

La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center

I risultati del progetto finanziato
dall'Università di Padova e dalla Regione Veneto



a cura di
Marco Bettiol

Prima edizione 2023, Padova University Press
Titolo originale *La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center*

© 2023 Padova University Press
Università degli Studi di Padova
via 8 Febbraio 2, Padova

www.padovauniversitypress.it
Redazione Padova University Press
Progetto grafico Padova University Press

This book has been peer reviewed

Immagine di copertina: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motherboard_Acer_HannStar_J_MV-4_DAOZR6MB6EO_for_Acer_Extensa_5235-rear-3607.jpg
Courtesy © Raimond Spekking / CC BY-SA 4.0

ISBN 978-88-6938-362-5



This work is licensed under a Creative Commons Attribution International License
(CC BY-NC-ND) (<https://creativecommons.org/licenses/>)

La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center

**I risultati del progetto finanziato
dall'Università di Padova e dalla Regione Veneto**

a cura di Marco Bettiol



Indice

Introduzione	7
<i>Regione Veneto</i>	
I Data Center alla prova dell'economia circolare	11
<i>Marco Bettiol, Shira Fano, Gianluca Toschi</i>	
1. Introduzione	11
2. Un'industria energivora	13
3. Dal consumo di energia alla sostenibilità ambientale	15
4. Efficienza e sostenibilità: come stanno reagendo gli operatori	17
5. Data Center ed economia circolare	21
6. Obiettivi e metodologia della ricerca	23
7. I risultati dell'indagine quantitativa	26
8. Comunicare la sostenibilità online	31
9. Conclusioni	37
Bibliografia	38
Il ruolo delle catene globali del valore per la sostenibilità dei data center: sfide e traiettorie di sviluppo	41
<i>Eleonora Di Maria</i>	
<i>Valentina De Marchi</i>	
1. Promuovere la sostenibilità ambientale nelle catene globali del valore	41
2. IT, data center e struttura delle catene globali del valore	45
3. Sostenibilità per i data center	54
4. Conclusioni: traiettorie di sviluppo e sfide	58
Bibliografia	59
Life Cycle Assessment di un data center: Il caso VSIX dell'Università di Padova	63
<i>Linda Cerana</i>	
1. Introduzione	63
2. Sviluppo del modello e raccolta dati	74
3. Risultati	98
4. Conclusioni	106

5. Limitazione e sviluppi futuri	108
Bibliografia	110
Come valutare il riciclo dei componenti di un data center attraverso gli indicatori di impatto LCA	115
<i>Fernando Peñaherrera V.</i>	
<i>Alexandra Pehlken</i>	
1. Introduzione	115
2. Il riciclo delle materie prime di un data center	116
3. Life Cycle Assessment di un server e alcuni scenari di fine vita	119
4. Analisi dell'inventario e indicatori	121
5. Risultati della valutazione d'impatto	126
6. Valutazione dei risultati e discussione	130
7. Conclusioni e prospettive future	131
Bibliografia	132

Introduzione

Idelfo Borgo

Direttore ICT e Agenda Digitale, Regione Veneto

Luca De Pietro

Direttore UO “Strategie ICT e Agenda Digitale”, Regione Veneto

Quando l’Università di Padova, attraverso il gruppo di ricercatori del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali “Marco Fanno”, ci ha contattato proponendoci di essere partner di un percorso di ricerca sulla sostenibilità ambientale dei data center eravamo pochi mesi prima del Covid e abbiamo accettato di buon grado. Con la pandemia la proposta ci è sembrata ancora di maggiore interesse perché l’esperienza dei primi mesi di *lockdown* ci aveva fatto capire due cose importantissime. La prima che l’uso del digitale era diventato centrale nelle nostre vite da molti punti di vista ossia per lavorare, per accedere ai servizi pubblici (pensiamo alle prenotazioni dei tamponi o dei vaccini ecc), per studiare, per socializzare ecc tanto da segnare uno spartiacque reale nella percezione del digitale. La seconda, strettamente connessa alla prima, la necessità di potenziare le nostre infrastrutture digitali per renderle più resilienti per far fronte ad emergenze e fenomeni improbabili ma possibili come la pandemia. E purtroppo due anni dopo ci siamo trovati in un’altra emergenza - questa volta energetica - a seguito del conflitto in Ucraina. Quindi quando si dice: “la proposta giusta al momento giusto”.

Con grande entusiasmo abbiamo quindi seguito il percorso di ricerca condotto dal team di ricercatori dell’Università di Padova nei due anni di progetto, provando a fornire il nostro contributo sia dal punto di vista di “gestori diretti” di un data center (con il quale oggi forniamo servizi a più di 500 amministrazioni comunali in Veneto, oltre che all’amministrazione Regionale e al mondo delle nostre agenzie) sia come *policy maker* inte-

ressato a capire e comprendere le leve su cui intervenire per indirizzare e sostenere un mercato in forte espansione nei prossimi anni.

L'analisi iniziale condotta con una survey specifica su un campione di circa 500 operatori/gestori di data center su scala europea ha evidenziato che vi era un'ampia e diffusa consapevolezza sul tema tra gli operatori sia in termini di policy e certificazione adottate, di team dedicati, ma soprattutto sulla diversificazione energetica dei data center con la costante ricerca di aumentare la quota proveniente da fonti rinnovabili per abbattere l'impronta carbonica degli stessi. Molta meno attenzione veniva registrata sulla dimensione del Life Cycle Assessment (LCA) di un data center: tanto da spingere il team di ricerca a focalizzarsi nella seconda fase specificatamente su questo tema. In particolare, raccogliendo e analizzando modelli teorici di LCA applicabili al settore ma soprattutto conducendo un'analisi puntuale e analitica di LCA al data center dell'Università di Padova: il VSIX. La parte sicuramente più interessante e originale dello studio ha evidenziato che l'impatto ambientale complessivo del data center non dipende solo dalla dimensione energivora ma anche degli apparati, delle attrezzature e dei singoli componenti che ne garantiscono il funzionamento (dai server, agli storage, agli switch, ecc). Un lavoro meticoloso e accurato che evidenzia chiaramente due aspetti. Il primo è il "reale" impatto ambientale di un data center in particolare di tutte le diverse fasi dalla progettazione, alla produzione dei singoli componenti, al funzionamento, fino allo smaltimento. Nel caso analizzato (il VSIX) viene stimato che gli impatti ambientali maggiori sono legati alla produzione dei componenti e quindi alla realizzazione del data center stesso, con quote tra il 71% e il 92% a seconda delle ipotesi, mentre molto minori sono gli impatti collegati sul suo funzionamento (consumi energetici).

Il secondo è che i miglioramenti nelle performance dei singoli apparati non sono neutri dal punto di vista ambientale ma anzi hanno implicazioni non immediatamente visibili ma relevantissime. Emblematica l'analisi comparata tra un disco HDD (hard disk drive) e un disco SSD (solid-state disk), di pari dimensioni (2,5") e capacità di archiviazione (2 TB): le emissioni legate alla produzione e al trasporto risultano essere 50 volte superiori per il disco SSD rispetto a quello HDD (circa 6 kgCO₂eq per HDD contro i 286 kgCO₂eq per l'SSD). Questa differenza è dovuta in gran parte al processo di produzione dei circuiti integrati a cui è attribuito il 98% delle emissioni del disco.

