incidenze più elevate: nella produzione di circuiti stampati nudi (334412) il TRC è 1,8 e il DART 1,2; nella fabbricazione di condensatori, resistenze, trasformatori e induttori (334416) i valori sono analoghi (1,8 e 1,2); mentre l'assemblaggio di connettori elettronici (334417) registra 0,9 e 0,7 rispettivamente.

³ Il *Total Recordable Case* (TRC) per questo aggregato non viene pubblicato dal BLS perché inferiore alla soglia di divulgazione, come indicato precedentemente.

Tabella 9 Incidenza di infortuni e malattie professionali – Stati Uniti, 2023. Settore semiconduttori e componentistica elettronica. Fonte: BLS 2024 (https://www.bls.gov/iif/nonfatal-injuries-and-illnesses-tables/table-1-injury-and-illness-rates-by-industry-2023-national.htm#soii_n17_as_t1.f.3); trad. dell'Autore.

NAICS	Segmento	Casi totali registrabili (TRC)	DART*	Giorni di assenza (DAFW)	Trasferimento/ Restrizione (DJTR)	Altri casi registrabili
3344	Fabbricazione di semiconduttori e altri componenti elettronici	-	0,5	0,3	0,2	0,4
33441	Fabbricazione di semiconduttori e altri componenti elettronici (dettaglio)	1,0	0,5	0,3	0,2	0,4
334412	Fabbricazione di circuiti stampati nudi	1,8	1,2	0,5	0,7	0,6
334413	Fabbricazione di dispositivi a semiconduttore e affini	-	0,4	0,2	0,2	0,4
334416	Fabbricazione di condensatori, resistori, bobine, trasformatori e altri induttori	1,8	1,2	0,7	0,5	0,6
334417	Fabbricazione di connettori elettronici	0,9	0,7	0,4	0,3	0,3
334418	Assemblaggio di circuiti stampati (assemblaggio elettronico)	0,9	0,5	0,3	0,2	0,4
334419	Altra fabbricazione di componenti elettronici	1,0	0,5	0,3	-	-

*DART = *Days Away, Restricted or Transferred* – casi con giorni di assenza dal lavoro, limitazioni o trasferimento temporaneo.

Tuttavia, già nel 2001 le malattie professionali rappresentavano il 15,4% dei casi con giorni persi nei semiconduttori, contro il 6,3% dell'intero comparto manifatturiero (LaDou 2006). Una ricerca californiana ha inoltre mostrato che le aziende segnalavano all'Agenzia federale sulla salute e la sicurezza occupazionale del Dipartimento

del Lavoro (Occupational Safety and Health Administration – OSHA) meno della metà dei casi conformi ai criteri di notifica, occultando così l'impatto reale dell'ambiente di lavoro sulla salute (McCurdy, Schenker, Samuels 1991, citati in LaDou 2006).

Nei primi anni Duemila, casi concentrati di tumori cerebrali e linfomi fra i dipendenti IBM – pur osteggiati in sede giudiziaria – hanno richiamato l'attenzione sul rischio oncologico latente delle linee di produzione (Beall et al. 1996; Clapp 2001; LaDou 2006). Nel 2001, nel Regno Unito il Health and Safety Executive (HSE) condusse uno studio sui lavoratori dello stabilimento National Semiconductor nella cittadina di Greenock. Pur limitato da un campione ridotto, lo studio riscontrò eccessi di tumore al polmone, allo stomaco e alla mammella tra le donne, e di tumori cerebrali tra gli uomini rispetto alla popolazione scozzese. Le ispezioni successive in 25 impianti britannici mostrarono che oltre un quinto non rispettava i requisiti minimi di legge in tema di ventilazione, sorveglianza sanitaria e gestione dei cancerogeni, con l'emissione di 13 provvedimenti di miglioramento e un ordine di cessazione immediata. Sulla scia di tali evidenze l'HSE propose un ampliamento dell'indagine per approfondire i tumori polmonari e mammari, nonché quelli gastrici e cerebrali (LaDou 2006). Il caso britannico conferma quindi che, anche in contesti regolatori avanzati, la presunta pulizia dell'high-tech può celare rischi rilevanti ma sottostimati.

Anche un'osservazione dei principali siti produttivi asiatici mostra le tendenze pocanzi delineate. In Cina, ad esempio, un'indagine condotta su lavoratori dell'industria elettronica ha rilevato un'elevata prevalenza di disturbi muscoloscheletrici (ad esempio, il 18,75% per i dolori al collo negli uomini), attribuendo l'incidenza a fattori come i movimenti ripetitivi e la postura statica (Yang et al. 2023). Per quanto riguarda la salute riproduttiva, il tasso di aborto spontaneo tra le lavoratrici del processo di confezionamento (PKG) è stato del 14,5%, mentre tra quelle del processo di fabbricazione (FAB) è stato del 12,6%, entrambi superiori all'11,1% osservato tra le impiegate. Questi tassi superano anche l'11,1% riportato nel 2012 per le donne coreane di età compresa tra 15 e 44 anni, evidenziando potenziali rischi per la salute riproduttiva associati ai ruoli di produzione nell'industria (Kim et al. 2017). Ulteriori analisi indicano che il rischio di aborto spontaneo era significativamente più alto tra le lavoratrici PKG rispetto alle impiegate, soprattutto nel periodo antecedente al 2008, quando i livelli di automazione e le condizioni ambientali erano meno avanzati e il contatto diretto con sostanze chimiche potenzialmente tossiche era più frequente (Kim et al. 2017). Inoltre, il rischio riproduttivo non riguarda solo le donne. Uno studio retrospettivo ha mostrato che gli operai maschi coinvolti nei processi produttivi presentano un rischio significativamente maggiore di esiti avversi della gravidanza nei propri partner, rispetto ai lavoratori d'ufficio, con una probabilità

aumentata del 47% per gli addetti all'assemblaggio e fino al 74% per quelli coinvolti nella fabbricazione, in particolare quando anche le partner lavoravano nello stesso settore (Choi et al. 2019).

L'incidenza cumulativa di aborti spontanei tra gli operai è stata del 9,8% nel periodo 1986-2015, e le cause ipotizzate includono l'esposizione a solventi organici come gli eteri di glicole etilenico (EGE), radiazioni a bassa frequenza e altri agenti mutageni o cancerogeni, che possono compromettere la qualità dello sperma o indurre mutazioni genetiche nei gameti (Choi et al. 2019; Kim et al. 2014).

Combinati, questi risultati suggeriscono che il guscio digitale pulito nasconde un carico sanitario latente derivante dalla manifattura delle sue singole componenti elettroniche: pochi infortuni acuti ma molte patologie croniche collegate a ergonomia carente, sostanze tossiche e turni prolungati. La nocività, insomma, si distribuisce in modo selettivo: invisibile nelle statistiche aggregate nord-americane, fin troppo tangibile nelle cartelle cliniche di chi lavora fra luci UV, flussi laminari e solventi volatili.

6 Digitarchia e capitalismo digitale: governo, conflitti e giustizia ecologica nell'Antropocene

Sommario 6.1 La digitarchia come governo del digitale. – 6.2 Due digitarchie imperiali? Stati Uniti e Cina. – 6.3 Digitarchia come governo del metabolismo socio-ecologico nell'Antropocene. – 6.4 Giustizia ambientale: conflitti, capitalismo 'verde' e resistenze sociali. – 6.5 Il caso di Taiwan: industria high-tech e conflitti socio-ambientali.

6.1 La digitarchia come governo del digitale

La digitarchia emerge come la forma di governo e la specifica struttura di potere che plasma l'ordine sociale nel contesto del capitalismo digitale (Pirina 2022). Essa, nella sua attuale configurazione, è intrinsecamente responsabile della nocività digitale, configurandosi come una forma di governo strutturalmente dannosa per i modelli di produzione e consumo del digitale nel capitalismo contemporaneo.

Per comprendere appieno la digitarchia, è utile richiamare il concetto di 'idrarchia', studiato da Linebaugh e Rediker in relazione al capitalismo marittimo del XVII secolo. L'idrarchia, originariamente intesa come «governo delle acque», aveva una duplice valenza: da un lato descriveva l'imposizione di un ordine imperiale sugli oceani per favorire l'accumulazione coloniale; dall'altro, rivelava le forme di autorganizzazione e resistenza sviluppate dai marinai, dai pirati e dagli schiavi in fuga.

Questa stessa dialettica si riproduce oggi nel governo del digitale. La digitarchia non è una semplice evoluzione della governance tecnocratica, bensì un campo di contesa in cui si scontrano logiche opposte di organizzazione sociale. Da un lato, le grandi piattaforme digitali esercitano un potere infrastrutturale e algoritmico che mercifica il lavoro, trasforma le prestazioni umane in dati sfruttabili e impone ritmi produttivi sempre più frenetici. Dall'altro lato, i lavoratori digitali – dai rider ai programmatori, dagli operatori dei call center ai moderatori di contenuti – sviluppano forme inedite di resistenza e autorganizzazione. Si delinano, così, una digitarchia 'dall'alto' o 'imperiale' e una digitarchia dal 'basso' (Pirina 2022).

La digitarchia 'dall'alto' si manifesta nell'architettura stessa del capitalismo digitale e delle piattaforme. Qui, l'opacità degli algoritmi diventa uno strumento di controllo, e la presunta neutralità tecnologica maschera rapporti di potere profondamente asimmetrici. Casi come Uber o Amazon dimostrano come questo modello si basi su una doppia espropriazione: del tempo e delle energie dei lavoratori, costretti a sottostare a logiche di valutazione e disciplinamento algoritmico; e dei dati prodotti durante l'attività lavorativa, che alimentano cicli sempre più ampi di accumulazione. Questa logica di crescita esponenziale e di massimizzazione del profitto è il motore della nocività digitale, esternalizzando costi e rischi.

Tuttavia, questo potere non è monolitico né incontestato. La digitarchia 'dal basso' emerge nelle pratiche quotidiane di resistenza dei lavoratori digitali: nelle lotte dei rider per la trasparenza algoritmica, nelle mobilitazioni transnazionali dei lavoratori della gig economy, nelle esperienze di cooperativismo di piattaforma che tentano di riappropriarsi delle tecnologie digitali per finalità mutualistiche.

Questa tensione tra digitarchia 'dall'alto' o 'imperiale' e digitarchia 'dal basso' non è un mero conflitto tra attori sociali, ma una contraddizione costitutiva del capitalismo digitale. Da un lato, la propagazione digitale si fonda su una «nuova morfologia del lavoro» (Antunes 2018) per alimentare e realizzare le sue infrastrutture; dall'altro, questo stesso lavoro sviluppa forme di consapevolezza e organizzazione. Le piattaforme digitali, in questo senso, possono diventare potenziali strumenti di emancipazione (Bonini, Treré 2024). Le contraddizioni tra diversi attori capitalistici (ad esempio, le divergenze tra Just Eat e Deliveroo sulla subordinazione dei rider) rivelano punti deboli strategici, mentre le esperienze di sovranità tecnologica dimostrano che alternative concrete sono possibili.

Il concetto di digitarchia intercetta una serie di traiettorie teoriche già sedimentate, provando ad ampliarne l'orizzonte critico e analitico. Si avvicina, anzitutto, all'idea di capitalismo della sorveglianza proposta da Zuboff (2019), che interpreta l'accumulazione capitalistica come fondata sull'estrazione di surplus comportamentale dai dati

degli utenti. Tuttavia, questa prospettiva, pur riconoscendo la rilevanza della sfera cognitiva e relazionale, coglie in misura minore le infrastrutture materiali, energetiche e geopolitiche sottese al processo estrattivo. L'attenzione alla struttura invisibile del potere digitale è invece centrale in Christian Fuchs (2014), che propone una teoria critica dell'economia politica dell'informazione: secondo l'autore, la digitalizzazione è parte di un sistema capitalistico globale che estende lo sfruttamento del lavoro anche attraverso la produzione simbolica e comunicativa.

Il potere infrastrutturale – descritto da Mann (1984) e ridefinito da Easterling (2014) – costituisce un asse fondamentale di questa forma di governo. L'infrastruttura non è un supporto neutro, bensì un vettore storico-politico-normativo che organizza i territori, i corpi, le temporalità. La digitarchia, in questo senso, è la forma attuale di un potere infrastrutturale espanso: interfacce, cavi, server, logistica, lavoro e dispositivi cyberfisici si combinano per creare uno spazio operativo fluido e onnipresente, dove ogni elemento funziona come dispositivo di governo. Non si tratta più di mezzi tecnologici, ma di ambienti socio-ecologici. Ambienti che, per funzionare, dissipano energia, mobilitano lavoro, assorbono risorse e producono scarti. È in questa continuità tra astratto e materiale che si manifesta la nocività digitale: non come accidente, ma come condizione strutturale.

A questo quadro si aggiunge la «governamentalità algoritmica» (Rouvroy, Berns 2013), che tematizza una razionalità anticipante, statistica, non deliberativa, in cui l'algoritmo 'prevede'. Ma ciò che prevede è inscritto in circuiti che tracciano, discriminano, ottimizzano. Questa architettura predittiva – tanto più efficace quanto più opaca – si innesta su infrastrutture logistiche e territoriali, rendendo ogni decisione un nodo in una catena computazionale. L'«algocrazia» (Aneesh 2006; Danaher et al. 2017), in questo senso, è solo una delle manifestazioni della digitarchia: una fase in cui la delega tecnica coincide con la neutralizzazione del politico, e dove la nocività non è più riconoscibile come evento, ma come protocollo.

È in questo scenario che si innesta la riflessione sull'Amazon Capitalism, che rappresenta la realizzazione operativa di un regime digitarchico su scala planetaria. Amazon non è un'azienda, è una forma di governo del tempo, del desiderio e della mobilità. Come mostrano Alimahomed-Wilson e Reese (2020), la logica della consegna immediata richiede una rete globale di magazzini, server, corpi e codici che rendono possibile l'illusione dell'immaterialità. Ma ogni click produce calore, consumo, fatica. Ogni algoritmo di ottimizzazione è inscritto in una macchina termica, logistica, geopolitica. La nocività digitale, in questo contesto, non è né collaterale né riformabile: è il prezzo metabolico della fluidità apparente, il residuo sistemico di un ordine che trasforma ogni funzione in frizione nascosta.

Dunque, il concetto di digitarchia colma uno spazio concettuale ancora scoperto: quello di un potere digitale sistemico e metabolico, che agisce congiuntamente sul piano estrattivo, logistico, cognitivo e territoriale. La digitarchia permette infatti di superare la dicotomia tra online e offline, fisico e digitale a favore di una logica figitale e cyber-fisica, restituendo alla digitalizzazione la sua piena consistenza materiale e la sua funzione politica nel governare la relazione tra società e natura.

6.2 Due digitarchie imperiali? Stati Uniti e Cina

La digitarchia non si limita alle dinamiche interne di piattaforme e lavoratori: essa si dispiega anche su scala geopolitica, modellando i rapporti di forza tra potenze globali. In particolare, le configurazioni del capitalismo digitale statunitense e cinese rappresentano due varianti strutturalmente differenti, il primo di stampo neoliberista, il secondo guidato dallo stato. In questo contesto, il capitalismo digitale rappresenta un campo di competizione strategica tra le due potenze, caratterizzato da divergenze strutturali nei meccanismi di coordinamento, governance aziendale e modelli di innovazione (Schmalz 2024).

Gli Stati Uniti incarnano un capitalismo digitale fondato su un approccio 'imperiale' che consente il dominio delle infrastrutture digitali globali attraverso l'egemonia delle GAFAM, le quali sfruttano economie di scala e modelli di *business* basati sulla proprietà privata dei dati e sulla centralità dei mercati finanziari globali. Questo modello, tuttavia, genera tensioni geopolitiche, poiché la dipendenza globale dalle infrastrutture statunitensi si scontra con le ambizioni di sovranità tecnologica di altri attori, in particolare la Cina. Quest'ultima, infatti, presenta un capitalismo digitale ibrido, gestito dallo Stato e orientato alla sicurezza nazionale (Schmalz 2024; Yuan, Zhang 2025).

La dialettica tra «piattaformizzazione» e «infrastrutturazione» (Plantin 2018; Borghi 2021; Frapporti 2024) è una chiave per decifrare le dinamiche del capitalismo digitale cinese, dove lo Stato esercita un ruolo attivo nel modellare l'evoluzione tecnologica (Pun 2024; Tse, Pun 2024; Yuan, Zhang 2025). La piattaformaizzazione, fenomeno globale associato all'ascesa di modelli di business e di impresa basati su dati e algoritmi, si è manifestata in Cina attraverso l'espansione di colossi come Alibaba e Tencent, che riconfigurano settori economici – dal commercio elettronico ai servizi finanziari – in spazi digitali governati da logiche di estrazione del valore e scalabilità globale. Questo processo, sebbene abbia trainato una quota significativa della crescita economica nazionale contribuendo con il 41,5% del PIL nel 2022 dal 21,6% nel 2014 (Yuan, Zhang 2025), ha prodotto anche

tensioni strutturali, tra cui la precarizzazione del lavoro digitale, l'accumulazione di potere monopolistico e la finanziarizzazione dell'economia, spingendo Pechino a introdurre misure correttive come le regolamentazioni antitrust e il rafforzamento della sovranità dei dati.

Tuttavia, la specificità cinese risiede nell'emergere parallelo di un processo di infrastrutturazione, in cui le stesse piattaforme digitali si orientano verso funzioni sistemiche e integrate in progetti di governance statale. L'infrastrutturazione riflette una visione *top-down* in cui le tecnologie digitali sono assimilate a beni pubblici strategici, strumentali agli obiettivi di pianificazione economica e sicurezza nazionale. Esempio è il caso di *Guizhou Cloud Big Data*, piattaforma che trascende la mera ottimizzazione commerciale per divenire un nodo infrastrutturale nella gestione di dati urbani, risorse energetiche e politiche di sviluppo regionale. Questo modello ibrido, in cui attori privati operano come estensioni della macchina statale, sfuma i confini tra sfera pubblica e privata, subordinando l'innovazione tecnologica a priorità politiche come la stabilità sociale e l'autosufficienza industriale.

La coesistenza di queste due logiche – una incentrata sull'efficienza di mercato, l'altra sulla pianificazione statale – definisce l'originalità del capitalismo digitale cinese, collocandolo in una posizione intermedia tra il paradigma imperiale degli Stati Uniti e i sistemi a economia dirigista. Se da un lato la piattaforma alimenta la competitività globale delle *Big Tech* cinesi, dall'altro l'infrastrutturazione ne circoscrive l'autonomia, assorbendole in un quadro di controllo politico che limita eterodossie e rischi sistemici. Questa tensione non è priva di contraddizioni: da un lato, il governo promuove l'innovazione per competere a livello globale; dall'altro, teme la destabilizzazione derivante da un eccessivo potere corporativo, come dimostrano le campagne regolatorie contro Alibaba e Didi.

Le implicazioni geopolitiche di questo dualismo sono profonde. Mentre l'Occidente interpreta le piattaforme come veicoli di egemonia economica e culturale, la Cina le rilegge come strumenti di sovranità tecnologica, capaci di sfidare la dipendenza da infrastrutture estere e di proiettare influenza attraverso iniziative come la *Digital Silk Road*. In questo senso, l'infrastrutturazione non è solo una risposta alle distorsioni della piattaforma, ma un pilastro della strategia cinese per costruire un ordine digitale multipolare, alternativo al dominio statunitense (Schmalz 2024; Yuan, Zhang 2025).

Questo modello si sta evolvendo verso il «Digital China» (Yuan, Zhang 2025), un quadro politico integrato che promuove la trasformazione digitale sistemica attraverso tecnologie chiave come 5G, IoT, intelligenza artificiale e cloud computing, integrate con l'economia tradizionale e le industrie strategiche emergenti.

Tale approccio riflette un'infrastrutturazione unica, dove le piattaforme digitali non sono solo strumenti di mercato, ma diventano infrastrutture critiche per la governance statale e la pianificazione economica.

La competizione si acuisce nel settore dei semiconduttori, dove gli Stati Uniti, attraverso sanzioni e il CHIPS and Science Act, cercano di limitare l'accesso cinese alle tecnologie avanzate, mentre la Cina risponde con massicci investimenti in R&D e politiche industriali come Made in China 2025 per ridurre la dipendenza esterna (Schmalz 2024; Yuan, Zhang 2025). Le piattaforme cinesi, intanto, svolgono un ruolo duale: da un lato, fungono da motori di crescita economica (contribuendo al 41,5% del PIL nel 2022) e di espansione globale (con TikTok e la Digital Silk Road); dall'altro, sono strumenti di governance per la modernizzazione industriale e il controllo sociale, come nei sistemi di credito sociale.

Questa biforcazione tra modelli – quello statunitense, centrato sul mercato e sull'egemonia infrastrutturale globale, e quello cinese, basato sull'ibridazione Stato-mercato e sulla sovranità tecnologica – sta frammentando il panorama digitale in sfere competitive, con implicazioni geopolitiche profonde. L'infrastrutturazione cinese, in particolare, mostra come la digitalizzazione possa essere piegata a logiche di pianificazione statale, mentre la risposta americana evidenzia la vulnerabilità di un sistema globale ancora dipendente dai suoi semiconduttori e standard tecnologici.

La crescente dipendenza globale dalle tecnologie digitali, alimentata da questa competizione geopolitica e dalla costante espansione delle infrastrutture digitali, porta inevitabilmente a un'intensificazione della domanda di materie prime 'critiche' e 'strategiche'. Queste risorse, essenziali per la produzione di dispositivi elettrodigitali, provengono spesso da regioni caratterizzate da instabilità politica e conflitti, rappresentando una delle manifestazioni più tangibili della nocività digitale e della frattura metabolica. È in questo contesto che emerge la necessità di affrontare le sfide etiche e sociali legate all'approvvigionamento di tali minerali, come dimostrano i sistemi di certificazione e gli standard volti a garantire catene di fornitura responsabili e a contrastare l'esternalizzazione dei costi ambientali e sociali.

In questo contesto, le tecnologie digitali non si limitano a essere infrastrutture astratte, ma richiedono una base materiale fatta di risorse fisiche, spesso estratte in condizioni di sfruttamento. È qui che la nocività digitale prende corpo nelle miniere, nei circuiti della *supply chain*, e nei meccanismi globali di approvvigionamento. Da queste contraddizioni emergono tentativi di regolazione come i sistemi di certificazione *conflict-free*.

6.3 Digitarchia come governo del metabolismo socio-ecologico nell'Antropocene

La digitarchia opera attivamente all'interno del metabolismo socio-ecologico dell'Antropocene, non come un agente esterno, ma come una componente integrante che orienta l'allocazione delle risorse (naturali e umane), la distribuzione dei costi (sociali ed ecologici) e la definizione delle priorità tecnologiche e di sviluppo in funzione degli interessi e dei principi organizzativi degli attori capitalistici. Questa operatività è la radice della nocività digitale. Come abbiamo visto analizzando la relazione tra *fisiosfere* e *antroposfere*, il capitalismo digitale opera una doppia violenza metabolica: da un lato frammenta gli ecosistemi naturali attraverso l'espansione della tecnosfera (data center, reti infrastrutturali, miniere di minerali rari); dall'altro scompagina i ritmi biologici e climatici, accelerando i processi produttivi ben oltre la capacità di rigenerazione dei sistemi naturali. La «propagazione digitale» (Pirina 2022) si traduce in una sorta di 'bulimia digitale' caratterizzata da un consumo incessante di lavoro, risorse naturali, tecnologiche e infrastrutturali, con una domanda sempre crescente di connettività, dispositivi e servizi. Questo processo ha come corrispettivo una condizione di 'anoressia' di risorse naturali negli ambienti extra-urbani, dove le materie prime necessarie per alimentare questa bulimia vengono estratte a ritmi insostenibili. Ad esempio, l'estrazione di coltan, litio, e terre rare materiali fondamentali per la produzione di batterie e componenti elettronici, è spesso accompagnata da degrado ambientale e sfruttamento lavorativo, come evidenziato da studi su filiere estrattive in Africa subsahariana e Sud America (Bunker 1984; Moore 2015).

Il capitalismo digitale ha un proprio regime ecologico tecno-fossile che coabita con un regime ecologico tecno-*green*, basati entrambi su approcci *top-down* alla mitigazione del cambiamento climatico (Imperatore, Leonardi 2023; Leonardi 2023). Tale regime ecologico, inoltre, è esito del capitalismo digitale in quanto organizzazione sociale storicamente, geograficamente e economicamente determinata. Nello specifico, il capitalismo digitale, per come lo conosciamo oggi in Occidente, è espressione dell'Ideologica Californiana della Silicon Valley. Ciò ha delle implicazioni e dei presupposti concreti, che aiutano a comprendere le attuali relazioni sociali sui cui è basato, tra cui le forme di lavoro, il processo lavorativo e organizzativo, lo sfruttamento della natura. Lo sviluppo dell'industria elettronica e dell'high-tech, spina dorsale del capitalismo digitale, è avvenuto storicamente attraverso l'adozione di lavoro precario e sottopagato, lungo linee razziali e di genere, che spesso ha assunto i contorni di quello che è stato definito come razzismo ambientale (Pellow, Park 2002). Questo è un aspetto centrale della nocività digitale.

Il nesso inscindibile tra lavoro e natura emerge con particolare chiarezza se consideriamo come la propagazione digitale riarticoli le relazioni tra *fisiosfere* e *antroposfere*. Da un lato, l'espansione di queste ultime impatta sugli ecosistemi, ad esempio, attraverso la costruzione di data center, l'estrazione di minerali rari e la produzione di rifiuti elettronici; dall'altro, altera i ritmi biologici e climatici imponendo un'accelerazione senza precedenti dei processi produttivi. Questo doppio movimento riproduce su scala ampliata la logica estrattiva del capitalismo fossile, mascherandola dietro la retorica dell'immaterialità e della sostenibilità, e contribuendo al superamento dei limiti planetari.

In questo contesto, il concetto di digitarchia ci permette di cogliere le continuità storiche tra le forme di dominio coloniale e il governo del cyberspazio. La frattura metabolica prodotta dalla propagazione digitale raggiunge il suo estremo nella contraddizione tra l'immaginario di sostenibilità veicolato dalle grandi *corporation* tecnologiche e la realtà di un modello economico e di una forma di governo del digitale che continua a fondarsi su forme di dipendenza diseguale e colonialismo in salsa digitale. Le cosiddette zone di sacrificio del capitalismo digitale – dalle miniere di cobalto nella Repubblica Democratica del Congo alle discariche di rifiuti elettronici in Ghana – rappresentano il lato oscuro della supposta leggerezza della 'nuvola' e del cyberspazio.

In questo scenario, le esperienze di sovranità tecnologica, cooperativismo di piattaforma e giustizia climatica assumono un significato che travalica la semplice ricerca di alternative economiche. Esse possono rappresentare tentativi concreti di ricomposizione del metabolismo socio-ecologico, attraverso pratiche che vanno dall'adozione di criteri di sostenibilità ed equità nella progettazione tecnologica alla promozione di modelli circolari di produzione e consumo. Queste sperimentazioni, seppur ancora minoritarie, indicano la possibilità di una digitarchia alternativa a quella imperiale che faccia della visibilità del nesso lavoro-natura il fondamento di un nuovo patto sociale ed ecologico.

La propagazione digitale nell'Antropocene ci consegna, dunque, una contraddizione fondamentale: se da un lato rappresenta l'ultima frontiera dell'estrattivismo, dall'altro rende evidente come la crisi sociale e quella ecologica siano due facce della stessa medaglia. In questa consapevolezza risiede forse la possibilità di nuove alleanze tra movimenti dei lavoratori, comunità indigene e attivisti ambientali, unite dalla comune esigenza di riappropriarsi democraticamente del governo delle relazioni tra società e natura.

In questo contesto, le tecnologie digitali non richiedono una base materiale fatta di risorse fisiche, spesso estratte in condizioni di sfruttamento lavorativo. È qui che la nocività digitale prende corpo nelle miniere, nei circuiti globali di approvvigionamento. Da queste

contraddizioni emergono tentativi di regolazione come i sistemi di certificazione *conflict-free*.

6.3.1 I sistemi di certificazione e gli standard *conflict-free*

L'Africa sub-sahariana, e in particolare la Repubblica Democratica del Congo (RDC), è da decenni al centro dell'attenzione globale per il suo ruolo cruciale nell'approvvigionamento di minerali critici e strategici, i quali includono i 3TG: *tin* (stagno), *tantalum* (tantalio), *tungsten* (tungsteno) *gold* (oro). Tuttavia, questa ricchezza naturale è spesso legata a conflitti armati, sfruttamento e violazioni dei diritti umani. Espressioni come «diamanti insanguinati», «l'oro del futuro» o «corsa al coltan» hanno permeato il dibattito pubblico, riflettendo la crescente consapevolezza del legame tra risorse naturali e violenza. In questo contesto, la nozione di «minerali privi di conflitti» (*conflict-free minerals*) è emersa come criterio fondamentale per garantire che l'estrazione e il commercio di tali risorse non finanzino gruppi armati. L'Enough Project,¹ organizzazione non-profit, definisce questi minerali come quelli che, direttamente o indirettamente, non arricchiscono le milizie (Callaway 2017). Questo scenario illustra chiaramente come la nocività digitale si manifesti attraverso l'impatto materiale e sociale delle sue catene di approvvigionamento, perpetuando dinamiche di accumulazione per espropriazione, violenza sistemica e disuguaglianze socio-ecologiche.

A livello normativo, diversi Paesi e organizzazioni sovranazionali hanno adottato misure per incentivare un approvvigionamento responsabile. Negli Stati Uniti, il *Dodd-Frank Act* del 2010, nella sua sezione 1502, ha introdotto l'obbligo per le società quotate di dichiarare l'eventuale utilizzo di stagno, tantalio, tungsteno e oro (3TG) provenienti dalla RDC o da Paesi limitrofi (Mutemeri 2024). Analogamente, l'Unione Europea ha approvato nel 2017 il Regolamento UE 2017/821, entrato in vigore nel 2021, che impone alle imprese importatrici di questi minerali di adottare rigorosi protocolli di *due diligence*. Il regolamento distingue tra imprese a monte (estrattive, commercio di materie prime, fonderie e raffinerie), soggette a verifiche obbligatorie, e quelle a valle, per le quali gli obblighi sono meno stringenti ma orientati alla trasparenza. Le imprese a monte devono rispettare norme obbligatorie sul dovere di diligenza all'importazione, essendo la parte più rischiosa della catena di approvvigionamento. Le imprese a valle che importano i prodotti come metalli hanno obblighi simili, mentre quelle che operano in fasi

¹ Enough Project è un'organizzazione no-profit con sede a Washington, D.C., il cui scopo è di porre fine ai crimini contro l'umanità, concentrando la sua azione in particolare nei paesi sub-sahariani, tra cui Rdc, Dusan e Sud Sudan. <https://enoughproject.org/>.

successive non hanno obblighi diretti ma sono invitate a rendere la loro *due diligence* più trasparente.²

Per rispondere a questa sfida, sono stati sviluppati diversi standard e sistemi di certificazione che coprono diverse fasi delle catene di approvvigionamento. Tra i più rilevanti vi è l'*OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas*, un quadro di riferimento internazionale che fornisce linee guida per la *due diligence* nelle catene di approvvigionamento. Questo documento, elaborato dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), ha ispirato numerosi protocolli aziendali e rappresenta oggi una base per le politiche di responsabilità sociale delle imprese.

Un altro strumento operativo è l'*iTSCi Programme*, che si concentra sulla tracciabilità a monte della filiera, collaborando con governi locali e agenti sul territorio per garantire che i minerali estratti siano registrati e monitorati fin dalle prime fasi del loro percorso.

Un caso particolarmente significativo è quello del *Conflict-Free Smelter Initiative* (CFSI), un programma dedicato alla certificazione delle raffinerie e delle fonderie che lavorano minerali privi di legami con conflitti. Il CFSI si articola in diverse attività, tra cui il *Conflict-Free Smelter Program*, che verifica l'origine dei materiali, e il *Due Diligence Guidance*, che stabilisce procedure per valutare i rischi nelle catene di fornitura. L'insieme di regole e procedure che compongono il programma della CFSI formano il *Conflict-Free Smelter Program Assessment Protocol*,³ il cui obiettivo è fornire supporto ad attori terzi per il controllo delle fonderie e aiutare nelle procedure di richieste di validazione lungo le catene globali di fornitura. Le aziende che aderiscono a questo standard devono dimostrare, attraverso una *Reasonable Country of Origin Inquiry* (RCOI), che i minerali da loro lavorati provengono da fonti legittime.⁴

Per quanto concerne le miniere, esistono tre tipi di certificazione per indicare se vi siano o no interferenze di gruppi armati: la certificazione 'verde', che indica le miniere libere dalle milizie armate e nelle quali può essere avviato il processo di etichettatura dei minerali; la certificazione 'gialla', con la quale le miniere hanno un permesso temporaneo di estrazione; la certificazione 'rossa', che proibisce le attività minerarie a causa della presenza di gruppi armati (Matthysen et al. 2019). I meccanismi di certificazione delle miniere

² https://ec.europa.eu/trade/policy/in-focus/conflict-minerals-regulation/regulation-explained/index_it.htm#due-diligence.