I risultati ottenuti sono molto importanti ma non possono rappresentare un punto di arrivo. Anzi, uno degli aspetti fondamentali che è emerso

da questo progetto di ricerca condotto assieme all'Università di Padova è che siamo solo all'inizio di questo tema che per certi versi rimane ancora poco indagato e soprattutto compreso. Su quest'ultimo aspetto un ruolo importantissimo dovranno assumerlo anche gli utilizzatori dei servizi digitali, che dovranno essere più consapevoli degli impatti ambientali dell'utilizzo dei singoli servizi per poter scegliere in piena autonomia e consapevolezza. Sicuramente la sostenibilità del digitale rappresenterà per l'Agenda Digitale del Veneto 2025 uno dei pilastri strategici su cui investire in termini sia di infrastruttura che di servizi nei prossimi anni.

I Data Center alla prova dell'economia circolare

Marco Bettiol

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali "Marco Fanno" – Università di Padova

Shira Fano

Dipartimento di economia e management - Università di Trento

Gianluca Toschi

Fondazione Nord Est

1. Introduzione

Mandare una mail, condividere un'immagine sui social media, fare una videochiamata, e potremmo continuare con gli esempi, sono tutte attività che facciamo quotidianamente e che per poter essere realizzate richiedono servizi digitali che si basano sui data center. Come la parte emersa e visibile di Venezia si poggia su una foresta fitta e invisibile di pali conficcati nel fango della laguna, così i data center sorreggono tutte quelle attività che oggi realizziamo con e su Internet. Ma che cos'è un data center? *È una infrastruttura che ospita sistemi informatici e di telecomunicazioni, tra cui server, dispositivi di archiviazione dati e componenti di rete, con lo scopo di elaborare, memorizzare e distribuire informazioni e servizi in modo efficiente e sicuro*¹. Potremmo definirli come le fabbriche

¹ Questa definizione è stata ottenuta interrogando ChatGPT in merito alla definizione di data center. ChatGPT, come tutte le applicazioni di intelligenza artificiale non potrebbero funzionare senza il ricorso ai data center.

del digitale che, anche se molto più silenziose e con decisamente meno personale² rispetto a quelle della prima e seconda rivoluzione industriale, gestiscono attraverso connessioni ad alta velocità e server molto potenti, sia i (nostri) dati sia i servizi digitali che usano questi dati. Senza queste “fabbriche” sarebbe impossibile anche fare una banale ricerca su Google oppure interrogare un sistema di Intelligenza Artificiale.

Seppur nascosti alla nostra vista, i data center sono infrastrutture essenziali per il funzionamento della società e dell'economia. Il numero crescente di dati che vengono oggi prodotti nel mondo e le stime di crescita dei prossimi anni, non possono che rendere ancora più rilevanti questi sistemi. Sebbene non esistano delle stime scientificamente validate, alcune società di consulenza del settore ICT hanno provato a quantificare il fenomeno. In un recente rapporto, IDC prevede che la quantità di dati passerà da 33 zettabyte³ del 2018 a ben 175 nel 2025. La previsione è che circa il 50% di questi dati sarà ospitato nei data center. Una crescita che si accompagna anche all'aumento degli investimenti nel settore che secondo un recente rapporto⁴ di McKinsey passeranno dai 31 miliardi di dollari del 2022 a 49 miliardi nel 2030 con una crescita del 5,4 % all'anno. Sempre nello stesso rapporto, si indica che nel 2021 sono stati siglati 209 contratti per la costruzione di nuovi data center, con un valore aggregato di oltre 48 miliardi di dollari, in aumento del 40% rispetto al 2020, quando gli accordi erano stimati a 34 miliardi. Nel primo semestre del 2022 ci sono stati 87 contratti, con un valore aggregato di 24 miliardi. La crescita negli investimenti si riflette nell'aumento del numero dei data center nel mondo. Secondo Data Center Map⁵, il numero di data center ha raggiunto la cifra di 4984 unità. Sebbene i data center siano localizzati in 130 paesi al mondo, la loro distribuzione geografica non è omogenea. Solo negli Stati Uniti è localizzato il 37% (1851) dei data center del mondo.

Visti i numeri in campo, è difficile pensare che questa tendenza si possa invertire. Infatti, molto dipende anche dai nostri comportamenti individuali in quanto utilizzatori di questi servizi. Se osserviamo con at-

² Interessante la lettura dell'articolo del New York Times dove si nota che molte delle aspettative occupazionali legate alla costruzione di un data center nelle aree internet degli Stati Uniti sono state disattese. <https://www.nytimes.com/2016/08/27/technology/cloud-computing-brings-sprawling-centers-but-few-jobs-to-small-towns.html>

³ Un zettabyte (ZB) corrisponde a un trilione di gigabyte (GB)

⁴ Il rapporto completo è disponibile a questo indirizzo <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/investing-in-the-rising-data-center-economy>

⁵ I numeri sono costantemente in aggiornamento e la data di ultima consultazione è il 18 febbraio 2023 <https://www.datacentermap.com/datacenters.html>

tenzione come usiamo il digitale ci rendiamo conto che siamo degli accumulatori di dati. È molto più costoso (cognitivamente, emotivamente ed economicamente) cancellare dati che produrli. Chiunque abbia avuto la sventura di aver perso per sempre dei file, vuoi per un malfunzionamento del supporto informatico, vuoi per non aver fatto in modo adeguato backup, si rende conto della fondamentale importanza di poter conservare le proprie informazioni in modo sicuro e facilmente accessibile. Oggi, questo è possibile proprio grazie al “cloud”, la nuvola dei dati, che semplifica drasticamente la gestione delle informazioni in rete. Dalle foto ricordo di una vacanza fino ai documenti di lavoro oggi non ci dobbiamo più preoccupare di conservarli, diamo per scontato il fatto che queste informazioni siano sempre accessibili da ogni dispositivo, semplicemente attraverso una connessione internet. Questa sensazione non è infondata. I data center garantiscono un’elevata sicurezza informatica e fisica nella conservazione del dato, largamente superiore a quanto ogni consumatore e azienda potrebbe garantire per i propri apparati. La nuvola dei dati ci sembra leggera ed impalpabile ma, come si dice in gergo informatico, il cloud non è altro che il server di qualcun altro⁶. Invece di conservare le informazioni localmente su un dispositivo di nostra proprietà, abbiamo deciso di metterle più o meno consapevolmente nei data center. Ogni bit nel cloud ha bisogno di molto hardware per poter funzionare e questo determina un impatto sul nostro pianeta.

2. Un’industria energivora

Se l’importanza dei data center è fuori discussione vista l’attuale struttura dei servizi digitali, diventa fondamentale capirne l’impatto ambientale. I data center sono per loro natura energivori, consumano infatti grandi quantità di energia sia per il funzionamento degli apparati informatici ed elettrici (server, sistemi di rete, gruppi di continuità) sia, soprattutto, per il loro raffreddamento. Lo diamo per scontato ma i data center devono, inoltre, funzionare ininterrottamente di giorno e di notte, sette giorni su sette. Non ci sono eccezioni.