³ È possibile trovare questo programma sul sito web <http://www.conflict-freesourcing.org/>.

⁴ <https://www.responsiblemineralsinitiative.org/training/publications-brochures/>.

e di tracciabilità dei minerali hanno un legame diretto con il prezzo applicato a questi ultimi. Ad esempio, il prezzo medio e mediano del coltan varia in maniera rilevante (maggiormente rispetto agli altri minerali 3TG), a seconda che il minerale provenga da miniere che aderiscono ai meccanismi di tracciabilità dell'ITSCI e di validazione dell'Ipis, oppure ne siano estranei. Più nel dettaglio, vediamo che il prezzo medio passa da 27, 74 dollari al kg nelle miniere che aderiscono al meccanismo di tracciabilità dell'ITSCI, a 18.69 dollari nelle miniere esterne ad esso, con una variazione del 33% (il prezzo mediano passa da 25 dollari a 15.72 dollari per kg, con una variazione del 37%); nel caso della validazione dell'Ipis, troviamo che il prezzo medio del coltan varia del 24%, passando da 27.53 dollari al kg nelle miniere con validazione verde, a 20.92 dollari al kg nelle miniere senza validazione (il prezzo mediano varia rispettivamente da 25 dollari a 20.39 dollari al kg, con una variazione del 18%). Ciononostante, questa rilevante variazione di prezzo dipende prevalentemente da differenze regionali: «Low coltan prices have been registered in non-validated mines in South Kivu, especially in Shabunda territory. Within Tanganyika, for example, prices differences are much smaller» (Matthysen et al. 2019, 43).

Nonostante questi sforzi, i sistemi di certificazione presentano ancora criticità significative. Uno dei problemi più evidenti è il contrabbando: minerali estratti nella RDC orientale vengono spesso esportati illegalmente verso il Ruanda, per poi essere riesportati con certificazioni *conflict-free*, eludendo così i controlli (Bales 2016). Questo fenomeno non solo distorce i dati sulla produzione reale, ma mina l'efficacia stessa dei meccanismi di tracciabilità. Inoltre, l'adozione di standard più rigorosi ha talvolta generato effetti collaterali, come l'embargo temporaneo imposto dal governo congolese nel 2010, che ha paradossalmente favorito il consolidamento di reti commerciali illegali, spesso controllate dalle stesse forze armate (Cuvelier et al. 2014). Sebbene le iniziative sulla tracciabilità e sul rifornimento sostenibile dei minerali abbiano avuto effetti positivi, permangono le interferenze dei gruppi armati, particolarmente nelle miniere artigianali più remote. Secondo il gruppo di esperti dell'Onu, «documented and traced the trafficking of tin, tantalum and tungsten from mining sites, including those occupied by armed groups, to illicit markets» (Zounmenou et al. 2019, 30). Inoltre, questi quadri regolatori dovrebbero tenere in maggiore considerazione le difficoltà che affrontano le donne nell'ambito del settore estrattivo artigianale, dovute a stereotipi e tradizioni che le cristallizzano in posizioni subalterne (Matthysen et al. 2019). Infine, l'adozione degli standard sulla tracciabilità nelle prime fasi ha indotto ad una accelerazione del contrabbando dei minerali oltre confine, alla quale lo stato congolese ha risposto con un embargo temporaneo:

A preemptive ban on buying Congolese minerals has been the easiest response: many companies gave preference to shifting their supply chains elsewhere rather than trying to be in accordance with this new regulatory framework. Also the DRC government enacted a minerals export ban. Even if this ban was limited in time, it introduces a reconfiguration of power structures and trading networks, in some cases in favor of networks dominated by the FARDC. (Cuvelier et al. 2014, 1-2)

Ciononostante, nel corso degli anni gli standard per regolamentare l'approvvigionamento dei minerali hanno ridotto i benefici derivanti dall'estrazione e dal commercio di minerali 3T da parte dei gruppi armati. Infatti, se nel 2010 nessuna miniera era stata validata come priva di conflitto, nel 2017 circa 420 miniere sono state classificate *conflict-free* (Callaway 2017). Oltre alla sottoscrizione dei protocolli per la certificazione dei minerali da parte delle più importanti aziende che si occupano della raffinazione e fusione all'inizio della filiera, anche alcune delle più importanti imprese dell'elettronica di consumo a valle hanno cominciato a pubblicare rapporti in cui indicano la loro adesione a catene di fornitura responsabili e prive di minerali implicati in conflitti, sfruttamento della forza lavoro (anche minorile) e impatto ambientale. Questo dimostra una crescente, seppur parziale, consapevolezza della nocività digitale.

Una delle analisi più lucide e radicali delle contraddizioni insite nei meccanismi di certificazione dei minerali proviene da James H. Smith (2021), che ha descritto la dinamica di tensione tra le pratiche di audit transnazionale e le forme di vita che strutturano le economie morali locali nelle miniere artigianali della RDC. Secondo Smith, gli attori stranieri coinvolti nei progetti di tracciabilità – incluse grandi multinazionali tecnologiche occidentali (Apple, Intel, HP), consorzi di fonderie internazionali come ITRI, il regime normativo statunitense introdotto dal *Dodd-Frank Act* (sezione 1502) e le ONG incaricate dell'implementazione dei sistemi *bag-and-tag* – sono percepiti dalle comunità locali come impegnati in un progetto di 'purificazione' dei minerali congolese.

Tale 'purificazione', che si configura come un'operazione di de-sanguinamento simbolico e materiale delle materie prime, mira a garantire che ogni sacco di stagno, tantalio o tungsteno possa essere tracciato, ispezionato, etichettato e certificato come «privo di sangue» – ovvero libero da ogni legame con la violenza dei gruppi armati. Tuttavia, per molti minatori congolese, questa stessa etichetta rappresenta un tentativo di cancellare non solo le connessioni con il conflitto armato, ma anche la loro stessa presenza, il loro sudore, la loro esistenza e il diritto alla co-produzione del valore minerale. L'audit – strumento paradigmatico della digitarchia – non solo separa la materia dal contesto sociale in cui viene estratta, ma opera una

rimozione sistematica delle relazioni umane e simboliche che la rendono significativa: una vera e propria spoliazione etica e politica della materia (Smith 2021).

Per realizzare questa 'purificazione', gli attori transnazionali enfatizzano una grammatica della visibilità e della proprietà esclusiva. Ogni elemento della catena deve essere registrato, identificato e associato a un proprietario legalmente riconosciuto, spesso una cooperativa formalizzata o un'entità autorizzata dallo Stato. Questo regime di trasparenza ed *enclosure* riproduce, in forma tecnologicamente avanzata, la logica coloniale secondo cui conoscere e nominare una risorsa equivale ad acquisirne il diritto esclusivo e a recintarla, escludendo tutti gli altri. Qualsiasi minerale al di fuori di questi canali ufficiali è classificato come 'illegale' o 'insanguinato' e, in tale quadro, le pratiche di approvvigionamento responsabile (*responsible sourcing*) e tracciabilità tendono a esternalizzare oneri e rischi verso gli artigiani e i nodi locali della filiera (Calvão, Archer 2021; Calvão, McDonald, Bolay 2021).

In contrasto, le economie morali delle comunità minerarie artigianali si fondano su un'etica dal basso dell'invisibilità e della reciprocità. I minatori, i portatori e i piccoli commercianti sopravvivono attraverso una strategia di mobilità, opacità e disintermediazione: i pozzi si spostano nella notte, le persone sfuggono alla tassazione ufficiale, la documentazione viene evitata per non accumulare debiti e per mantenere un margine di autonomia rispetto a uno Stato spesso vissuto come predatorio. La segretezza, più che una pratica di elusione, è una forma di autogoverno. I minatori si descrivono come talpe o serpenti: creature che scavano in silenzio e scompaiono alla vista. Le reti economiche che si formano attorno all'attività estrattiva non si basano su relazioni di mercato formalizzate, ma su circuiti di credito informale, scambio di strumenti, cibo condiviso e alleanze occasionali, che includono anche ex avversari (Smith 2021). È in questi legami reticolari che risiede la vera pace per i minatori: non nell'esclusione o nella recinzione, ma nella molteplicità di mani che toccano il denaro, nella cooperazione situata e nell'informalità relazionale.

Il risultato è uno scontro frontale tra due logiche morali ed epistemiche: da un lato, l'ordine della tracciabilità, che impone stasi, controllo, proprietà privata e visibilità come condizioni per l'accesso al mercato globale; dall'altro, un'economia della sopravvivenza che fa della mobilità, dell'invisibilità e della redistribuzione il proprio principio operativo. L'audit, nel richiedere che i minerali – e i corpi che li estraggono – si fermino per essere ispezionati, etichettati e tassati, minaccia l'intera struttura sociale su cui si fonda l'estrazione artigianale. L'etichetta che certifica un minerale come 'privo di sangue' lo priva, agli occhi dei minatori, della sua umanità, del suo legame con le vite che lo hanno generato. In modo paradossale, un

telefono ‘pulito’ è per loro un telefono che ha cancellato ogni traccia del Congo, ogni frammento di vita e di lavoro che ne ha permesso la fabbricazione.

In ultima analisi, Smith mostra come i tentativi occidentali di rendere i minerali visibilmente ‘puri’ – fondati su documentazione, sorveglianza e proprietà recintata – si scontrino con una logica locale che valorizza l’opacità, la circolazione e la porosità dei confini. L’etica dell’invisibilità rappresenta così una forma silenziosa ma efficace di resistenza: nel rifiuto della piena leggibilità, i minatori difendono la propria agency, le proprie economie di sussistenza e le proprie reti di reciprocità da un regime che, pur parlando di trasparenza e pace, li marginalizza sistematicamente.

6.3.2 Politiche pubbliche, regolamentazioni e razzismo ambientale

Se i sistemi di certificazione mirano a regolare la fase estrattiva e contenere le implicazioni più violente della catena del valore digitale, altrettanto cruciale è osservare il destino dei prodotti digitali una volta divenuti scarto. Lo smaltimento dei rifiuti elettronici e le logiche di delocalizzazione dei rischi ambientali mostrano come il metabolismo digitale continui a produrre nocività anche nella sua fase terminale, alimentando nuove forme di disuguaglianza e razzismo ambientale.

Studi recenti si sono soffermati anche sul ruolo delle politiche pubbliche e delle normative internazionali nel tentativo di contrastare il fenomeno del razzismo ambientale nell’industria elettronica. Lepawsky e colleghi (2017) hanno criticato le politiche di riciclaggio dei rifiuti elettronici, argomentando che esse possono degenerare in una forma di «colonialismo dei rifiuti», perpetuando così le disuguaglianze globali. Le pratiche di riciclaggio nei paesi sviluppati comportano frequentemente l’esportazione di *e-waste* verso nazioni in via di sviluppo, dove lo smaltimento avviene in condizioni pericolose e inquinanti, esponendo le comunità locali a gravi rischi sanitari e ambientali – una chiara manifestazione di razzismo ambientale (ITU, UNITAR 2024).

Parallelamente, la letteratura ha indagato la capacità di resistenza delle comunità locali. Pellow e Park (2002) hanno documentato come comunità di colore e a basso reddito abbiano dato vita a movimenti per la giustizia ambientale, opponendosi attivamente alla localizzazione di discariche e impianti di smaltimento rifiuti nelle loro vicinanze. Questi movimenti hanno impiegato diverse strategie, dall’attivismo locale all’advocacy politica e all’azione legale, per contrastare le pratiche di sfruttamento e inquinamento dell’industria elettronica. Malgrado questi sforzi, le comunità locali si scontrano spesso con

ostacoli significativi, dovendo fronteggiare il potere consolidato delle multinazionali e dei governi che supportano tali pratiche.

Le contraddizioni del metabolismo digitale, come abbiamo visto, non restano prive di risposta. In numerosi contesti, le comunità colpite – siano esse estrattive, urbane o costiere – si organizzano, mobilitano e resistono. È in queste lotte che si esprime con forza una digitarchia ‘dal basso’: forme di contro-potere che sfidano l’ordine imperiale del capitalismo digitale e aprono varchi verso una possibile giustizia ambientale e sociale.

6.4 Giustizia ambientale: conflitti, capitalismo ‘verde’ e resistenze sociali

La persistenza di danni e disuguaglianze lungo le catene di produzione del digitale, nonostante i tentativi di regolamentazione sia attraverso norme nazionali, sia mediante i meccanismi di *due diligence*, rende manifesta l’insufficienza di tali approcci nel contrastare le profonde ingiustizie socio-ecologiche radicate nel capitalismo digitale. In questa dinamica, che vede la digitarchia imperiale perpetuare la nocività digitale attraverso l’esternalizzazione e invisibilizzazione sistematica dei costi, emerge con forza il concetto di giustizia ambientale. Quest’ultimo offre una lente critica indispensabile per interpretare i conflitti emergenti e le resistenze sociali – espressione della digitarchia dal basso – contro le molteplici manifestazioni della nocività digitale.

Recenti studi nel campo dell’ecologia politica offrono strumenti per interpretare sia la dimensione socio-materiale delle infrastrutture logistico-digitali nel capitalismo contemporaneo, sia le nuove forme di conflittualità emergenti nel nesso salute-lavoro-territorio, con particolare attenzione alla categoria di giustizia ambientale (Arrighetti et al. 2024). L’ecologia politica emerge come un campo interdisciplinare che interroga le relazioni tra economia, società e natura, evidenziando come quest’ultima sia stata storicamente considerata una risorsa infinita e gratuita, alla base del paradigma della crescita economica. Questo paradigma, che ha dominato il periodo post-bellico, ha giustificato l’espansione capitalistica come mezzo per raggiungere obiettivi sociali come il progresso e la piena occupazione, ma ha ignorato i costi ambientali e sociali, come la precarizzazione del lavoro e l’esaurimento delle risorse naturali. La crisi di questo modello ha portato all’emergere di nuove formazioni discorsive, come lo sviluppo sostenibile e l’economia digitale, che hanno ridefinito il capitalismo come un regime ecologico, in cui la natura è un vettore di accumulazione.

Amazon, in questo contesto, si presenta come un attore chiave del capitalismo cosiddetto verde, promuovendo iniziative come il *Climate*

Pledge e investendo in tecnologie verdi e soluzioni apparentemente sostenibili. Tuttavia, queste strategie sono criticate per il loro carattere speculativo e per il fatto che non affrontano le radici strutturali della crisi ecologica. Le comunità locali e i lavoratori contestano l'impatto ambientale e sociale delle infrastrutture logistiche di Amazon, evidenziando come l'espansione dei magazzini contribuisca all'inquinamento, alla precarizzazione del lavoro e alla segregazione razziale (Arrighetti et al. 2024). Queste mobilitazioni, spesso guidate da organizzazioni per la giustizia ambientale, pongono al centro la necessità di una redistribuzione equa delle risorse e di un riconoscimento delle forme di esclusione sociale e ambientale generate dal capitalismo verde.

Le comunità locali svolgono un ruolo fondamentale nel resistere alle pratiche estrattive dannose e nel promuovere alternative sostenibili. In Portogallo, le proteste contro le nuove miniere di litio si sono intensificate negli ultimi anni, con il supporto di associazioni come il Movimento Estrela Viva. Questi gruppi denunciano i rischi di deforestazione, contaminazione e dislocazione economica, sottolineando come i progetti minerari spesso ignorino i diritti delle comunità locali e le esigenze ambientali (Guimarães 2019). Le proteste non si limitano a respingere i progetti minerari, ma includono anche proposte per modelli economici alternativi che valorizzano le risorse locali, come il turismo sostenibile e l'agricoltura biologica.

Il concetto di «*voicing Earth*» – che invita a valorizzare le voci delle comunità umane e non umane colpite dalle pratiche estrattive – rappresenta una prospettiva innovativa per affrontare queste sfide (Coleandro et al. 2024). Questa visione promuove alleanze tra lavoratori, movimenti ambientalisti e attivisti locali per riformare il rapporto tra produzione e riproduzione sociale. Ad esempio, progetti di turismo sostenibile nelle regioni minerarie del Portogallo cercano di offrire un modello alternativo, valorizzando la cultura locale e la conservazione ambientale come risorse economiche (Franquesa 2018).

Inoltre, i movimenti ambientalisti sottolineano l'importanza di un approccio inclusivo nella governance delle risorse. La partecipazione attiva delle comunità locali ai processi decisionali è cruciale per garantire che i benefici delle attività estrattive siano distribuiti equamente e che i rischi siano minimizzati. Questo implica anche il rafforzamento delle normative ambientali e l'adozione di standard internazionali per la sostenibilità.

6.4.1 Digitarchia e conflittualità del lavoro nell'industria elettrodigitale

Se, come argomentato, la digitarchia rappresenta il principio organizzativo che governa il metabolismo socio-ecologico del capitalismo digitale, essa non si limita alla regolazione tecnica delle infrastrutture materiali e dell'esperienza e dei flussi informativi. La digitarchia è anche una forma di governo del lavoro, fondata su dispositivi di disciplinamento, invisibilizzazione, disintermediazione e controllo algoritmico, che si estendono lungo l'intera filiera elettrodigitale.

Negli ultimi anni si sono moltiplicati i segnali di rottura e di frizioni interne a questo ordine: mobilitazioni operaie, scioperi, petizioni e atti di insubordinazione collettiva che mettono in discussione la digitarchia imperiale, nelle aree dove il digitale si produce e non solo si 'consuma'. Il Sud-est asiatico, cuore della produzione elettrodigitale globale, è stato il teatro principale di queste resistenze. In Cina, le rivolte del 2022 negli stabilimenti Foxconn di Zhengzhou hanno esposto le caratteristiche del regime produttivo in epoca Covid: lavoratori confinati in fabbrica, turni lunghi, sorveglianza privata e risposta repressiva al dissenso, cui si sono affiancate concessioni salariali mirate per disinnescare ulteriori esplosioni di conflitto (Chan et al. 2022). Nel 2023 la *Strike Map* del China Labour Bulletin⁵ ha registrato un marcato aumento delle azioni collettive nel manifatturiero, con l'elettronica tra i settori più coinvolti: nel primo semestre si contano centinaia di episodi, segnando una ripresa della conflittualità rispetto al 2022 (China Labour Bulletin 2023).

Alla base delle proteste si trovano fattori economici e sistemici: la riduzione degli ordini da parte di clienti internazionali, l'aumento dei costi produttivi e un rallentamento generale dell'economia hanno spinto molte fabbriche a delocalizzare, licenziare o chiudere, spesso senza rispettare le tutele previste dalla Legge cinese sui contratti di lavoro del 2008. Le norme cinesi prevedono che ogni licenziamento collettivo o chiusura aziendale debba essere notificata con 30 giorni di anticipo, debba prevedere consultazioni sindacali e compensazioni proporzionali agli anni di servizio (art. 41 e 47). Anche la sospensione della produzione richiede un'indennità (art. 38). Tuttavia, molte imprese aggirano questi obblighi, spesso facendo leva su forme di lavoro tramite agenzia o imponendo trasferimenti forzati ai dipendenti (Chan et al. 2022).

⁵ <https://clb.org.hk/en/content/worker-protests-zhengzhou-foxconn-highlight-labour-capital-problems-global-supply-chain>; <https://clb.org.hk/en/content/surge-manufacturing-protests-china-deserves-international-attention>.

Le chiusure improvvise sono un altro meccanismo per scaricare le perdite sui lavoratori. A febbraio 2023, la Nansha Santis Substrates Ltd. ha chiuso lo stabilimento di circuiti stampati a Guangzhou lasciando stipendi arretrati di quattro mesi e contributi sociali non versati da oltre due anni.⁶ L'azienda ha dichiarato un accordo con rappresentanti dei lavoratori, ma molti hanno protestato presso il governo distrettuale denunciando la forzata cessazione dei contratti, l'assenza di compensazioni e la presenza di forze di polizia per contenere le manifestazioni.⁷

In Corea del Sud, tra giugno e luglio 2024, i lavoratori di Samsung hanno dato avvio al primo sciopero nella storia dell'azienda: il 7 giugno l'azione iniziale, organizzata dalla Nationwide Samsung Electronics Union (NSEU) e rivolta in particolare alla divisione chip dello stabilimento di Hwaseong, ha coinvolto circa 28.000 iscritti (circa un quinto della forza lavoro di Samsung in Corea), con richieste di +6,5% salariale (a fronte del 5,1% proposto dall'azienda), un giorno aggiuntivo di ferie annuali e criteri più trasparenti per il calcolo dei bonus.⁸ La mobilitazione è proseguita con un ulteriore sciopero di tre giorni a partire dell'8 luglio 2024, contestando il fallimento delle trattative contrattuali e le pratiche antisindacali dell'azienda. Le richieste del sindacato – un aumento del 3,5% del salario base, il riconoscimento del giorno di fondazione sindacale e il risarcimento delle perdite salariali – sono state ignorate, con Samsung che ha imposto unilateralmente un aumento inferiore (3%) ad alcuni lavoratori, accompagnato da minacce informali ai partecipanti allo sciopero.⁹

Ciò che accomuna queste mobilitazioni, al di là delle differenze giuridiche e culturali, è la comune insostenibilità del modello economico-produttivo, culturale, e di governo del capitalismo digitale. La risposta delle autorità e delle imprese – repressione, cooptazione, retorica – mostra che la digitarchia non è una forma di governo neutra, ma un ordine sociale digitale che reagisce al dissenso con ogni mezzo disponibile.

6 «Investigation of an Apple Supplier: Chengdu Foxconn Report in 2023». *China Labor Watch*. <https://chinalaborwatch.org/investigation-of-an-apple-supplier-chengdu-foxconn-report-in-2023/>.

7 <https://clb.org.hk/en/content/surge-manufacturing-protests-china-deserves-international-attention>.

8 Pranjali Pandey (2024) «South Korea: Samsung Workers Stage their First-ever Strike». *GreenLeft*. <https://www.greenleft.org.au/2024/1409/world/south-korea-samsung-workers-stage-their-first-ever-strike>.

9 <https://www.industrialunion.org/samsung-electronics-workers-announce-indefinite-strike>.

6.5 Il caso di Taiwan: industria high-tech e conflitti socio-ambientali

Taiwan rappresenta un campo di prova emblematico per analizzare le tensioni tra sviluppo elettrodigitale, giustizia ambientale e mobilitazioni sociali. Il paese è stato al centro di una transizione rapida da economia agricola a hub globale dell'elettronica, con profonde implicazioni ecologiche e sociali. La convergenza tra autoritarismo, neoliberalismo e industrializzazione ha dato luogo a uno specifico regime ecotecnologico, in cui il progresso è spesso costruito su fondamenta tossiche e invisibili (Chiu 2011; Hindley et al. 2011; Jobin 2021).

Il movimento contro l'inquinamento generato dall'industria high-tech a Taiwan offre un esempio significativo di come le comunità locali abbiano affrontato queste problematiche, attraversando diverse fasi. Inizialmente, tra il 1997 e il 1999, eventi critici come incendi e scarichi di acque reflue nel Parco Scientifico di Hsinchu (HSP) catalizzarono una crescente consapevolezza pubblica. Questo portò alla formazione di gruppi di sorveglianza ambientale e a una maggiore diffusione mediatica delle notizie sull'inquinamento (). Tra il 2000-05 gli ambientalisti tentarono una via istituzionale, partecipando a gruppi di monitoraggio governativi. Tuttavia, riconobbero presto l'inefficienza di tali sforzi, ostacolati da regolamenti obsoleti e da una gestione amministrativa poco trasparente. Dal 2005, il movimento ampliò il proprio raggio d'azione, abbracciando questioni più ampie di giustizia ambientale e sociale, come l'esaurimento delle risorse naturali e le disuguaglianze sociali esacerbate dall'industria high-tech. L'adozione di strategie più radicali, inclusa la mobilitazione dal basso e la creazione di alleanze tra diversi gruppi sociali, permise di ottenere risultati importanti, come la chiusura di impianti inquinanti e una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica sui costi ambientali del settore (Lau et al. 2020; Roussilhe et al. 2022).

Questo percorso evidenzia come l'industria high-tech, pur proiettando un'immagine di modernità e progresso, sia spesso intrecciata a dinamiche di sfruttamento ambientale e sociale, contribuendo alla nocività digitale. Le comunità locali, trovandosi in prima linea nel subire gli impatti negativi, hanno svolto un ruolo cruciale nel denunciare tali pratiche e nel promuovere alternative più sostenibili. Ciononostante, la battaglia per la giustizia ambientale nel settore high-tech rimane complessa. Essa richiede non solo innovazioni tecnologiche, ma anche una trasformazione strutturale del modello del modello di accumulazione, ancora ancorato a logiche espansive ed estrattive (Fraser 2021).

6.5.1 L'industrializzazione taiwanese e il suo impatto divergente sui movimenti sociali

Il modello di industrializzazione adottato a Taiwan, basato su una struttura produttiva decentralizzata e su un forte controllo statale, ha avuto conseguenze opposte sul movimento dei lavoratori e su quello ambientalista, plasmando le loro strategie e la loro efficacia in modi profondamente diversi (Hindley et al. 2011). L'industrializzazione taiwanese si è caratterizzata per la proliferazione di piccole e medie imprese (PMI) distribuite su tutto il territorio, un modello che ha reso estremamente difficile l'organizzazione sindacale. A differenza di contesti industriali centralizzati, dove grandi concentrazioni di operai potevano mobilitarsi collettivamente, la dispersione geografica delle fabbriche ha frammentato la forza lavoro, impedendo la formazione di un fronte unitario. Le controversie lavorative, spesso circoscritte a singole aziende e di piccola entità, sono state gestite attraverso meccanismi di mediazione obbligatoria, privando i lavoratori di un reale potere contrattuale.

Il regime del Kuomintang (KMT) esercitò un rigido controllo sulle grandi imprese strategiche, dove la sorveglianza statale e la repressione preventiva provarono a neutralizzare qualsiasi tentativo di protesta organizzata. Quando, tra il 1987 e il 1988, il movimento operaio tentò finalmente di emergere, si scontrò con una macchina repressiva già collaudata: nel 1989, lo sciopero più significativo del dopoguerra fu rapidamente smantellato, segnando una battuta d'arresto politica. Negli anni successivi, il movimento cercò di riorganizzarsi puntando sui lavoratori del settore pubblico, più protetti e meglio organizzati, e tentando di ottenere rappresentanza politica. Tuttavia, le divisioni interne tra chi privilegiava l'azione istituzionale e chi sosteneva la necessità di un radicamento dal basso ne limitarono l'efficacia, lasciando scoperte fasce di lavoratori precari e marginalizzati (Ho 2010).

Paradossalmente, se l'industrializzazione decentralizzata ha indebolito il movimento operaio, d'altro canto ha fornito al movimento ambientalista le condizioni per prosperare. La dispersione delle industrie inquinanti su tutto il territorio ha creato un malessere diffuso, colpendo non solo i lavoratori, ma intere comunità rurali e urbane. Agricoltori che vedevano i loro campi avvelenati, pescatori confrontati con la moria dei pesci, e residenti esposti a emissioni tossiche hanno cominciato a condividere un'esperienza comune di degrado ambientale, superando le tradizionali divisioni sociali (Chiu 2011). A differenza delle vertenze lavorative, i conflitti ambientali non potevano essere risolti con semplici mediazioni: l'inquinamento era un problema ricorrente, che richiedeva soluzioni strutturali. Di fronte all'inerzia delle istituzioni, le proteste divennero sempre più radicali, con blocchi stradali, occupazioni e azioni dirette. Il movimento seppe

costruire alleanze trasversali, coinvolgendo intellettuali, studenti e settori della classe media, sfruttando abilmente i media per sensibilizzare l'opinione pubblica.

6.5.2 L'industria dei semiconduttori a Taiwan: motore economico, minaccia ambientale e giustizia sociale

Taiwan ha costruito la sua fortuna economica sull'industria dei semiconduttori, diventando un nodo strategico nelle filiere globali dell'elettronica avanzata. Aziende come TSMC e UMC hanno trasformato l'isola un nodo strategico delle catene globali, con i parchi scientifici - Hsinchu Science Park (HSP) e Central Taiwan Science Park (CTSP) *in primis* - che ne costituiscono la spina dorsale dell'export. Tuttavia, questa traiettoria ha un costo ambientale e sociale sempre più evidente. Studi recenti stimano, ad esempio, che il solo TSMC abbia prelevato 70,6 milioni di m³ d'acqua nel 2020 (registrando un aumento del 108% rispetto al 2015) e che la domanda elettrica dell'industria dei chip sia destinata ad aumentare in modo significativo lungo la curva di miniaturizzazione e dei carichi IA, in un contesto in cui il mix elettrico taiwanese resta ancora fortemente fossile (Greenpeace 2025; Roussilhe et al. 2024).

Fondato nel 1980 come fiore all'occhiello della riconversione industriale taiwanese, lo Hsinchu Science Park (HSP) incarna l'ambivalenza di un modello di sviluppo sotto l'etichetta di 'industria pulita' che ha trainato l'economia nazionale, salvo generare costi ambientali e sociali sempre più insostenibili. Ispirato al modello della Silicon Valley e concepito come comunità autosufficiente, il parco è stato dotato di infrastrutture all'avanguardia, incentivi fiscali e un sistema centralizzato di trattamento delle acque reflue, nell'ottica di promuovere un'industria pulita alternativa al vecchio settore manifatturiero inquinante (Lai, Shyu 2005).

Dietro questa facciata di modernità ecologica, tuttavia, sin dagli anni Novanta emergono incidenti ricorrenti - sversamenti di solventi tossici, emissioni di metalli pesanti - rivelando i costi invisibilizzati di questo tipo di sviluppo.

Sul piano epidemiologico-ambientale, le evidenze raccolte dalla letteratura mostrano una situazione contaminazioni complesse in linea con quadro di degrado e sacrificio ambientale. Studi condotti nei primi anni 2000 hanno rilevato livelli elevati di composti organici volatili (VOC) totali nell'aria, con picchi di toluene e xilene legati ai processi di litografia, soprattutto durante eventi meteorologici estremi come i tifoni (Nian et al. 2008). Parallelamente, emissioni arsenicali provenienti dai processi di *etching* - cioè l'incisione chimica selettiva dei wafer per definire i circuiti - e di deposizione epitassiale erano più elevati rispetto gli standard nazionali di qualità

dell'aria (Chein et al. 2006). Il HSP scarica 185.000 metri cubi di acque reflue al giorno, superando il flusso naturale del fiume Keya (106.000 metri cubi al giorno) (Tu 2023). Tali sversamenti affliggono le comunità locali, con conseguenti impatti negativi sull'agricoltura e sulla salute pubblica e alterazioni degli ecosistemi fluviali e costieri a causa dei metalli pesanti (come tungsteno, arsenico, rame, nichel, indio, gallio, molibdeno), fluoruri e fosfati scaricate nei fiumi e nelle falde acquifere (Hsu et al. 2011; Chen 2017; Tu 2023). Studi sul fiume Keya, ad esempio, hanno rilevato livelli di tungsteno aggiungono circa 300 microgrammi per litro, un valore quasi quattro ordini di grandezza superiore alla concentrazione media mondiale dei fiumi, che varia tra 0,03 e 0,1 microgrammi per litro (Hsu et al. 2011).

La vicenda dell'inceneritore dell'HSP, costruito nei primi anni Duemila e poi fermato a metà decennio dopo reiterati allarmi ambientali, è divenuta un caso simbolico di fallimento istituzionale nella prevenzione e nella trasparenza (Chiu 2014). Sulla fascia costiera, infine, effetti di lungo periodo – come le cosiddette 'ostriche verdi' a Hsiangshan, dovute all'accumulo di rame – hanno segnato l'opinione pubblica e rafforzato la legittimità delle richieste di controllo democratico (Tu 2023).