Nel rapporto elaborato⁷ dall’agenzia EPA (Environmental Protection Agency) e presentato al congresso americano nel 2007, si calcola che il

⁶ La frase originale è in inglese: “cloud computing is someone else’s server”. La definizione è diventata popolare nel tempo e viene spesso utilizzata per descrivere il concetto di cloud computing in modo sintetico e immediato.

⁷ Il rapporto è consultabile a questo indirizzo https://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf

consumo energetico dei data center negli Stati Uniti era equivalente a circa l'1,5% del consumo totale di energia del paese pari a 61 terawattora (TWh) nel 2006 per un costo totale dell'elettricità pari a circa 4,5 miliardi di dollari. Più recentemente, una ricerca condotta dal JRC (Joint Research Center) dell'Unione Europea ha stimato i consumi dei data center europei pari a 74 TWh all'anno, pari al 2,25% del totale dei consumi energetici europei. La stessa ricerca ha calcolato che il consumo energetico è cresciuto nel periodo 2010-2015 del 9% passando da 55 a 74 TWh all'anno.

Tabella 1 – Consumi energetici dei data center

Anno	Luogo	Consumo energetico (TWh)	Fonte
2006	USA	61	EPA (2007)
2010	Globale	180	(Malmodin et al., 2010)
2015	UE	74	JRC/EU (2020)
2015 2018	Globale	2000-3000 (attesi nel 2030)	Andrae, 2019; Andrae & Edler, 2015; Belkhir & Elmeligi, 2018; The Shift Project, 2019
2020	Globale	196	(Masanet et al., 2020b)
2020	Globale	400	(Hintemann, 2020)

Diversi studi scientifici hanno provato a calcolare il consumo energetico dei data center. Le stime anche in questo caso variano fortemente. Da un lato ci sono studi che prevedono che il consumo aumenterà dai 200 TWh del 2010 ad una forchetta compresa tra i 2000 e 3000 TWh nel 2030 (A. Andrae & Edler, 2015; A. S. G. Andrae, 2020; Belkhir & Elmeligi, 2018b; The Shift Project, 2019). Al contrario, altri studi sembrano aver utilizzato un approccio differente e hanno stimato che il consumo dei data center è rimasto sostanzialmente stabile nel corso degli ultimi anni (IEA, 2017; Masanet et al., 2020b; Shehabi et al., 2018). In questo caso i valori sono decisamente più contenuti: tra i 196 TWh (Masanet et al., 2020a) e 400 TWh (Hintemann, 2020).

Questa grande differenza nelle stime è riconducibile al fatto che ad oggi non esistono delle metodologie condivise nel calcolo dei consumi energetici a livello aggregato. Inoltre è difficile effettuare i calcoli poiché i singoli data center non condividono i dati del loro consumo annuale e quindi è necessario affidarsi a delle stime che però non sempre riescono a tenere conto dei rapidi cambiamenti tecnologici e delle soluzioni ingegneristiche elaborate dalle aziende nel tentativo di aumentare l'efficienza dei singoli apparati e dei data center nel loro complesso.

Pur in presenza di un quadro non chiaro e con margini di incertezza nelle metodologie di stima, la crescente diffusione dei data center e la crescita della domanda di servizi digitali a livello globale impongono un'attenta riflessione. In termini assoluti, i livelli dei consumi hanno raggiunto valori di tutto rispetto. In un recente articolo di Bloomberg⁸ che cita fonti dell'EIA (Energy Information Administration), si calcola che il consumo elettrico dei data center di Google (15 TWh) sia oggi superiore a quello dello stato del Maine (12 TWh). Se sommassimo i consumi dei principali operatori nel mondo dei data center negli Stati Uniti (Amazon, Google, Microsoft, Facebook) scopriremo che in valore assoluto hanno raggiunto i 56 TWh, molto vicini al 62 TWh che è l'energia necessaria per illuminare le case di tutti gli americani.

Pur con questa variabilità nelle stime, il tema della sostenibilità ambientale dei data center diventa una questione non solo non più eludibile per la salute del nostro pianeta ma anche strategica per gli stessi operatori del settore, principalmente le grandi aziende del digitale, che devono sempre più rendere conto agli stakeholder e ai consumatori degli impatti che generano.

3. Dal consumo di energia alla sostenibilità ambientale

Alcune ricerche hanno provato a stimare l'impatto ambientale dei servizi in cloud computing. Uno degli studi che ha suscitato un grande dibattito è quello realizzato da The Shift Project, *think tank* francese fortemente impegnato per promuovere un'economia non basata sui combustibili fossili. Lo studio ha provato a calcolare l'impatto della visione di mezz'ora di video Netflix, arrivando a stimare delle emissioni pari a 1,6kg di CO₂ (anidride carbonica) equivalenti a quelli prodotti da un tragitto di 6,28 chilometri in automobile⁹. Lo studio è stato fortemente ripreso nei media generalisti e ha suscitato reazioni contrastanti. Alcuni hanno messo in discussione la correttezza di questi calcoli. Ad esempio, la IEA (International Energy Agency)¹⁰ ha condotto uno studio parallelo e, applicando una metodologia di stima differente, è arrivata a conclusioni radicalmente diverse: 16g di CO₂ per 30 minuti di video su Netflix, un

⁸ <https://www.bloomberg.com/news/features/2021-10-17/google-s-new-green-campus-brings-sustainability-to-silicon-valley>

⁹ A questo link, uno degli articoli che ha ripreso i risultati dello studio <https://phys.org/news/2019-10-chill-netflix-habit-climate-experts.html>

¹⁰ <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>

valore 80 volte più basso. L'aver stime così radicalmente diverse non contribuisce sicuramente ad avere una discussione costruttiva sul tema e tende a polarizzare e a creare molta confusione sia tra gli addetti ai lavori sia tra i consumatori. Soprattutto questi ultimi, oggi molto sensibili ai temi ambientali, hanno difficoltà a capire l'impatto dell'uso di determinati servizi sulla salute del nostro pianeta.

Anche se c'è molta discussione su quanto consuma un singolo servizio digitale, rimane il fatto che l'utilizzo di questi servizi è già molto elevato,¹¹ e tenderà a crescere nel prossimo futuro in relazione all'aumento del numero sia di utenti sia delle tipologie di servizi. Di fatto, il cloud computing è diventato il framework di base per lo sviluppo delle nuove applicazioni in rete. I tool di Intelligenza Artificiale che in questi mesi hanno conquistato l'attenzione dei media e più in generale del pubblico sono basati sul cloud sia per quanto riguarda la fase di addestramento, sia per l'utilizzo del servizio stesso (Cowls et al., 2021). Come evidenziato da uno studio recente (Thompson et al., 2020), l'addestramento degli algoritmi di *deep learning* richiede un'elevata capacità computazionale che si traduce in un elevato dispendio energetico con un conseguente impatto ambientale.

Se non ci sono pasti gratis in economia, non ci sono servizi digitali senza data center con i relativi effetti sulla salute del nostro pianeta.