La comprensione e la mitigazione di questi problemi sono ostacolate da «un regime di conoscenza bloccata» (*knowledge gridlock*) (Tu 2023), che include fattori quali regolamenti arretrati, limitazioni di risorse, segretezza industriale (come i segreti commerciali) e l'imposizione di contratti di riservatezza ai ricercatori che finanziano, la manipolazione di dati e la resistenza alle richieste di informazioni da parte di comunità e gruppi ambientalisti. Questo regime, inoltre, contribuisce direttamente ad una «scienza incompiuta» (*undone science*): una situazione in cui aree di ricerca che potrebbero avere un ampio beneficio sociale rimangono trascurate, sottofinanziate o ignorate, a favore invece di una scienza mainstream influenzata dai valori dell'innovazione industriale e della competizione, con risorse allocate principalmente alla ricerca per applicazioni commerciali (Tu 2023).

Questa mancanza di trasparenza ha reso difficile per la comunità scientifica identificare le fonti di inquinamento e per le autorità regolamentare efficacemente il settore. Nonostante gli sforzi per migliorare le tecnologie ambientali e le pratiche di gestione, molte di queste misure sono state criticate come forme di *greenwashing*, poiché non affrontano i problemi strutturali legati all'espansione incontrollata del settore e alla sua insostenibilità ambientale e sociale (Lau et al. 2020). Di fronte a queste limitazioni, il movimento ha sviluppato strategie sempre più sofisticate. Comitati locali e ONG hanno implementato forme di «scienza popolare», come il monitoraggio degli odori per tracciare le emissioni illegali, mentre alleanze trasversali univano agricoltori, accademici e residenti urbani

in campagne simboliche – dall’uso di prodotti agricoli avvelenati come prove nelle proteste alla creazione di «giardini della memoria» sui terreni espropriati (Tu 2023).

Sul piano politico-istituzionale, l’opposizione all’HSP ha seguito un percorso che va dalle iniziative locali puntuali a un movimento strutturato di giustizia ambientale. La fase iniziale (1997-99) fu segnata da eventi critici come gli incendi chimici e la contaminazione delle risaie, che spinsero associazioni come la Hsinchu Pollution Prevention Association a istituire gruppi di monitoraggio indipendente. Tuttavia, l’Environmental Monitoring Group (EMG) creato in risposta alle proteste si rivelò presto un’istituzione zoppa, priva di reali poteri e ostacolata da regolamenti concepiti per agevolare le aziende più che proteggere l’ambiente. Le proposte avanzate dai movimenti – dalla democratizzazione delle valutazioni scientifiche alla riconversione verso industrie meno impattanti – si scontrano con una geopolitica sempre più aggressiva, in cui Taiwan gioca un ruolo chiave come fornitore di chip avanzati nel confronto con la Cina. Rinunciare al primato nella microelettronica è impensabile per Taipei; tuttavia, i successi locali delle mobilitazioni mostrano che alternative parziali sono possibili. La chiusura dell’inceneritore di Hsinchu e le sentenze contro l’espansione incontrollata dei parchi scientifici sono segnali importanti (Chiu 2014).

Tuttavia, le sfide odierne rimangono rilevanti. L’industria high-tech gode ancora del sostegno bipartisan (KMT e DPP), che vede nel settore un pilastro irrinunciabile della competitività nazionale. I lavoratori del parco, pur consci dei rischi per la salute, restano difficili da organizzare a causa della precarietà e della mancanza di tradizione sindacale. Mentre il movimento cerca di democratizzare la governance scientifica e promuovere alternative sostenibili, il caso dell’HSP continua a simboleggiare il difficile equilibrio tra progresso economico e diritti ambientali – un dilemma che Taiwan non ha ancora risolto, ma che sempre più cittadini rifiutano di ignorare. Nonostante questi successi parziali, le mobilitazioni hanno evidenziato i limiti nell’ottenere informazioni trasparenti sulle sostanze chimiche utilizzate e scaricate, spesso celate da segreti commerciali. Inoltre, l’impatto sulla revisione sistemica delle politiche ambientali è rimasto limitato, lasciando irrisolti problemi strutturali di governance ambientale. Le proteste hanno tuttavia sottolineato l’importanza cruciale della partecipazione pubblica nella gestione delle risorse naturali e nella regolamentazione industriale. Il documento (Tu 2023) conclude che, sebbene la mobilitazione sociale sia fondamentale, la sua efficacia a lungo termine nel promuovere una governance ambientale più inclusiva e trasparente dipende da un’infrastruttura politica che garantisca il diritto alla trasparenza e alla partecipazione.

In definitiva, l'industria dei semiconduttori a Taiwan incarna le contraddizioni fondamentali del capitalismo digitale: da un lato, è la colonna vertebrale di un'economia globale sempre più dipendente dalle infrastrutture cyber-fisiche; dall'altro, rappresenta un caso emblematico della frattura tra logiche di valorizzazione economica e giustizia socio-ecologica. Una transizione sostenibile richiederà non solo tecnologie più verdi, ma anche nuovi contratti sociali, basati sulla trasparenza, sulla tutela dei diritti e sulla partecipazione democratica alla governance tecnologica.

7 Conclusioni

Questo libro ha analizzato in modo approfondito il concetto di nocività digitale, mostrando come essa sia parte integrante e sistemica dei processi di infrastrutturazione digitale e profondamente legata a dinamiche, tanto storiche quanto contemporanee, di sfruttamento del lavoro e della natura. Ripercorrendo alcune delle fasi chiave delle catene di produzione e del valore del digitale – estrazione delle materie prime, produzione di chip, funzionamento dei data center e, in parte, lo smaltimento rifiuti elettrici ed elettronici – il volume ha evidenziato come dietro l'immaginario di immaterialità e neutralità delle tecnologie digitali si nascondano complesse dinamiche socio-ecologiche.

Certamente le tecnologie digitali possono avere potenzialità emancipatorie e le istanze di miglioramento delle condizioni di vita umana e non-umana delle tecnologie digitali, così come il loro ruolo nel migliorare l'efficienza e il godimento di determinati servizi si pensi all'applicazione di algoritmi e sistemi di IA nelle cosiddette Smart Grid, o reti elettriche 'intelligenti', al fine di migliorare l'uso e distribuzione di energia elettrica sulla base del reale fabbisogno richiesto. Senza negare tali possibilità, questo volume ha voluto mettere in luce anche la sostanza materiale, le gerarchie che

caratterizzano la digitalizzazione e l'infrastrutturazione digitale, i corpi che consuma, gli ecosistemi che devitalizza, le forme di vita che modella e disciplina. La nocività digitale, così come è stata concettualizzata in questa sede, non coincide con un semplice effetto collaterale della modernizzazione tecnologica, ma costituisce una logica strutturale del capitalismo contemporaneo, radicata nella combinazione tra dispositivi computazionali-informazionali, estrarivismo globale e regimi di sorveglianza e lavoro. Si tratta di una nocività diffusa, sistemica, granulare, che si manifesta nel ciclo di vita intero delle tecnologie digitali: dalle miniere di litio ai cimiteri elettronici del Ghana, dai microchip e dalle piattaforme che governano la socialità a regimi lavorativi altamente degradanti.

Nell'analisi proposta lungo il volume, la nocività digitale si è rivelata come una matrice trasversale che attraversa pratiche sociali, dispositivi sociotecnici, assetti geopolitici, forme dell'economia e della soggettività. La digitalizzazione, lungi dall'essere un processo uniforme, si presenta come un campo di forze asimmetrico e variegato, dove poteri computazionali, flussi materiali e logiche algoritmiche si intrecciano per generare nuove forme di dominio, governo e nuove fratture. È all'interno di questa architettura che si disegnano nuove e vecchie mappe dello sfruttamento e di mobilitazione: dalla fabbrica Foxconn di Zhengzhou alla marcia dei lavoratori Samsung in Corea del Sud, dal burnout dei tecnici TSMC fino alle mobilitazioni di base represses nei paesi fornitori di minerali critici. La nocività digitale si struttura quindi, nel quadro dei rapporti di produzione capitalistici, come una matrice di intensificazione delle disuguaglianze, moltiplicando forme di vulnerabilità che spesso restano invisibili ai consumatori perché distribuite lungo catene globali di valore, mascherate da promesse di progresso, fluidificate dalla retorica dell'innovazione. Eppure, proprio in questi territori emergono segni di frizione, resistenze molecolari e lotte esplicite che sfidano la digitarchia imperiale.

La digitalizzazione non è un destino lineare, ma un terreno di conflitto: nei luoghi di estrazione, nelle fabbriche del clic, nei magazzini di Amazon, nei data center che elaborano dati consumando ingenti quantitativi di acqua e elettricità. La nocività digitale non è solo danno ecologico, ma una configurazione politica del mondo, che prefigura immaginari e infiocchetta, attraverso la mediazione tecnologica, i processi produttivi che rendono possibili le infrastrutture digitali alla base della società odierna. Rendersi conto di ciò significa riconoscere che l'alternativa non è tra più o meno digitale, ma tra una digitalizzazione costruita sulla marginalizzazione e sulla competizione e un'altra che ponga al centro la cura, la giustizia e la sostenibilità. Questo non implica alcun ritorno nostalgico al pre-digitale, ma l'apertura di una possibilità concreta: progettare un'infrastrutturazione cyber-fisica radicalmente diversa, fondata su

logiche cooperative, sostenibilità ecologica, pratiche di mutualismo e controllo democratico.

Lungi dall'essere un impianto neutro, il digitale è oggi uno dei vettori principali della trasformazione delle forme di vita: per questo ogni sua articolazione è anche una posta in gioco culturale, simbolica, politica, ecologica. Solo una critica radicale della sua nocività sistemica – che tenga insieme ambiente, lavoro, economia, cultura e psiche – può aprire spazi di alternativa.

Il compito che ci si pone davanti, allora, non è tanto quello di 'regolare' il digitale esistente, né di moralizzarlo dall'interno, ma di costruire collettivamente un'ecologia delle tecnologie che sia al tempo stesso materiale e affettiva, epistemica e istituzionale, sensibile ai limiti e aperta alla pluralità. Non si tratta di disconnettersi, ma di disinnescare le condizioni di nocività. Non di arrestare il digitale, ma di rifiutare il suo impianto predatorio. È in questo spazio interstiziale, in questa zona liminare tra ciò che esiste e ciò che potrebbe esistere, che può nascere una nuova grammatica del digitale: non quella dell'iperconnessione e del profitto, ma quella della solidarietà, della restituzione, della giustizia intergenerazionale. Una grammatica capace di trasformare la nocività in possibilità.

In conclusione, una prossima linea di ricerca da approfondire – sebbene al di fuori dell'Italia il dibattito è già consolidato – sarà l'impatto socio-economico, territoriale, occupazionale ed ecologica dei data center, cioè la spina dorsale della società digitale. In questo volume ci siamo limitati a un breve approfondimento, ma alla luce del 'boom' che ha conosciuto questo settore in Europa e anche in Italia sarà opportuno coglierne e analizzarne le dinamiche socio-ecologiche nelle quali si inserisce e che contribuisce a ridefinire. Senza tralasciare che, non troppo in là, ci sarà un'ulteriore ridefinizione delle ICTs dovuta al *quantum computing*.

Bibliografia

- Alimahomed-Wilson, J.; Reese, E. (eds) (2020). *The Cost of Free Shipping: Amazon in the Global Economy*. London: Pluto Press.
- Andrae, A.S.G. (2020). «New Perspectives on Internet Electricity Use In 2030». *Engineering and Applied Science Letters*, 3(2), 19-21. <https://www.doi.org/10.30538/psrp-easL2020.0038>.
- Andrijasevic, R.; Sacchetto, D. (2017). «'Disappearing Workers': Foxconn in Europe and the Changing Role of Temporary Work Agencies». *Work, Employment and Society*, 31(1), 54-70. <https://doi.org/10.1177/0950017015622918>.
- Andrijasevic, R.; Sacchetto, D.; Pun, N. (2022). «Transnational Corporations and the Making of Global Labour Markets: The Case of Foxconn in China and Europe». Boris, E.; Gottfried, H.; Greene, J.; Tham, J.-C. (eds), *Global Labor Migration: New Directions*. Champaign, IL: University of Illinois Press, 207-22. <https://doi.org/10.5622/illinois/9780252044700.003.0012>.
- Aneesh, A. (2009). «Global Labor: Algoratic Modes of Organization». *Sociological Theory*, 27(4), 347-70. <http://www.jstor.org/stable/40376117>.
- Antoccia, A. et al. (2024). «Chi è Amazon? Note da un'inchiesta collettiva». Into the Black Box (a cura di), *Futuro presente. I piani di Amazon*. Bologna: Red Star Press.
- Antunes, R. (2018). *O privilégio da servidão*. São Paulo: Boitempo.
- Antunes, R. (2023) (org). *Icebergs à Deriva. O Trabalho nas Plataformas Digitais*. São Paulo: Boitempo.
- Arboleda, M. (2020). *Planetary Mine: Territories of Extraction Under Late Capitalism*. London: Verso Books.
-

- Arrighetti, G.; Benegiamo, M.; Leonardi, E. (2024). «Ecologia politica dell'Amazon Capitalism. Tra capitalismo verde e giustizia ambientale». Into the Black Box (a cura di), *Futuro presente. I piani di Amazon*. Bologna: Red Star Press.
- ASML (2025). «Semiconductor Market Revenue Worldwide from 2020 to 2030, by End Market». *Statista*, 4 March 2025.
- Balbi, G. (2022) *The Digital Revolution: A Short History of an Ideology*. Oxford: Oxford University Press.
- Baldwin, R. (2016). *The Great Convergence: Information Technology and the New Globalization*. Harvard: Harvard University Press.
- Bales, K. (2016). *Blood and Earth: Modern Slavery, Ecocide, and the Secret to Saving the World*. New York: Random House.
- Barca, S.; Leonardi, E. (2018). «Working-Class Ecology and Union Politics: A Conceptual Topology». *Globalizations*, 154, 487-503. <https://doi.org/10.1080/14747731.2018.1454672>.
- Barlow, J.P. (1996). *A Declaration of the Independence of Cyberspace*. Electronic Frontier Foundation. <https://www.eff.org/cyberspace-independence>.
- Beall, C.; Delzell, E.; Cole, P.; Brill, I. (1996) «Brain Tumors Among Electronics Industry Workers». *Epidemiology*, 7, 125-30. <https://www.jstor.org/stable/3703024>.
- Bebbington, A.; Bury, J. (eds) (2013). *Subterranean Struggles: New Dynamics of Mining, Oil, and Gas in Latin America*. Austin, TX: University of Texas Press.
- Benegiamo, M. (2025). *Land, Capital and Extractive Frontiers: Social Conflict and Ecological Crisis in the Senegal River Delta*. Bristol: Bristol University Press.
- Bettiol, M. (a cura di) (2023). *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press.
- Bettiol, M.; Fano, S.; Toschi, G. (2023). «I Data Center alla prova dell'economia circolare». Bettiol, M. (a cura di), *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press, 11-40.
- Bezemer, J.J.; Akkermans, H. (2003). «Not With a Bang, But with a Whimper: Understanding Delays in Semiconductor Supply Chain Dynamics». *International System Dynamics Conference* (New York, May 2003).
- Blair, J.J.A. et al. (2024). «Lithium and Water: Hydrosocial Impacts Across the Life Cycle of Energy Storage». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 11(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1748>.
- Blevins, E.G.; Grossman, A.B.; Sutter, K.M. (2023). *Semiconductors and the Semiconductors Industry*. CRS Report R47508. <https://www.congress.gov/crs-product/R47508>.
- Blotta, D. (2025). «Cloud Atlas. The Politics of Cloud Infrastructures in Johor, Malaysia». ICS Seminar Series, Institute for Culture and Society, Western Sidney University. https://www.westernsydney.edu.au/ics/events/ics_seminar_series?fbclid=IwY2xjawJY9JxleHRuA2FlbQIxMAABHF-I-0o3DU0W1K0ZiIIMVkkKoXBU8zQ58mcCuZPY0zHU03F69LFwEmYb6g_aem_2rYRjtGNyRTRVQ3lv10xUg.
- Bonnet, P. et al. (2025). *EU's Strengths And Weaknesses In The Global Semiconductor Value Chain*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC Publications.
- Borghi, V. (2021). «Capitalismo delle infrastrutture e connettività. Proposte per una sociologia critica del mondo a domicilio». *Rassegna Italiana di Sociologia*, LXII(3), 671-99. <https://www.rivisteweb.it/doi/10.1423/101989>.
- Borgo, I.; De Pietro, L. (2023). «Introduzione». Bettiol, M. (a cura di), *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press, 7-10.

- Boyd, D.; Orellana, M. (2022). *The Right to a Clean, Healthy and Sustainable Environment: Non-Toxic Environment. Report of the Special Rapporteur on the Issue of Human Rights Obligations Relating to the Enjoyment of a Safe, Clean, Healthy and Sustainable Environment A/HRC/49/53*. Geneva: United Nations.
- Brand, U.; Wissen, M. (2021). *The Imperial Mode of Living: Everyday Life and The Ecological Crisis of Capitalism*. London: Verso Books.
- Brenner, N. (2014). *Implosions/Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanization*. Berlin: Jovis Verlag.
- Bresnihan, P.; Brodie, P. (2023). «Data Sinks, Carbon Services: Waste, Storage and Energy Cultures on Ireland's Peat Bogs». *New Media & Society*, 25(2), 361-83. <https://doi.org/10.1177/14614448221149948>.
- Brevini, B. (2021) *Is AI Good for the Planet?*. Cambridge: Polity Press.
- Bridge, G. (2009). «Material Worlds: Natural Resources, Resource Geography and the Material Economy». *Geography Compass*, 3(3), 1217-44. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00233.x>.
- Brodie, P. (2025). «Smarter, Greener Extractivism: Digital Infrastructures and the Harnessing of New Resources». *Information, Communication & Society*, 28(6), 1061-80. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2024.2341013>.
- Brown, C.; Linden, G. (2009). *Chips and Change. How Crisis Reshapes the Semiconductor Industry*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Brulle, R.J.; Pellow, D.N. (2022). «Giustizia ambientale: salute umana e disuguaglianze ambientali», in Perocco, F.; Rosignoli, F. (a cura di), «Razzismo, ambiente, salute. Razzismo ambientale e disuguaglianze di salute», num. monogr., *Socioscapes. International Journal of Societies, Politics and Cultures*, 3(1), 37-70.
- Bullard, R. (1990) *Dumping in Dixie: Race, Class and Environmental Quality*. Boulder: Westview Press.
- Bullard, R.D. (1993). «The Threat of Environmental Racism». *Natural Resources & Environment*, 7(3), 23-56. <http://www.jstor.org/stable/40923229>.
- Callaway, A. (2017). *Demand the Supply. Ranking Consumer Electronics and Jewelry Retail Companies on Their Efforts to Develop Conflict-Free Minerals Supply Chains from Congo*. Washington, D.C.: Enough Project. <https://enoughproject.org/demandthesupply>.
- Calvão, F.; Archer, M. (2021). «Digital Extraction: Blockchain Traceability in Mineral Supply Chains». *Political Geography*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>.
- Calvão, F.; McDonald, C.E.A.; Bolay, M. (2021). «Cobalt Mining and the Corporate Outsourcing of Responsibility in the Democratic Republic of Congo». *The Extractive Industries and Society*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>.
- Carr, C. et al.(2022). «Mapping the Clouds: The Matter of Data Centers». *Journal of Maps*, 18(1), 106-13. <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2088304>.
- Casilli, A.A. (2025). *Waiting for Robots: The Hired Hands of Automation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Casilli, A.A. et al.(2025). «Global Inequalities in the Production of Artificial Intelligence: A Four-Country Study on Data Work». Qiu, L.J.; Yeo, S.; Maxwell, R. (eds), *The Handbook of Digital Labor*. Hoboken, NJ: Wiley, 217-32.
- Castells, M. (1996). *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Cerana, L. (2023). «Life Cycle Assessment di un data center: Il caso VSIX dell'Università di Padova». Bettiol, M. (a cura di), *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press, 63-114.

- Chan, J. (2013). «A Suicide Survivor: The Life of a Chinese Worker». *New Technology, Work and Employment*, 28(2), 84-99. <https://doi.org/10.1111/ntwe.12007>.
- Chan, J. et al. (2022). «After the Foxconn Suicides in China: A Roundtable on Labor, the State and Civil Society in Global Electronics». *Critical Sociology*, 48(2), 211-33. <https://doi.org/10.1177/08969205211013442>.
- Chaves, C. et al. (2021). «Concerns About Lithium Extraction: A Review and Application for Portugal». *The Extractive Industries and Society*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100928>.
- Chen, K.-H. (2017). *Asia as Method: Toward Deimperialization*. Durham: Duke University Press.
- Chen, T.; Schiller, D. (2022). «The Migrant Labour Regime and Labour Market Intermediaries in the Taiwanese Semiconductor Industry». *Work in the global economy*, 2(2), 248-71. <https://doi.org/10.1332/273241721X16672070965813>.
- Chen, X. (2018). *Shenzhen: From Factory of the World to Innovation Hub*. London; New York: Routledge.
- Chen, C.; Salike, N.; Thorbecke, W. (2025). *Exchange Rates and Tariffs: Unravelling their Impacts on China's ICT Exports While Accounting for Product Sophistication* (RIETI Discussion Paper 25-E-054). Research Institute of Economy, Trade and Industry. <https://www.rieti.go.jp/en/publications/summary/25060003.html>.
- Chein, H. et al. (2006). «Evaluation of Arsenical Emission from Semiconductor and Opto-Electronics Facilities in Hsinchu, Taiwan». *Atmospheric Environment*, 40(10), 1901-7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.09.050>.
- China Labor Watch. (2018). *Amazon Profits from Secretly Oppressing its Supplier's Workers*. <https://chinalaborwatch.org/wp-content/uploads/2021/04/20180610.pdf>.
- Chiu, H.M. (2011). «The Dark Side of Silicon Island: High-Tech Pollution and the Environmental Movement in Taiwan». *Capitalism Nature Socialism*, 22(1), 40-57. <http://dx.doi.org/10.1080/10455752.2010.546647>.
- Chiu, H.M. (2014). «The Movement Against Science Park Expansion and Electronics Hazards in Taiwan. A Review from an Environmental Justice Perspective». *China Perspectives*, 2014(2014/3), 15-22. <https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.6521>.
- Choi, K.H. et al. (2019). «Semiconductor Work and Adverse Pregnancy Outcomes Associated with Male Workers: A Retrospective Cohort Study». *Ann Work Expo Health*, 63(8), 870-80. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz061>.
- Cillo, R.; Perocco, F. (eds) (2022). *Posted Workers*. Venice: Edizioni Ca' Foscari. <http://doi.org/10.30687/978-88-6969-515-5>.
- Clapp, J. (2001). *Toxic Exports: The Transfer of Hazardous Wastes from Rich to Poor Countries*. Ithaca: Cornell University Press.
- Condemi, J.; Diddi, T.; Franchina, L. (2025). *Chips Act: cosa è e cosa prevede*. Agenda Digitale. <https://www.agendadigitale.eu/infrastrutture/chips-act-cosa-e-e-cosa-prevede/>.
- Cowan, R.S. (1976). «The 'Industrial Revolution' in the Home: Household Technology and Social Change in the 20th Century». *Technology and Culture*, 17(1), 1-23. <https://doi.org/10.2307/3103251>.
- Couldry, N.; McCarthy, A. (2004). *MediaSpace: Place, Scale and Culture in a Media Age*. London; New York: Routledge.
- Couldry, N.; Mejias, U.A. (2019). *The Costs Of Connection: How Data Are Colonizing Human Life and Appropriating it for Capitalism*. Oxford: Oxford University Press..

- de Chardin, P.T.; Molari, C.; Bernardi, A.T. ([1959] 2011). *L'avvenire dell'uomo*. Milano: Jaca Book.
- Crawford, K. (2021) *Né artificiale né intelligente. Il lato oscuro dell'IA*. Bologna: Il Mulino.
- Crutzen, P.J.; Stoermer, E.F. (2021). «The 'Anthropocene' (2000)». Benner, S. et al. (eds), *Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A New Epoch in Earth's History*. Berlin: Springer, 19-21. The Anthropocene: Politik-Economics-Society-Science 1. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6_2.
- Cubitt, S. (2017). *Finite Media: Environmental Implications of Digital Technologies*. Durham: Duke University Press.
- Cuvelier, J. et al. (2014). *Analyzing the Impact of the Dodd-Frank Act on Congolese Livelihoods*. SSRN. <https://research.wur.nl/en/publications/analyzing-the-impact-of-the-dodd-frank-act-on-congolese-livelihood>.
- DataReportal. (2025). *Digital 2025: Italy*. <https://datareportal.com/reports/digital-2025-italy>.
- Delfanti, A. (2021). *The Warehouse. Workers and Robots at Amazon*. London: Pluto Books.
- Deloitte. (2025). *2025 Global Semiconductor Industry Outlook*. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-telecom-outlooks/semiconductor-industry-outlook.html>.
- Di Maria, E.; De Marchi, V. (2023). «Il ruolo delle catene globali del valore per la sostenibilità dei data center: sfide e traiettorie di sviluppo». Bettiol, M. (a cura di), *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press, 41-62.
- Dicken, P. (2011). *Global Shift: Mapping the Changing Contours of the World Economy*. Sage Publications.
- Dulong de Rosnay, M.; Stalder, F. (2020). «Digital Commons». *Internet Policy Review*, 9(4). <https://doi.org/10.14763/2020.4.1530>.
- Durán Matute, I.; Camarena González, R. (2021). «The Machinery Of Techno-Colonialism Crafting 'Democracy.' A Glimpse into Digital Sub-Netizenship in Mexico». *Democratization*, 28(8), 1545-63. <https://doi.org/10.1080/13510347.2021.1947248>.
- Dyer-Witheford, N. (1999). *Cyber-Proletariat: Global Labour in the Digital Vortex*. London: Pluto Press.
- Easterling, K. (2016). *Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space*. London: Verso.
- European Commission (2022). *European Chips Act*. <https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733596/EPRS-Briefing-733596-EU-chips-act-V2-FINAL.pdf>.
- European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (2023). *Study on the critical raw materials for the EU: Final report* (ET-07-23-116-EN-N). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2873/093415>.
- European Commission, Directorate-General for Energy (2025). *Assessment of the Energy Performance and Sustainability of Data Centres in EU: First Technical Report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2833/3168794>.
- Eurostat (2024a). *Digital Economy And Society Statistics – Households And Individuals (Data Extracted in December 2024): Households with Internet Access 2024*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Digital_economy_and_society_statistics_-_households_and_individuals.
- Eurostat (2024b). *People Online in 2024*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241217-1>.

- Eurostat (2025). *ICT Sector – Value Added, Employment and R&D*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_sector_-_value_added,_employment_and_R%26D.
- Eurostat (2025). *Greenhouse Gas Emissions by Source Sector (ENV_AIR_GGE)* [Dataset]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE__custom_1256039/.
- Farole, T.; Akinci, G. (2011). *Special Economic Zones: Progress, Emerging Challenges, and Future Directions*. Washington, D.C.: World Bank Publications.
- Feltrin, L.; Sacchetto, D. (2021). «The Work-technology Nexus and Working-class Environmentalism: Workerism Versus Capitalist Noxiousness in Italy's Long 1968». *Theory and society*, 50(5), 815-835. <https://doi.org/10.1007/s11186-021-09441-5>
- Feltrin, L.; Mah, A.; Brown, D. (2022). «Noxious Deindustrialization: Experiences of Precarity and Pollution in Scotland's Petrochemical Capital». *Environment and Planning C: Politics and Space*, 40(4), 950-969. <https://doi.org/10.1177/23996544211056328>
- Feltrin, L.; Julio Medel, G. (2023). «Noxious Deindustrialisation and Extractivism: Quintero-puchuncaví in the International Division of Labour and Noxiousness». *New Political Economy*, 29(2), 173-191. <https://doi.org/10.1080/13563467.2023.2236944>
- Fisher, E.; Fuchs, C. (eds) (2015). *Reconsidering Value and Labour in the Digital Age*. London: Palgrave Macmillan.
- Fitri, A. (2022). «The European Chips Act Will not Restore the Continent's Semiconductor Industry to Its Former Glory». <https://techmonitor.ai/technology/silicon/the-european-chips-act-will-not-restore-the-continent-semiconductor-industry-to-its-former-glory>.
- Foster, J.B. (1999). «Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology». *American Journal of Sociology*, 105(2), 366-405. <https://doi.org/10.1086/210315>.
- Foster, J.B. (2022). *Capitalism in the Anthropocene: Ecological Ruin or Ecological Revolution*. New York: NYU Press.
- Frapporti, M. (2024). *Governo materiale: il potere politico delle infrastrutture*. Milano: Meltemi Editore.
- Fraser, N.; Jaeggi, R. (2019). *Capitalismo: una conversazione con Rahel Jaeggi*. Milano: Mimesis.
- Free Software Foundation (2002). *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman*. GNU Press. <https://www.gnu.org/philosophy/fsfs/rms-essays.pdf>.
- Freitag, C. et al. (2021). «The Real Climate and Transformative Impact of ICT: a Critique of Estimates, Trends, and Regulations». *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>.
- Fuchs, C. (2014). *Digital Labour and Karl Marx*. New York: Routledge.
- Fuchs, C. (2018). «Industry 4.0: The Digital German Ideology». *tripleC: Communication, Capitalism & Critique*, 16(1), 280-9. <https://doi.org/10.31269/triplec.v16i1.1010>.
- Fuchs, C. (2021). «The Digital Commons and the Digital Public Sphere: How to Advance Digital Democracy Today». *Westminster Papers in Communication and Culture*, 16(1). <https://doi.org/10.16997/wpcc.917>.
- Gabrys, J. (2011). *Digital Rubbish: a Natural History of Electronics*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Gambino, F. (2016). «The Early Outsourcing of the Electronics Industry and Its Feeders». Drahokoupil, J.; Andrijasevic, R.; Sacchetto, D. (eds), *Flexible Workforces*

- and Low Profit Margins: Electronics Assembly Between Europe and China. Brussels: European Trade Union Institute, 223-36.
- Gelenbe, E. (2023). «Electricity Consumption by ICT: Facts, Trends, and Measurements». *Ubiquity*, 2023. <https://doi.org/10.1145/3613207>.
- Gereffi, G.; Fernandez-Stark, K. (2016). *Global Value Chain Analysis: A Primer*. Durham: Duke.
- Gerlitz, C.; Helmond, A. (2013). «The Like Economy: Social Buttons and the Data-Intensive Web». *New Media & Society*, 15(8), 1348-65. <https://doi.org/10.1177/1461444812472322>.
- Gibbon, P.; Bair, J.; Ponte, S. (2008). «Governing Global Value Chains: an Introduction». *Economy and Society*, 37(3), 315-38. <https://doi.org/10.1080/03085140802172656>.
- Gillespie, T.; Boczkowski, P.J.; Foot, K.A. (2014). «Introduction». Gillespie, T.; Boczkowski, P.J.; Foot, K.A. (eds), *Media Technologies: Essays on Communication, Materiality, and Society*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1-17.
- Greene, D.M.; Joseph, D. (2015). «The Digital Spatial Fix». *tripleC: Communication, Capitalism & Critique*, 13(2), 223-47. <https://doi.org/10.31269/triplec.v13i2.659>.
- Greenfield, A. (2017). *Tecnologie radicali. Il progetto della vita quotidiana*. Torino: Einaudi.
- Halkes, R.T. et al. (2024). «Life Cycle Assessment and Water Use Impacts of Lithium Production from Salar Deposits: Challenges and Opportunities». *Resources, Conservation and Recycling*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107554>.
- Hindley, J.; Ho, M.-S.; Chiu, H.-M. (2011). «Introduction: Neoliberalism, Social Movements, and the Environment in Taiwan». *Capitalism Nature Socialism*, 22(1), 18-21. <https://doi.org/10.1080/10455752.2010.547668>.
- Ho, M. (2010). «Understanding the Trajectory of Social Movements in Taiwan (1980-2010)». *Journal of Current Chinese Affairs*, 39(3), 3-22. <https://doi.org/10.1177/186810261003900301>.
- Hogan, M. (2021). «The Data Center Industrial Complex». Jue, M.; Ruiz, R. (eds), *Saturation: An Elemental Politics*. Duke University Press, 283-305. <https://doi.org/10.1215/9781478013044-017>.
- Hsu, S.-C. et al. (2011). «Tungsten and Other Heavy Metal Contamination in Aquatic Environments Receiving Wastewater from Semiconductor Manufacturing». *Journal of Hazardous Materials* 189, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.020>.
- Hughes, T.P. (2000). *Rescuing Prometheus*. New York: Vintage Books.
- Hughes, T. (2024). «The Political Theory of Techno-Colonialism». *European Journal of Political Theory*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/14748851241249819>.
- Hutchinson, F.E.; van Grunsven, L. (2018). «Industry Dynamics in Growth Triangles: the E&E industry in SIJORI 25 years on». *Asian-Pacific Economic Literature*, 32(2), 42-63. <https://doi.org/10.1111/apel.12235>.
- Hyde, A.; Vachon, T.E. (2019). «Running with or Against the Treadmill? Labor Unions, Institutional Contexts, and Greenhouse Gas Emissions in a Comparative Perspective». *Environmental Sociology*, 5(3), 269-82. <https://doi.org/10.1080/23251042.2018.1544107>.
- ILO, VCCI (2022). *Viet Nam's Electronics Supply Chain: Decent Work Challenges and Opportunities*. Geneva; Hanoi: ILO Publications. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/publication/wcms_865520.pdf.