Ma quale impatto ambientale hanno i data center? Per provare a dare una risposta, partiamo dalle possibili tipologie di impatto che un data center può avere. Se del consumo di energia abbiamo parlato in precedenza, non abbiamo ancora detto nulla dell'uso dell'acqua e del suolo. Per il loro funzionamento i data center producono molto calore che per il corretto funzionamento dei server deve essere dissipato. Temperature troppo elevate possono portare a diversi problemi tecnici e mettere in discussione l'affidabilità dei data center nel conservare correttamente i dati e nel renderli sempre accessibili. Nel tempo i gestori dei data center hanno elaborato diverse soluzioni tecniche¹² per rendere sempre più efficiente la dispersione del calore. Inoltre, hanno deciso di localizzare i data center in aree geografiche climaticamente favorevoli (come il Nord Europa) nelle quali il raffreddamento è meno oneroso. Pur all'interno di questo quadro, l'acqua rappresenta la fonte principale per i sistemi di raffreddamento e

¹¹ <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/12/15/why-energy-is-a-big-and-rapidly-growing-problem-for-data-centers/?sh=331f3d915a30>

¹² Per approfondire questo aspetto si rimanda a questo articolo <https://www.agenda-digitale.eu/smart-city/raffreddamento-dei-data-center-le-tecnologie-piu-diffuse-e-quelle-piu-convenienti/>

quindi il suo consumo deve essere attentamente valutato per capire quanto i data center incidono sull'uso di questa importante risorsa. L'altro aspetto che va preso considerazione riguarda il consumo di suolo. Per le loro particolari caratteristiche, i data center richiedono delle infrastrutture ad hoc che normalmente vengono realizzate attraverso la costruzione di nuovi impianti con una non trascurabile occupazione di suolo. In particolare, i data center di classe hyperscale¹³, quelli caratterizzati da una forte densità di capacità computazionale, hanno una dimensione minima di 10.000 metri quadri fino ad arrivare ad un massimo di 325.000 metri quadri del data center dell'azienda Switch che si trova in Nevada negli Stati Uniti, l'infrastruttura più grande al mondo.

Fatte queste premesse, si comprende che non è facile calcolare con precisione l'impatto ambientale dei data center nella misura in cui ci sono diversi modelli di stima, i dati non sono sempre facilmente accessibili e gli impatti ambientali possono essere analizzati sotto diversi punti di vista come produzione di gas serra, consumo dell'acqua, consumo del suolo. Per questa ragione, solo pochi studi offrono un quadro completo prendendo in considerazione tutti gli impatti possibili, la maggior parte infatti si concentra solo su uno o più di questi.

Nonostante questi limiti, per provare a rispondere alla domanda possiamo fare affidamento a quanto è emerso da un recente articolo scientifico che ha analizzato le diverse stime effettuate dagli studiosi (al Kez et al., 2022). Secondo lo studio realizzato sull'uso di Internet (Obringer et al., 2021), l'impatto in termini di CO₂ equivalente per Gigabyte (GB) oscilla tra 28 e 63 grammi, per quanto riguarda l'acqua e il suolo siamo rispettivamente attorno 0,1-35 litri (L) per GB e 0,7-20 cm² per GB. Sempre nello stesso studio viene indicato che il consumo di acqua per la gestione dei dati (data storage) raggiunge i 5 L per GB, una cifra davvero notevole. Nell'articolo che abbiamo già citato in merito ai consumi energetici (Belkhir & Elmelig, 2018a), gli autori stimano che le emissioni annuali dei data center avranno una crescita molto rilevante e passeranno da 159 milioni di tonnellate (MT) di CO₂ equivalente del 2010 al 495 MT nel 2020 (stima prevista dagli autori nel loro articolo che è del 2018).

4. Efficienza e sostenibilità: come stanno reagendo gli operatori

¹³ Questa classe di data center è quella più utilizzata dai grandi operatori dei servizi digitali come Amazon, Apple, Google, Meta

Da quello che emerge nei paragrafi precedenti, è possibile comprendere quanto i consumi energetici e gli impatti ambientali dei data center non possono essere più trascurati. Questa industria è in grande espansione e la futura diffusione delle reti 5G e dell'edge computing¹⁴ rappresenterà un'ulteriore spinta alla crescita. Come abbiamo visto il numero dei data center è destinato ad aumentare nei prossimi anni in ragione sia di una sempre più forte richiesta di servizi digitali sia della nascita di nuove future tecnologie che si baseranno sul cloud.

Gli operatori del settore sono consapevoli di queste criticità e sono da tempo impegnati per cercare di ridurre la propria impronta sull'ambiente. Soprattutto gli operatori di maggiori dimensioni e più esposti mediaticamente hanno preso numerose iniziative. Amazon, Google, Meta e Microsoft stanno puntato a ridurre drasticamente i loro consumi e sostanzialmente unanimi dichiarano la volontà di raggiungere la neutralità delle emissioni entro il 2030. Vista la rilevanza di questi attori, il loro impegno sta condizionando anche gli altri operatori del settore che hanno deciso di intraprendere iniziative in questa direzione come la The Green Grid¹⁵ e la European Data Center Association (EDCA)¹⁶.

Analizzando le diverse iniziative introdotte, è possibile definire tre elementi fondamentali che caratterizzano l'approccio alla sostenibilità del settore dei data center. Il primo riguarda l'**efficienza**. Le imprese del settore hanno posto grande attenzione al tema del risparmio energetico. L'energia è la voce di costo principale per la gestione di un data center, potremmo definirla la materia prima, ed è anche contemporaneamente un fattore in grado di incidere pesantemente sulla produzione di gas serra. Uno studio condotto di Urgaonkar e coautori (2011) ha calcolato che tra il 35% e il 50% dei costi di un data center sono legati al consumo di energia. I motivi di un così intenso utilizzo di energia elettrica sono legati al raffreddamento delle attrezzature informatiche (server) che producono molto calore durante il loro funzionamento, oltre che, ovviamente, al consumo degli apparati stessi. La riduzione dei consumi è quindi un fattore che coniuga la **sostenibilità ambientale** con quella **economica**. Un data center più ecologico è anche un data center che costa meno e che quindi ha potenzialmente maggiori margini di profitto.

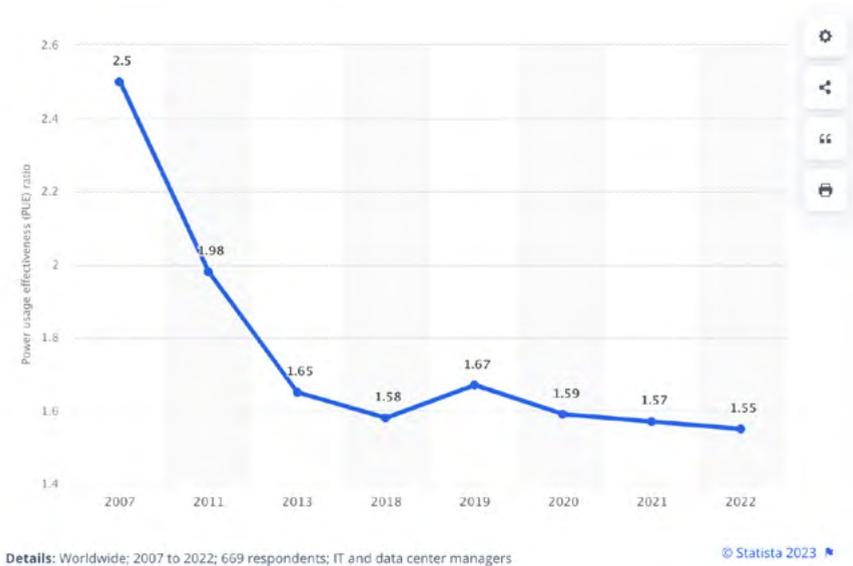
¹⁴ Non essendo lo scopo di questo testo approfondire il tema dell'edge computing, si rimanda a https://it.wikipedia.org/wiki/Edge_computing

¹⁵ <https://www.thegreengrid.org/en/about-us/members>

¹⁶ <https://www.eudca.org/>

Uno degli indicatori più importanti utilizzati nel mondo dei data center è il Power Usage Effectiveness (PUE) che misura il rapporto tra la quantità di energia usata complessivamente da un data center e la quantità di energia usata delle apparecchiature IT. Più questo rapporto è vicino a 1, maggiore sarà l'efficienza del data center perché questo implica che la maggior parte dell'energia elettrica è utilizzata per il funzionamento dei server, riducendo al minimo il consumo per il raffreddamento.