- IEA – International Energy Agency. (2023). *Data Centres and Data Transmission Networks*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>.
- IEA – International Energy Agency. (2025). *Energy and AI. World Energy Outlook Special Report*. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/>.
- ILO – International Labour Organisation. (2017a). *Global Estimates Of Child Labour: Results and Trends, 2012-2016*. Geneva: ILO Publications. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_575499.pdf.
- ILO – International Labour Organisation (2017b). *Global Estimates of Modern Slavery: Forced Labour and Forced Marriage*. Geneva: ILO Publications. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_575479.pdf.
- ILO – International Labour Organisation. (2024). *The Future of Work in the Electronics Industry. Advancing Decent Work in More Inclusive, Sustainable and Resilient Electronics Supply Chains*. Geneva: ILO. https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-11/The%20future%20of%20work%20in%20the%20electronics%20industry_WEB_Rev.pdf.
- Ital Communications; Censis. (2023). *Disinformazione e fake news in Italia: Il sistema dell'informazione alla prova dell'intelligenza artificiale*. Roma. <https://www.censis.it/comunicazione/disinformazione-e-fake-news-italia>.
- ITU; UNITAR et al. (2024). «International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR)». *Global E-Waste Monitor 2024*. Geneva/Bonn: ITU, UNITAR.
- Imperatore, P.; Leonardi, E. (2023). *L'era della giustizia climatica. Prospettive politiche per una transizione ecologica dal basso*. Salerno: Orthotes.
- Infosys Knowledge Institute (2025). *Semiconductor Industry Outlook 2025*. <https://www.infosys.com/iki/research/semiconductor-industry-outlook2025.html#:~:text=The%20semiconductor%20industry%20is%20set%20for%20solid%20growth,challenges%20in%20individual%20market%20segments%20and%20supply%20chains>.
- International Tin Association (2025). *Alphamin production up 38% in 2024*. <https://www.internationaltin.org/alphamin-production-up-38-in-2024>.
- Into the Black Box (a cura di) (2024). *Futuro presente. I piani di Amazon*. Bologna: Red Star Press.
- Inverardi-Ferri, C. (2022). «Overtime: The Cultural Political Economy of Illicit Labor in the Electronics Industry». *Economic Geography*, 99(2), 140-60. <https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2142111>.
- Irwin, A.D. (1996). «Trade Policies and the Semiconductor Industry». Krueger, A.O. (ed.), *The Political Economy of American Trade Policy*. Chicago: University of Chicago Press. <https://www.nber.org/system/files/chapters/c8703/c8703.pdf>.
- ITU (2024). *Measuring Digital Development: Facts and Figures 2024*. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2024-4-pdf-e.pdf.
- ITU, WBA (2025). *Greening Digital Companies 2025*. Geneva; Amsterdam: ITU; WBA.
- Jobin, P. (2021). «Environmental Movements in Taiwan's Anthropocene: A Civic Eco-Nationalism». Jobin, P.; Ho, M.-S.; Hsiao, H.-H.M. (eds), *Environmental Movements and Politics of the Asian Anthropocene*. Singapore: IEAS Publishing, 2021, 37-80. <https://doi.org/10.1355/9789814951401-006>.
- Johnston, A.; Huggins, R. (2023). «Europe's semiconductor industry at a crossroads: Industrial policy and regional clusters». *European Urban and Regional Studies*, 30(3), 207-13. <https://doi.org/10.1177/09697764231165199>.

- Jesus, S.; Ventura, M.; Assunção, R.; Gueifão, S.; Delgado, I.; Rego, A.; Ribeiro, M.; Martins, M.; Neves, O.; Coelho, I. (2024). «Study Around the Barroso Mine (Portugal): Baseline Levels of Lithium for Assessing Future Exposure and Risks from Li Mining Activity». *Food and Chemical Toxicology*, 190, 114825. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114825>.
- Kaunda, R.B. (2020). «Potential Environmental Impacts of Lithium Mining». *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 38(3), 237-44. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1754596>.
- Greenpeace (2025). *Chipping Point: AI Chips and East Asia's Electricity and Emissions*. Bangkok: Greenpeace East Asia. https://www.greenpeace.org/static/planet4-eastasia-stateless/2025/04/5011514f-greenpeace_chipping_point.pdf.
- Khan, S.M.; Mann, A. (2020). *Issue Brief: Emerging Technology*. Center for Security and Emerging Technology (CSET). <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Maintaining-the-AI-Chip-Competitive-Advantage-of-the-United-States-and-its-Allies-20191206.pdf>.
- Kim, H.; Kwon, H.J.; Rhie, J. et al. (2017). «The Relationship Between Spontaneous Abortion and Female Workers in the Semiconductor Industry». *Ann of Occup and Environ Med*, 29(49). <https://doi.org/10.1186/s40557-017-0204-x>.
- Knapp, F.L. (2016). The Birth of the Flexible Mine: Changing Geographies of Mining and the E-waste Commodity Frontier. *Environment and Planning A*, 48(10), 1889-909. <https://doi.org/10.1177/0308518X16652398>.
- Know the chain (2022). *2022 Information and Communication Technology. Benchmark findings report*. https://media.business-humanrights.org/media/documents/KTC_2022_ICT_Benchmark_Report.pdf.
- Kroeze, J.H. (2024). «Digital Coloniality. An Ubuntu perspective». *Scandinavian Journal of Information Systems*, 36(2), 6. <https://aisel.aisnet.org/sjis/vol36/iss2/6>.
- Juskus, R. (2023). «Sacrifice Zones: A Genealogy and Analysis of an Environmental Justice Concept». *Environmental Humanities*, 15(1), 3-24. <https://doi.org/10.1215/22011919-10216129>.
- Kwet, M. (2019). «Digital Colonialism: US Empire and the New Imperialism in the Global South». *Race&Class*, 60(4), 3-26. <https://doi.org/10.1177/0306396818823172>.
- Labban, M. (2014). «Deterritorializing Extraction: Bioaccumulation and the Planetary Mine». *Annals of the Association of American Geographers*, 104(3), 560-76. <https://doi.org/10.1080/00045608.2014.892360>.
- LaDou, J. (2006). «Occupational Health in the Semiconductor Industry». Smith, T.; Sonnenfeld, D.A.; Pellow, D.N. (eds), *Challenging the Chip: Labor Rights and Environmental Justice in the Global Electronics Industry*. Philadelphia, PA: Temple University Press, 31-42.
- Lai, H.C.; Shyu, J.Z. (2005). «A Comparison of Innovation Capacity at Science Parks Across the Taiwan Strait: The Case of Zhangjiang High-Tech Park and Hsinchu Science-Based Industrial Park». *Technovation*, 25(7), 805-13. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.11.004>.
- Lange, S.; Santarius, T. (2020). *Smart Green World? Making Digitalization Work for Sustainability*. London; New York: Routledge.
- Leonardi, E. (2017). *Lavoro natura valore: André Gorz tra marxismo e decrescita*. Salerno: Orthotes.

- Leonardi, E. (2023). «Esperienza operaia dell'ecologia e ambientalismo del lavoro all'Italsider/Ilva di Taranto: dagli anni Cinquanta al 2018». *Sociologia del Lavoro*, 165(1), 155-77. <https://doi.org/10.3280/sl2023-165008>.
- Leonardi, E. (2023). «La giusta transizione tra questione sociale e questione ambientale: il potenziale ecologico delle mobilitazioni operaie». *Giornale di diritto del lavoro e di relazioni industriali*, 177/178, 1/2, 99-124. <https://doi.org/10.3280/GDL2023-177007>.
- Lessenich, S. (2019). *Living Well at Others' Expense: The Hidden Costs of Western Prosperity*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Lessenich, S. (2023). «Doubling Down on Double Standards: The Politics of Solidarity in the Externalization Society». *Journal of Political Sociology*, 1(1). <https://doi.org/10.54195/jps.14915>.
- Li, P.; Yang, J.; Islam, M.A.; Ren, S. (2023). «Making AI less 'Thirsty': Uncovering and addressing the secret water footprint of AI models». *arXiv*, 2304.03271. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03271>.
- Liu, H.W. et al. (2012). «VOC Amounts in Ambient Areas of a High-Technology Science Park in Taiwan: Their Reciprocal Correlations and Impact on Inhabitants». *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 303-12. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0558-5>.
- Lüthje, B. (2002). «Electronics Contract Manufacturing: Global Production and the International Division of Labor in the Age of the Internet». *Industry and Innovation*, 9(3), 227-47. <https://doi.org/10.1080/1366271022000034471>.
- Lüthje, B.; Butollo, F. (2016). «Why the Foxconn Model Does Not Die: Production Networks and Labour Relations in the IT Industry in South China». *Globalizations*, 14(2), 216-31. <https://doi.org/10.1080/14747731.2016.1203132>.
- Ma, Z. et al. (2022). «EUV Lithography Vacuum System Energy and Footprint Reduction». *2022 International Workshop on Advanced Patterning Solutions (IWAPS)*, 1-10. <https://doi.org/10.1109/IWAPS57146.2022.9972330>.
- Madianou, M. (2019). «Technocolonialism: Digital Innovation and Data Practices in the Humanitarian Response to Refugee Crises». *Social Media + Society*, 5(3). <https://doi.org/10.1177/2056305119863146>.
- Malm, A. (2016). *Fossil Capitalism*. London: Verso.
- Malmodin, J. et al. (2024). «ICT Sector Electricity Consumption and Greenhouse Gas Emissions-2020 Outcome». *Telecommunications Policy*, 48(3). <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102701>.
- Mann, M. (1984). «The Autonomous Power of the State: Its Origins, Mechanisms and Results». *European Journal of Sociology*, 25(2), 185-213. <https://doi.org/10.1017/S0003975600004239>.
- Marchi, D. (2024). «Stratificazione, nocività e lavoro immigrato. Il caso del distretto conciaro della Valle del Chiampo». *Economia e Società Regionale*, XLII(1), 61-73. <https://doi.org/10.3280/ES2024-001005>.
- Marin, D.; Dunlap, A.; Roels, R. (2023). *Sacrifice Zones for Sustainability? Green Extractivism and the Struggle for a Just Transition*. European Environmental Bureau (EEB). <https://eeb.org/wp-content/uploads/2023/11/Sacrifice-Zones-final-layout.pdf>.
- Marrone, M. (2021). *Rights Against the Machine!* Milano: Mimesis.
- Marrone, M.; Pirina, G.; Peterlongo, G. (2021). «La classe operaia va nel cyberspazio: il capitalismo di piattaforma oltre i miti della digitalizzazione». *Economia e società regionale*, 1, 127-51. <https://dx.doi.org/10.3280/ES2021-001011>.

- Martineau, P. (2003). *La route commerciale du coltan congolais: une enquête. Note de recherche*. Montréal: GRAMA. https://www.ieim.uqam.ca/IMG/pdf/Martineau_coltan.pdf.
- Matthysen, K.; Spittaels, S.; Schouten, P. (2019). *Mapping Artisanal Mining Areas and Mineral Supply Chains in Eastern DR Congo Impact of Armed Interference & Responsible Sourcing*. Antwerp: IPIS, DIIS. <https://ipisresearch.be/wp-content/uploads/2020/10/1904-IOM-mapping-eastern-DRC.pdf>.
- Mii, Y.-J. (2024). «Semiconductor Industry Outlook and New Technology Frontiers». *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)*. <https://doi.org/10.1109/IEDM50854.2024.10873484>.
- Milberg, W.; Winkler, D. (2013). *Outsourcing Economics: Global Value Chains in Capitalist Development*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Miller, C. (2022). *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology*. New York: Simon & Schuster.
- Monseratte, S.G. (2022). «The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage». *MIT Case Studies in Social and Ethical Responsibilities of Computing*. <https://doi.org/10.21428/2c646de5.031d4553>.
- Moore, J.W. (2015). *Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital*. London: Verso Books.
- Morozov, E. (2011). *The Net Delusion: How Not to Liberate the World*. New York: Public Affairs.
- Mosco, V. (2004). *The Digital Sublime: Myth, Power, and Cyberspace*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mosco, V. (2014). *To the Cloud: Big Data in a Turbulent World*. Boulder: Paradigm Publishers.
- Murdock, G.; Brevini, B. (2019). «Communications and the Capitalocene: Disputed Ecologies, Contested Economies, Competing Futures». *The Political Economy of Communication*, 7(1). <http://www.polecom.org/index.php/polecom/article/view/104>.
- Mutemeri, N. (2024). *Mineral Resource Governance in Africa. A Comparative Study*. International IDEA. <https://doi.org/10.31752/idea.2024.116>.
- Nassar, N.T. et al. (2023). «Rock-to-Metal Ratios of the Rare Earth Elements». *Journal of Cleaner Production*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136958>.
- Nian, H.C. et al. (2008). «Impact of Inclement Weather on the Characteristics of Volatile Organic Compounds in Ambient Air at the Hsinchu Science Park in Taiwan». *Science of the Total Environment*, 399(1-3), 41-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.01.060>.
- Nixon, R. (2011). *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- OECD (2024). *Chips, Nodes And Wafers: a Taxonomy For Semiconductor Plants*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f68de895-en>.
- OECD (2025). *Mapping The Semiconductor Value Chain*. Paris: OECD Publishing. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 182. <https://doi.org/10.1787/4154cdbf-en>.
- Padovan, D. (2018). «Energy, Work and Value. The Crisis of Capitalism/Nature Nexus». *Culture della sostenibilità*, 21(1), 5-33. DOI 10.7402/Cds.21.001.
- Pansera, M. et al. (2024). «Toward a Just Circular Economy: Conceptualizing Environmental Labor and Gender Justice in Circularity Studies». *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15487733.2024.2338592>.