Figura 2 – Media del PUE dei data center a livello mondiale tra il 2007 e il 2021



Fonte: Statista

Come si può vedere dalla Figura 2, i risultati di questo impegno sono oggi visibili nel notevole decremento della media del PUE a livello globale. Si è passati da una media di 2,5 nel 2007 ad 1,57 del 2021, sebbene già dal 2018 il valore fosse pari a 1,58. A fronte di queste medie i più importanti operatori del settore hanno ottenuto risultati ancora più significativi. Infatti, il più recente data center di Facebook, completato nel 2021, presenta un punteggio PUE di 1,09¹⁷ e quelli di Google si collocano

¹⁷ Il report sulla sostenibilità di Meta è disponibile a questo indirizzo <https://sustainability.fb.com/data-centers/>

allo stesso livello con un PUE medio di 1,10¹⁸. È lecito attendersi che in un prossimo futuro anche gli altri operatori saranno in grado di avvicinare questi risultati abbassando ulteriormente la media globale.

Il raggiungimento di questi livelli di efficienza è stato possibile grazie ad un costante e profondo cambiamento tecnologico delle apparecchiature interne e alla definizione di nuove architetture progettuali dei data center. Tutta le apparecchiature di ultima generazione hanno infatti ridotto in modo sostanziale i propri consumi elettrici. Inoltre, le nuove modalità di design e di layout dei data center hanno migliorato la gestione del calore, abbassando notevolmente i costi energetici legati al raffreddamento delle infrastrutture.

Il secondo punto riguarda il ricorso all'**energia da fonti rinnovabili**. L'evoluzione tecnologica nel settore del fotovoltaico e dell'energia solare ha ridotto di molto il costo di produzione dell'energia rispetto al recente passato e ne ha aumentato la capacità. Questo ha favorito un ricorso sempre maggiore da parte degli operatori a queste due fonti di energia. Google in particolare ha giocato un ruolo importante favorendo l'investimento per la creazione di parchi fotovoltaici ed eolici offrendo dei contratti di acquisto in esclusiva. Questo ha ridotto il rischio delle imprese che intendevano entrare in questo settore e ha aumentato il livello degli investimenti. È bene precisare che questa strategia è particolarmente efficace se applicata a livello globale. Per due ragioni fondamentali: non tutte le aree del nostro pianeta hanno le caratteristiche adatte alla produzione di energia solare ed eolica, la produzione del solare segue le ore di luce e quindi solo avendo parchi fotovoltaici in diverse aree del mondo è possibile garantire una continuità di alimentazione da questa fonte. Ad esempio, Google non solo può approvvigionarsi da diversi produttori di energia da fonti rinnovabili strategicamente collocati in diverse aree del mondo ma è anche in grado di concentrare parte delle attività computazionali nei data center che sono illuminati dal Sole¹⁹. È pur vero che oggi le aziende che producono e vendono energia elettrica offrono la possibilità da parte delle imprese e dei singoli cittadini di approvvigionarsi di energia proveniente da fonti rinnovabili certificate. Questo sicuramente sta aiutando e aiuterà gli operatori locali ad avere la possibilità di ridurre ulteriormente le proprie emissioni ricorrendo a queste tipologie di contratti. Tuttavia, la particolare natura dei

¹⁸ Il PUE medio dei data center di Google è disponibile a questo indirizzo <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>

¹⁹ Informazioni più dettagliata sulla strategia di Google sono reperibili a questo indirizzo <https://sustainability.fb.com/data-centers/>

data center richiede un uso elevato di energia sia di giorno che di notte e quindi le fonti rinnovabili devono spesso essere integrate da quelle fossili.

Il terzo aspetto riguarda le **modalità di misurazione dell'impatto ambientale**. Quasi tutti gli operatori hanno deciso di concentrarsi sulla riduzione delle emissioni e quindi della CO₂. Da un lato si tratta di un obiettivo relativamente facile da misurare e che si basa sostanzialmente sulla riduzione dell'uso dell'energia elettrica o sull'introduzione di energia da fonti rinnovabili. Dall'altro questo obiettivo volutamente non tiene in considerazione altri possibili impatti dei data center, soprattutto quelli legati alla loro costruzione (l'edificio) e alle apparecchiature elettroniche ed elettriche necessarie al loro funzionamento.

5. Data Center ed economia circolare

Finora le imprese che operano nel settore dei data center hanno applicato un **modello lineare** alla sostenibilità ambientale. Come abbiamo visto sopra, gli operatori sono principalmente concentrati sulla fase d'uso (efficienza energetica e fonti di approvvigionamento) e nella riduzione delle emissioni ad essa associate. Questa impostazione ha portato a non considerare in modo adeguato quello che accade a monte (la fornitura delle apparecchiature e la costruzione dell'edificio) e a valle (la gestione del fine vita delle apparecchiature) del data center stesso. Ogni data center deve rinnovare costantemente il proprio "parco macchine" per garantirsi efficienza (le nuove apparecchiature hanno maggiori performance e consumano meno) e continuità di funzionamento (minor rischio di guasti). Entrambi questi aspetti sono fondamentali per la continuità del servizio dei data center: riduzione dei costi e funzionamento ininterrotto. Si comprende quindi facilmente perché gli operatori pongano molta enfasi nella fase d'uso, perché è strategica per il data center ed è dove si evidenziano i maggiori costi. In questo contesto, economicità e sostenibilità ambientale diventano sinonimi.

Tuttavia, è evidente che per migliorare la sostenibilità dei data center è necessario adottare un **approccio circolare** che riesca a prendere in considerazione il ciclo di vita di un impianto. L'economia circolare è alla base del green deal europeo²⁰ e sta diventando una priorità per molti settori industriali. L'economia circolare può essere definita come: "*un sistema*

²⁰ A questo indirizzo è possibile approfondire l'approccio europeo all'economia circolare <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

generativo in cui l'apporto di risorse e la dispersione di rifiuti, emissioni ed energia sono ridotti al minimo rallentando, chiudendo e restringendo i cicli dei materiali e dell'energia. Ciò può essere ottenuto attraverso la progettazione, la manutenzione, la riparazione, il riutilizzo, la rifabbricazione, la ristrutturazione e il riciclo di lunga durata" (Geissdoerfer et al., 2017).

Si tratta di un cambio di prospettiva che costringe le imprese ad approcciare il tema della sostenibilità in una logica di rigenerazione e non solo di consumo considerando quello che accade oltre i confini aziendali. Secondo l'impostazione dell'economia circolare ha poco significato essere sostenibili in un solo punto di una filiera di produzione e disinteressarsi del resto. L'approccio circolare invita le imprese a prendersi cura delle esternalità negative (le conseguenze che altre imprese o l'ambiente deve subire in merito alle decisioni prese dalla singola impresa) e a puntare a trasformare i propri rifiuti in nuove risorse utili per innescare un altro ciclo produttivo.

Ma come si può applicare l'economia circolare ad un data center? Secondo uno studio di Whitehead e coautori (2015) ci sono **quattro aspetti principali** da considerare: 1) la costruzione e la predisposizione della struttura che ospita il data center (l'edificio), 2) la produzione e il trasporto degli apparati tecnologici necessari alla gestione dei dati (server, router, gruppi di continuità, ecc.), 3) l'operatività e l'uso di questi strumenti e 4) la gestione del fine vita (riutilizzo o smaltimento con eventuale recupero dei materiali). È bene precisare che di questi quattro elementi, tre sono sotto il diretto controllo dagli operatori dei data center: la costruzione della struttura, l'uso e il fine vita. La produzione e il trasporto degli apparati tecnologici dipendono dai grandi operatori del settore dell'Information Technology (produttori di chip, server, dischi rigidi, ecc.). In questo caso, gli operatori dei data center possono al massimo influenzare in modo indiretto i produttori selezionando quei prodotti che hanno un impatto ambientale inferiore.

Un approccio circolare consente quindi di andare ben oltre la fase d'uso del data center e di considerare con maggior attenzione sia la fase di costruzione dell'infrastruttura sia la fase di fine vita, ossia la gestione di quelle apparecchiature che se non adeguatamente gestite potrebbero diventare rifiuti elettronici. La gestione della dismissione di questi strumenti non è sempre facile perché server, dischi rigidi e gruppi di continuità elettrica dei data center hanno caratteristiche particolari che non li rendono facilmente riutilizzabili per altri scopi. Un problema che viene ingigantito dall'elevato tasso di rinnovamento nel tempo delle apparecchiature dei data center.

Da un punto di vista metodologico, gli strumenti per poter analizzare effettivamente la circolarità dei data center si basano sul Life Cycle Assessment (LCA), tema che sarà approfondito nel terzo capitolo. In letteratura ci sono ancora pochi studi che hanno provato ad applicare LCA ai data center, segno di ancora una scarsa attenzione verso un'analisi dettagliata degli impatti di questa industria. Allo stesso tempo, gli operatori non sembrano ancora interessati ad utilizzare questo approccio in ragione di una focalizzazione sulla fase d'uso.

6. Obiettivi e metodologia della ricerca

A partire da questa analisi sia della letteratura di riferimento che delle iniziative intraprese dagli operatori, è nata l'idea di condurre una ricerca per provare a comprendere come il mondo dei data center sta affrontando il tema della sostenibilità ambientale lungo la prospettiva dell'economia circolare. La nostra domanda di ricerca parte proprio dalla necessità di avere un quadro preciso di come gli operatori del settore inquadrano questo problema e delle soluzioni che hanno introdotto e introdurranno nel prossimo futuro.

Per rispondere a questa domanda, abbiamo adottato un approccio quali-quantitativo.

Abbiamo dato vita ad una prima ricerca di tipo qualitativo attraverso l'organizzazione di un focus group con cinque responsabili tecnici delle principali aziende italiane che gestiscono data center e che offrono servizio di co-location²¹ e di cloud computing. Questo incontro è stato importante per raccogliere delle prime indicazioni in merito a come le imprese stanno approcciando il tema della sostenibilità ambientale e quali iniziative hanno intrapreso. È emerso che c'è una forte attenzione al tema della sostenibilità e una forte pressione da parte del management/imprenditore ad adottare tutte le soluzioni necessarie per ridurre i consumi di energia. Emblematico a questo proposito quanto ci ha dichiarato un gestore di data center: *“La vera frontiera non è tanto sul contenitore, si può lavorare sulle vernici anche se sono percentuali piccole, il vero driver è oggi su quello che metti dentro il contenitore, su come realizzi le tue infrastrutture informatiche. Perché lì un'architettura intelligente permette di ottenere delle efficienze che un'architettura legacy non consente”*.

²¹ Co-location è un servizio che offrono i gestori alle imprese che vogliono collare i server di proprietà all'interno del data center.

Tuttavia, alcuni operatori hanno segnalato anche dei limiti tecnici all'adozione di alcune pratiche sostenibili, come il ricorso a fonti rinnovabili, nella misura in cui i data center hanno la necessità di essere affidabili in ogni circostanza e devono garantire un funzionamento costante di giorno e di notte. Come ci ricorda un partecipante al focus group questa tensione tra sostenibilità e funzionalità è molto forte: "... perché poi ricordiamoci si diceva tutto green ma poi deve funzionare e quasi non è quasi, è prioritario che deve funzionare". A fronte di iniziative molto importanti prese da diversi gestori sul fronte della sostenibilità, l'approccio circolare non è particolarmente considerato.

Sulla base di questi risultati, abbiamo deciso di sviluppare un'indagine di tipo quantitativo²² realizzando un questionario da indirizzare ai gestori di data center a livello europeo. Abbiamo deciso di concentrarci sul mercato europeo perché è in grande crescita ed è stato meno approfondito rispetto a quello americano. Per poter raggiungere il nostro obiettivo di ricerca abbiamo dovuto costruire l'universo di tutti gli operatori di data center presenti in Europa. Non esistendo ancora una banca dati ufficiale, abbiamo incrociato le informazioni provenienti da siti specializzati e dalle più importanti aziende del settore. In questo modo siamo riusciti a costruire un database composto da 549 organizzazioni europee di data center. Di queste soltanto in 27 casi non siamo riusciti a recuperare le informazioni in merito alla mail per cui il nostro universo di partenza è sceso a 522 imprese.

Tabella 2 – Fonti per la costruzione del database

Nome	Sito Web
Data Center Map	https://www.datacentermap.com
European Data Center Association	https://www.eudca.org/our-members-2/
CISPE101	https://cispe.cloud/members
The Science Based Targets initiative	https://sciencebasedtargets.org/companies-taking-action

²² All'indagine quantitativa hanno contribuito Edoardo Barcaro, laureato magistrale in Business Administration presso l'Università di Padova, che ha curato la costruzione del database e la somministrazione del questionario, e Elham Talebydokti che, in qualità di assegnista di ricerca all'interno del progetto SOS PAM finanziato dall'Università di Padova e dalla Regione del Veneto, ha contribuito alla realizzazione del questionario.