- Parikka, J. (2015). *A Geology of Media*. Minneapolis; London: University of Minnesota Press.
- Pasek, A. (2023). «From Atoms to Electrons: An Energy History and Future of Computing». Pasek, A. et al. (eds), *Digital Energetics*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 15-42.
- Pasek, A. et al.. (2023) *Digital Energetics*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Pasquale, F. (2015). *The Black Box Society: The Secret Algorithms that Control Money and Information*. Harvard: Harvard University Press.
- Pasquinelli, M. (2017). «The Automaton of the Anthropocene: on Carbonsilicon Machines and Cyberfossil Capital». *South Atlantic Quarterly*, 116(2), 311-26. <https://doi.org/10.1215/00382876-3829423>.
- Pasquinelli, M. (2023). «Labour, Energy, and Information as Historical Configurations: Notes for a Political Metrology of the Anthropocene». *Journal of Interdisciplinary History of Ideas*, 11(22), 13:1-13:31. <https://doi.org/10.13135/2280-8574/7340>.
- Pasquinelli, M. (2023). *The Eye of the Master: A Social History of Artificial Intelligence*. London: Verso Books.
- Pawlicki, P. (2016). «The Constant Restructuring of Global Production Networks in the Electronics Industry». Drahokoupil, J.; Andrijasevic, R.; Sacchetto, D. (eds), *Flexible Workforces and Low Profit Margins: Electronics Assembly between Europe and China*. Brussels: ETUI, 21-43.
- Pellow, D.; Park, L.S.H. (2002). *The Silicon Valley of Dreams: Environmental Injustice, Immigrant Workers, and the High-Tech Global Economy*. New York: NYU Press.
- Peñaherrera, V.F.; Pehlken, A. (2023). «Come valutare il riciclo dei componenti di un data center attraverso gli indicatori di impatto LCA». Bettiol, M. (a cura di), *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*. Padova: Padova University Press, 115-34.
- Perocco, F.; Rosignoli, F. (2022). «‘Sulla nostra pelle’: razzismo ambientale e disuguaglianze di salute», in Perocco, F.; Rosignoli, F. (a cura di), «Razzismo, ambiente, salute. Razzismo ambientale e disuguaglianze di salute», num. monogr., *Socioscapes. International Journal of Societies, Politics and Cultures*, 3(1), 7-36.
- Peterlongo, G. (2023). *Nella trama dell'algoritmo: lavoro e circuiti informali nella gig-economy*. Torino: Rosenberg & Sellier.
- Peters, J.D. (2015). *The Marvelous Clouds: Toward a Philosophy of Elemental Media*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pirina, G. (2022). *Connessioni globali: una ricerca sul lavoro nel capitalismo delle piattaforme*. Milano: Franco Angeli.
- Pitron, G. (2023). *La guerra dei metalli rari*. Roma: LUISS University Press.
- Pulido, L. (1996). «A Critical Review of the Methodology of Environmental Racism Research». *Antipode*, 28(2), 142-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.1996.tb00519.x>.
- Pun, N. (2012). *Cina, la società armoniosa. Sfruttamento e resistenza degli operai migranti*. Milano: Jaca Book.
- Pun, N.; Chan, J.; Selden, M. (2015). *Morire per un iphone. La Apple, la Foxconn e la lotta degli operai cinesi*. Milano: Jaca Book.
- Pun, N. (2024). «China's Infrastructural Capitalism and Infrastructural Power of Labor: The Making of the Chinese Working Class». *Positions: Asia Critique*, 32(2), 341-69. <https://doi.org/10.1215/10679847-11024342>.
- PwC (2023). *Mine 2023: The Era of Reinvention*. 20th ed. PricewaterhouseCoopers. <https://www.pwc.com/mine>.

- PwC (2024). *State of the Semiconductor Industry*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the-semiconductor-industry-report.pdf>.
- PwC (2025). *Semiconductor & Beyond: 2026 Industry Perspectives*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/pwc-semiconductor-and-beyond-2026-full-report.pdf>.
- Radosevic, S. (2004). «The Electronics Industry in Central and Eastern Europe: A New Global Production Location». *Información Comercial Española, Revista de Economía*, 818, 151-64.
- Raman, S. (2013). «Fossilizing Renewable Energies». *Science as Culture*, 22(2), 172-80. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786998>.
- Räthzel, N.; Uzzell, D. (2011). «Trade Unions and Climate Change: The Jobs Versus Environment Dilemma». *Global Environmental Change*, 21(4), 1215-23. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.07.010>.
- Richardson, K. et al. (2023). «Earth Beyond Six of Nine Planetary Boundaries». *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>.
- Riofrancos, T. (2017). «Extractivismo Unearthed: A Genealogy of a Radical Discourse». *Cultural Studies*, 31(2-3), 277-306. <https://doi.org/10.1080/09502386.2017.1303429>.
- Riquito, M. (2025). «'Barroso is Not to Be Sold, it is to Be Loved and Defended': Affective Mobilizations for Land and Life in the Context of Green Extractivism». *Capitalism Nature Socialism*, 1-25. <https://doi.org/10.1080/10455752.2025.2562631>.
- Rockström, J. et al. (2009). «A Safe Operating Space for Humanity». *Nature*, 461(7263), 472-5. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- Roussilhe, G.; Pirson, T.; Xhonneux, M.; Bol, D. (2024). «From Silicon Shield to Carbon Lock-In? The Environmental Footprint of Electronic Components Manufacturing in Taiwan (2015-2020)». *Journal of Industrial Ecology*, 28(5), 1212-26. <https://doi.org/10.1111/jiec.13487>.
- Rouvroy, A.; Berns, T. (2013). «Algorithmic Governmentality and Prospects of Emancipation Disparateness as a Precondition for Individuation Through Relationships?». *Réseaux*, 177(1), 163-96. <https://shs.cairn.info/journal-reseaux-2013-1-page-163?lang=en>.
- Ruberti, M. (2023). «The Chip Manufacturing Industry: Environmental Impacts and Eco-Efficiency Analysis». *Science of the Total Environment*, 858, 159873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159873>.
- Sandoval, M. (2013). «Foxconned Labour as the Dark Side of the Information Age: Working Conditions at Apple's Contract Manufacturers in China». *tripleC: Communication, Capitalism & Critique*, 11(2), 318-47. <https://doi.org/10.31269/triplec.v11i2.481>.
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Harvard: Harvard University Press.
- Saxenian, A. (2006). *The New Argonauts: Regional Advantage in a Global Economy*. Harvard: Harvard University Press.
- Schmalz, S. (2024). «Varieties of Digital Capitalism and the US-China Rivalry: The Rise of Competing Technological Spheres». *Critical Sociology*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/08969205241291645>.
- Scholz, T. (2016). *Platform Cooperativism. Challenging the Corporate Sharing Economy*. New York: Rosa Luxemburg Stiftung.
- Sissa, G. (2024). *Le emissioni segrete: L'impatto ambientale dell'universo digitale*. Bologna: Il Mulino.
- Smil, V. (2021). *Energia e civiltà. Una storia*. Milano: Hoepli.

- Smith, J.H. (2021). *The Eyes of the World: Mining the Digital Age in the Eastern DR Congo*. Chicago: University of Chicago Press.
- Smith, C.; Pun, N. (2006). «The Dormitory Labour Regime in China as a Site for Control and Resistance». *The International Journal of Human Resource Management*, 17(8), 1456-70. <https://doi.org/10.1080/09585190600804762>.
- Smith, T.; Sonnenfeld, D.A.; Pellow, D.N. (eds) (2006). *Challenging the Chip: Labor Rights and Environmental Justice in the Global Electronics Industry*. Philadelphia, PA: Temple University Press.
- Statista (2024). Workforce of leading global online companies from 2014 to 2023. <https://www.statista.com/statistics/271575/number-of-employees-in-web-companies/>.
- Statista (2025a). Global Semiconductor Sales Revenue by Month from 2012 to 2024. World Semiconductor Trade Statistics; SIA. <https://www.statista.com/statistics/266014/global-semiconductor-sales-revenue-by-month/>.
- Statista (2025b). Revenue of leading fabless semiconductor companies worldwide from 2017 to 2024. <https://www.statista.com/statistics/546477/worldwide-fabless-integrated-circuit-design-top-companies/>.
- Statista (2025c). Worldwide semiconductor revenue by manufacturer from 2009 to 2024. Gartner. <https://www.statista.com/statistics/168332/worldwide-semiconductor-revenue-by-manufacturer-since-2009/>.
- Stearns, J.; Vogel, C. (2015). *The Landscape of Armed Groups in Eastern Congo: Fragmented, Militarized and Resistant to Peace*. New York: Center on International Cooperation, New York University.
- Steffen, W. et al. (2015). «Planetary Boundaries: Guiding Human Development On A Changing Planet». *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Sturgeon, T.J. (2002). «Modular Production Networks: A New American Model of Industrial Organization». *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 451-96. <https://doi.org/10.1093/icc/11.3.451>.
- Sturgeon, T.J.; Kawakami, M. (2011). «Global Value Chains in the Electronics Industry: Characteristics, Crisis, and Upgrading Opportunities for Firms from Developing Countries». *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 4(1-3), 120-47. <https://doi.org/10.1504/IJTLID.2011.041902>.
- Sutter, K.M.; Sargent Jr., J.F.; Singh, M. (2023). *Semiconductors and the CHIPS Act: The Global Context*. CRS Report R47508. <https://sgp.fas.org/crs/misc/R47558.pdf>.
- Teng, S. et al. (2023). «Pollutant Inhibition in an Extreme Ultraviolet Lithography Machine by Dynamic Gas Lock». *Journal of Cleaner Production*, 430. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139664>.
- Terna (2025). *Piano di sviluppo 2025: Programmazione territoriale efficiente e interventi di connessione*. Terna S.p.A. https://download.terna.it/terna/Terna_Piano_Sviluppo_2025_Programmazione_territoriale_efficiente_interventi_connessione_8dd62ec86ec25d1.pdf.
- TrendForce (2025a). *4Q24 Global Top 10 Foundries Set New Revenue Record; TSMC Reaches 67% Market Share*. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20250310-12510.html>.
- TrendForce. (2025b). *2Q25 Foundry Revenue Surges 14.6% to Record High, TSMC's Market Share Hits 70%, Says TrendForce*. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20250901-12691.html>.

- TrendForce. (2025c). *Global Top 10 IC Design Houses See 49% YoY Growth in 2024, NVIDIA Commands Half the Market, Says TrendForce*. <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20250317-12519.html>.
- Tse, T.; Pun, N. (2024). Infrastructural Capitalism in China: Alibaba, Its Corporate Culture and Three Infrastructural Mechanisms. *Global Media and China*, 9(1), 11-30. <https://doi.org/10.1177/20594364241226846>.
- Tu, W.L. (2021). «Invisible» Pollution? Knowledge Gridlock in Regulatory Science on Electronics Toxics». *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*, 17(4), 435-61. <https://doi.org/10.1080/18752160.2021.1924950>.
- Turner, F. (2010). *From Counterculture to Cyberculture*. Chicago: University of Chicago Press.
- UNCTAD (2021). *Impacts of the COVID-19 Pandemic on Trade in The Digital Economy*. Technical Notes on ICT for Development 19. <https://unctad.org/publication/impacts-covid-19-pandemic-trade-digital-economy>.
- UNIDO – United Nations Industrial Development Organization (2024). *International Yearbook of Industrial Statistics 2024*. https://stat.unido.org/portal/storage/file/publications/yb/2024/UNIDO_IndustrialStatistics_Yearbook_2024.pdf.
- United Nations Security Council, Group of Experts on the DRC (2024). *Letter S/2024/969*. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n24/373/37/pdf/n2437337.pdf>.
- Uptime Institute (2024). *Uptime Institute Global Data Center Survey 2024*. New York, NY: Uptime Institute.
- USGS (2025). *Mineral Commodity Summaries: Cobalt*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-cobalt.pdf>.
- USGS (2025). *Mineral Commodity Summaries: Tantalum*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-tantalum.pdf>.
- USGS (2025). *Mineral Commodity Summaries: Tungsten*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-tungsten.pdf>.
- van der Linden, M. (2018). *Il lavoro come merce. Capitalismo e mercificazione del lavoro*. Milano: Mimesis.
- Velkova, J.; Plantin, J.-C. (2023). «Data centers and the Infrastructural Temporalities of Digital Media: An Introduction». *New Media & Society*, 25(2), 273-86. <https://doi.org/10.1177/14614448221149945>.
- Vera, M.L. et al. (2023). «Environmental Impact of Direct Lithium Extraction from Brines». *Nature Reviews Earth & Environment*, 4, 149-65. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00387-5>.
- Vincentelli, S.A. et al. (2025). «Strengthening Europe's Chips Design. The Strategic Role of Italy's CHIPS-IT Foundation». *Inside Magazine*, 9. <https://www.chips.it/news/fondazione-chips-it-featured-in-the-april-issue-of-inside-journal/>
- Wang, Q. et al. (2023). «Environmental Data and Facts in the Semiconductor Manufacturing Industry: An Unexpected High Water and Energy Consumption Situation». *Water Cycle*, 4, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.004>.
- Williams, E.; Ayres, R.; Heller, M. (2002). «The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices». *Environmental Science & Technology*, 36(24), 5504-10. <https://doi.org/10.1021/es025643o>.
- Wilson, S.; Carlson, M.; Szeman, I. (2017). *Petrocultures: Oil, Politics, Culture*. Montreal: McGill-Queen's University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1qft0q7>.

- Whitmarsh, P. (2023). *Writing Our Extinction: Anthropocene Fiction and Vertical Science*. Stanford: Stanford University Press.
- World Bank. (2023). *Gender and Informal Work in Thailand*. Gender in Informal Employment Knowledge Management Note 5. Washington, D.C.: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/40397>.
- World Economic Forum (2021). *Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity. Insight Report, January 2021*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Challenge_The_Supply_Chain_Opportunity_2021.pdf.
- World Economic Forum (2025). *The Future of Jobs*. Cologny; Geneva: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2025/>.
- WSTS – World Semiconductor Trade Statistics. (2025). *Semiconductor Market Forecast 2025*. <https://www.wsts.org/76/103/WSTS-Semiconductor-Market-Forecast-Spring-2025>.
- Yang, F. et al. (2023). «The Prevalence and Risk Factors of Work Related Musculoskeletal Disorders among Electronics Manufacturing Workers: a Cross-Sectional Analytical Study In China». *BMC Public Health*, 23(10). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14952-6>.
- Yeoh, B.S. (2006). «Bifurcated Labour: The Unequal Incorporation of Transmigrants in Singapore». *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 97(1), 26-37. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2006.00493.x>.
- Yeoh, B.S. (2022). «Is The Temporary Migration Regime in Asia Future-Ready?». *Asian Population Studies*, 18(1), 1-5. <https://doi.org/10.1080/17441730.2022.2029159>.
- Yeung, H.W.C. (2022). *Interconnected Worlds: Global Electronics and Production Networks in East Asia*. Stanford: Stanford University Press.
- Yuan, J.E.; Zhang, L. (2025). «From Platform Capitalism to Digital China: The Path, Governance, and Geopolitics». *Social Media + Society*, 11(1). <https://doi.org/10.1177/20563051251323030>.
- Zounmenou, D. et al. (2019). *Final Report of the Group of Experts on the Democratic Republic of the Congo*. New York: UN Security Council. <https://docs.un.org/en/S/2019/469>.
- Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. New York: PublicAffairs.

Società e trasformazioni sociali

1. Gjergji, Iside (a cura di) (2015). *La nuova emigrazione italiana. Cause, mete e figure sociali*.
2. Jubany, Olga; Perocco, Fabio (eds) (2015). *Vulnerable Workers in Times of Social Transformation. Discrimination and Participation of Young and Older Workers, and Social Dialogue Stances*.
3. Antunes, Ricardo (2015). *Addio al lavoro? Le trasformazioni e la centralità del lavoro nella globalizzazione*.
4. Di Noia, Luigi (a cura di) (2016). *La condizione dei Rom in Italia*.
5. Cillo, Rossana (a cura di) (2017). *Nuove frontiere della precarietà del lavoro. Stage, tirocini e lavoro degli studenti universitari*.
6. Basso, Pietro; Chiaretti, Giuliana (a cura di) (2018). *Le grandi questioni sociali del nostro tempo. A partire da Luciano Gallino*.
7. Gjergji, Iside (2019). *Sociologia della tortura. Immagine e pratica del supplizio postmoderno*.
8. Della Puppa, Francesco; Sanò, Giuliana (eds) (2021). *Stuck and Exploited. Refugees and Asylum Seekers in Italy Between Exclusion, Discrimination and Struggles*.
9. Cillo, Rossana; Perocco, Fabio (a cura di) (2022). *Posted workers. La condizione dei lavoratori in distacco transnazionale in Europa*.
10. Perocco, Fabio (ed.) (2023). *Migration and Torture in Today's World*.
11. Perocco, Fabio; Pirina, Giorgio (a cura di) (2025). *Le disuguaglianze territoriali in Italia. Cause, forme, conseguenze*.

Dietro l'immaginario di leggerezza e immaterialità del digitale si cela un iceberg di ipersfruttamento del lavoro, consumo di risorse e inquinamento lungo le catene del valore.

La matrice M-E-L-G orienta l'analisi dei processi produttivi che rendono possibile la digitalizzazione, letti attraverso la lente della 'nocività digitale': dall'estrattivismo minerario ai semiconduttori, dal consumo energetico e idrico dei data center ai rifiuti elettronici. Al centro emerge la 'digitarchia', cioè il regime di governo dell'ordine sociale digitale, in cui il potere dei colossi tecnologici si intreccia e si scontra con forme di azione dal basso, contribuendo a ridefinire le disuguaglianze globali.

Giorgio Pirina è contrattista di ricerca in Sociologia del Lavoro presso l'Università di Bologna, dove lavora al progetto Di-GROWTH (Crescita Digitale Sostenibile). I suoi studi vertono sullo sfruttamento di risorse umane e ambientali nelle filiere digitali, sulle trasformazioni del lavoro nel capitalismo delle piattaforme e sulle disuguaglianze territoriali.



Università
Ca' Foscari
Venezia