Europe Data Center Market Report 2021-2026 (Cision103)	https://www.prnewswire.com/news-releases/europe-data-center-market-report-2021-2026-increasing-demand-for-high-density-mission-critical-servers-storage-and-network-infrastructure-301259477.html
Top 5 Largest Data Centers in Europe	https://www.racksolutions.com/news/data-center-news/top-5-largest-data-centers-in-europe/
Uptime Institute Issued Tier Certification	https://uptimeinstitute.com/tier-certification/tier-certification-list
Top Cloud Providers in Europe	https://blog.back4app.com/top-cloud-providers-in-europe/
Products in Data Center outsourcing and Hybrid Infrastructure Managed Services	https://www.gartner.com/reviews/market/data-center-outsourcing-and-infrastructure-utility-services-emea
Facebook Data Center Locations	https://baxtel.com/data-centers/facebook
Google Data Center Locations	https://www.google.com/about/datacenters/locations/
AWS Data Center Locations	https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/
IBM Cloud Data Center Locations	https://www.ibm.com/cloud/data-centers/
Apple Data Center Locations	https://baxtel.com/data-centers/apple
Top 25 cloud leaders in Europe	https://150sec.com/top-25-cloud-leaders-in-europe-in-2020/14859/

Abbiamo sviluppato un questionario online composto da 33 domande con l'obiettivo di analizzare molti degli aspetti rilevanti per la sostenibilità ambientale dei data center. In particolare, oltre alle informazioni anagrafiche sull'azienda, abbiamo approfondito gli impegni formali presi sul fronte della sostenibilità e la loro comunicazione, l'entità del ricorso alle energie da fonti rinnovabili, le iniziative sul fronte dell'economia circolare e l'utilizzo di metodologie di analisi ad essa dedicati come LCA. Il questionario è stato inviato via mail nel mese di settembre 2021. Le figure all'interno dell'azienda alle quali il questionario è stato inviato sono: l'imprenditore o il general manager o il responsabile tecnico dell'infrastruttura. Il 13,9% delle imprese contattate, pari a 73 aziende, ha risposto al questionario. Di queste 73 circa cinque 5 sono state eliminate perché incomplete oltre il 50% e siamo arrivati ad un numero di 68 risposte valide che corrisponde al 13% dell'universo.

Inoltre, abbiamo deciso di condurre una ricerca esplorativa su come i data center comunicano sul web il tema della sostenibilità ambientale e le iniziative che hanno preso in questa direzione. I risultati di questa terza parte della ricerca saranno presentati nel paragrafo 8.

Nel prossimo paragrafo discuteremo i risultati della survey.

7. I risultati dell'indagine quantitativa

I data center intervistati sono per la maggior parte, il 60% circa (si veda la Tabella 3), dei provider ossia delle aziende che offrono questo servizio a terzi, principalmente attraverso la modalità della co-location (68%). La parte restante degli intervistati appartiene al mondo dell'information technology e quindi delle aziende che offrono servizi digitali o delle telecomunicazioni come i carrier che offrono servizi di connettività fissa o mobile.

Tabella 3 – Caratteristiche dei data center intervistati

Tipologia di data center	%	Dimensione	%
Data Center provider	60	Meno di 50 dipendenti	57
Information Technology	46	Tra 51 e 250 dipendenti	22
Telecomunicazioni	25	Più di 250 dipendenti	22
Tipologie di servizio offerto		Distribuzione geografica (primi 6 paesi)	
Hosting	43	UK	15
Housing	44	Germania	15
Online services to end consumers	16	Italia	11
Data center provider	59	Russia	7
Colocation provider	68	Norvegia	7
Cloud service provider	53	Svizzera	7
Disaster recovery service provider	40	Hyperscaler	
Managed services	46	Si	38
Data center solutions	63	No	62
Corporate data center	26		

Il 38% dei rispondenti dichiara di avere un data center di classe Hyperscaler che sono le infrastrutture più grandi dimensionalmente e quelle caratterizzate da una maggior efficienza operativa nonché alla base dei servizi di cloud computing più avanzati.

Passando alle priorità che i manager hanno quando progettano un data center, ci sono tre fattori che emergono in modo evidente. La sicurezza dell'infrastruttura (e quindi la continuità di funzionamento nel tempo), l'efficienza energetica e la connettività sono stati indicati come elementi estremamente importanti per la creazione di un data center. La sostenibilità ambientale è anch'essa considerata importante ma ad un livello inferiore rispetto agli altri tre fattori. Anche i costi, che sono un fattore decisivo per un'azienda, possono essere messi leggermente in secondo piano in relazione al funzionamento tecnico del data center (si veda tabella 4).

Tabella 4 – Percezione priorità nella progettazione di un data center

Fattori progettazione dei data center	Per nulla importante	Poco importante	Un po' importante	Neutrale	Moderatamente importante	Molto importante	Estremamente importante
Sicurezza	3,92%	1,96%	0%	1,96%	7,84%	27,45%	56,86%
Efficienza Energetica	5,88%	1,96%	0%	0%	5,88%	31,37%	54,90%
Connettività	5,88%	1,96%	0%	0%	3,92%	35,29%	52,94%
Sostenibilità ambientale	3,92%	1,96%	5,88%	1,96%	21,57%	23,53%	41,18%
Costi	3,92%	1,96%	1,96%	5,88%	7,84%	37,25%	41,18%
Innovazione tecnologica	3,92%	3,92%	0%	5,88%	31,37%	23,53%	31,37%
Livello di automazione	3,92%	1,96%	3,92%	5,88%	27,45%	35,29%	21,57%

Tabella 5 – Percezione importanza fattori green

Fattori Green	Per nulla importante	Poco importante	Un po' importante	Neutrale	Moderatamente importante	Molto importante	Estremamente importante
Efficienze nel raffreddamento	3,92%	1,96%	3,92%	1,96%	0%	31,37%	56,86%
Consumo totale di energia	3,92%	1,96%	1,96%	7,84%	1,96%	29,41%	52,94%
Impatto ambientale complessivo	3,92%	1,96%	1,96%	11,76%	15,69%	21,57%	43,14%
PUE	5,88%	1,96%	1,96%	3,92%	5,88%	37,25%	43,14%
Uso di energie rinnovabili	5,88%	5,88%	0%	11,76%	11,76%	25,49%	39,22%

Investimenti in tecnologie Green	1,96%	3,92%	1,96%	9,80%	27,45%	21,57%	33,33%
Ciclo di vita del data center	3,92%	3,92%	0%	3,92%	21,57%	35,29%	31,37%
Economia circolare legati ai rifiuti elettronici	5,88%	3,92%	5,88%	7,84%	31,37%	19,61%	25,49%

Oltre a queste priorità generali abbiamo chiesto ai manager di indicare quali fattori legati ai temi ambientali prendono maggiormente in considerazione nella progettazione dei loro data center. Come possiamo vedere dalla Tabella 5, i primi due fattori per importanza sono l'efficienza nel processo di raffreddamento dei server e la riduzione del consumo totale di energia. Questi fattori sono tra loro correlati: maggiore è l'efficienza, minore sarà il consumo di energia. Tuttavia, agli elementi che sono invece legati al tema della circolarità come il ciclo di vita e la gestione dei rifiuti si attribuisce minore rilevanza.

Abbiamo chiesto alle imprese quali impegni hanno preso in termini di certificazioni oppure di adesione a codici di condotta e di autoregolamentazione (tabella 6). Quasi il 30% delle imprese non ha ancora adottato nessun tipo di impegno formale per provare a ridurre il proprio impatto ambientale. Le certificazioni più diffuse, come era lecito attendersi, sono quelle appartenenti al mondo ISO. Va segnalato il fatto che il 23% dei rispondenti ha dichiarato di possedere la certificazione per l'acquisto di energia proveniente al 100% da fonti rinnovabili.

Tabella 6 – Impegni espliciti sulla sostenibilità ambientale

Tipologia di impegno	%
ISO 14001/50001/14040	40
Nessun impegno	30
Science-based carbon reduction o Carbon Disclosure Project	26
Climate Neutral Data Centre Pact	23
RE100 (100% rinnovabili)	23
Altro	19
LEED	15
Partner per il rimboschimento	15

The Green Grid	13
ESG	11

Un aspetto importante che abbiamo scoperto con la nostra indagine, e che ha una forte significatività in termini di economia circolare, è il tasso di rinnovamento delle apparecchiature (server, dischi rigidi, gruppo di continuità, ecc.) presenti nel data center. Quasi il 50% dell'impresa dichiara di cambiare il proprio parco macchine nell'arco di 4-5 anni. Solo il 24% delle imprese ha dei tempi di sostituzione più lunghi di 5 anni (Tabella 7). Le ragioni che spingono le imprese ad avere un tasso di rinnovamento così elevato sono due: risparmio energetico e continuità di servizio. Le nuove apparecchiature consumano meno energia e tollerano temperature di esercizio sempre più alte. Inoltre, cambiandole spesso si riducono i rischi di eventuali malfunzionamenti e i costi di manutenzione.

Tabella 7 – Aggiornamento data center

Aggiornamento Data Center	%
Più di 5 anni	24
4-5 anni	48
2-3 anni	19
Ogni anno	10

Per quanto riguarda l'adozione di buone pratiche legate all'economia circolare, le imprese cercano di adottare più soluzioni. Ad esempio, puntano a riutilizzare i server, laddove possibile, all'interno dell'azienda stessa oppure a rivenderli sul mercato ad altre aziende. Tuttavia, solo il 38% ha siglato delle partnership con aziende certificate nel riciclo dei rifiuti elettronici. Il 10% delle imprese conferisce le apparecchiature in discarica senza nessuna possibilità di riciclo (Tabella 8).

Tabella 8 – Azioni legate all'economia circolare

Azioni in ambito economia circolare	%
Riutilizzo dell'hardware in azienda	48
Rivendita hardware	48

Partnership con aziende certificate per il riciclo di prodotti elettronici	38
Riciclo interno seguendo gli standard internazionali	29
Smaltimento senza riciclo	10
Partnership con aziende non certificate per il riciclo di prodotti elettronici	7
Riciclo interno non seguendo gli standard internazionali	7

Come abbiamo visto sopra, la metodologia LCA è un importante strumento sia per aumentare la consapevolezza delle imprese in merito all'impatto delle loro azioni sia per intraprendere iniziative volte alla riduzione degli impatti stessi. L'applicazione della LCA ad un data center può essere quindi considerata come il primo passo verso un approccio di tipo circolare. I risultati ottenuti dalla nostra indagine sono incoraggianti. Solo un terzo dei data center (31%) ha dichiarato di non aver ancora adottato questa metodologia a fronte di una quasi uguale percentuale (33%) che, invece, ha già usato LCA.

Tabella 9 – Adozione LCA

Adozione LCA	%
Sviluppando/prendendo in considerazione	36
Sì	33
No	31

I dati presenti nella Tabella 10 mostrano come le iniziative di Green Data center siano abbastanza diffusi. Dal punto di vista delle soluzioni tecniche adottate, i corridoi caldo e freddo sono l'opzione più utilizzata, seguito dal raffreddamento ad aria, dai server a basso consumo, dai data center modulari e dal riutilizzo del calore. L'umidificazione ad ultrasuoni è l'opzione meno utilizzata, con solo il 2%. Come si può vedere chiaramente, l'attenzione dei gestori dei data center è quella di aumentare l'efficienza intervenendo in una delle aree più problematiche: la gestione del calore. La costruzione dei corridoi caldi e freddi è diventata oggi uno standard a livello internazionale per ridurre i consumi e migliorare il PUE.

Tabella 10 – Iniziative di Green Data Center

Iniziative di green data center	%
Corridoi caldi e freddi	81
Raffreddamento ad aria	52
Server a basso consumo	45
Data center modulari	40
Riutilizzo del calore	38
Raffreddamento per evaporazione	21
Altro	5
Umidificazione ad ultrasuoni	2

Infine, abbiamo chiesto ai gestori dei data center una previsione in merito a quanto il tema della sostenibilità dei data center sarà rilevante in futuro. In particolare, abbiamo provato a capire se i gestori dei data center si aspettano richieste sempre più stringenti in termini di rispetto di standard sulla sostenibilità da parte dei clienti. Quasi il 70% dei gestori (40% d'accordo e 29% fortemente d'accordo) dichiara di attendere una crescente richiesta da parte del mercato del rispetto di richieste più stringenti in ambito ambientale (Tabella 11). Si tratta di un risultato importante per due ragioni: la prima è che questo porterà i data center ad investire lungo la direzione della sostenibilità, la seconda è che il mercato sta diventando sempre più attento e consapevole degli impatti ambientali di queste strutture.

Tabella 11 – Percezione delle richieste dei clienti in futuro

Siete d'accordo con questa affermazione: "i nostri clienti richiederanno di rispettare standard di sostenibilità ambientale più severi nel prossimo futuro"?	%
Fortemente in disaccordo	5
Disaccordo	2
Un po' in disaccordo	5
Neutrale	7
Un po' d'accordo	12
D'accordo	40
Fortemente d'accordo	29

8. Comunicare la sostenibilità online²³

Oltre alla survey nel 2022 abbiamo anche realizzato un'indagine di tipo esplorativo in merito a come i gestori di data center comunicano i temi della sostenibilità attraverso il sito web aziendale. In particolare, gli obiettivi della ricerca sono stati due: capire come i data center affrontano il tema di sostenibilità e quali tipo di impegni hanno preso per ridurre il proprio impatto. Per raggiungere questi obiettivi abbiamo adottato una metodologia innovativa. Partendo dal database dei data center elaborato per la survey, abbiamo realizzato un dataset originale contenente i testi dei siti web recuperati attraverso le tecniche di Web Scraping. Successivamente abbiamo analizzato i risultati utilizzando strumenti di analisi del testo e tecniche di apprendimento automatico. In particolare, abbiamo analizzato il contenuto dei siti web utilizzando un approccio di tipo Bag of Word e il metodo di classificazione TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) (Jones, 1972). Questa metodologia ci ha permesso di creare un indice della presenza e dell'intensità di comunicazione della sostenibilità ambientale di ogni sito web.

Abbiamo scelto di concentrarci sui siti web perché, soprattutto per aziende che forniscono servizi digitali, rappresenta uno strumento fondamentale per la comunicazione verso i clienti e il mercato. Siamo partiti dall'assunzione che è nell'interesse dell'azienda fornire una rappresentazione accurata di sé attraverso i siti web e che quindi le aziende che maggiormente sono attive sul fronte della sostenibilità tenderanno a comunicarlo in modo più preciso e approfondito.

Questo approccio porta molti vantaggi: a) ci consente di raccogliere le informazioni provenienti dai siti web in modo poco costoso (Gök et al., 2015), b) le informazioni sono per la loro natura pubblicamente disponibili e aggiornate, c) a differenza di altre metodologie, la raccolta di dati dal web è non intrusiva e non richiede una partecipazione del soggetto (data center).

Partendo dal nostro database contenente 522 aziende, siamo riusciti a recuperare il sito web di 342 data center. La ragione di questa riduzione del numero di partenza è dovuta al fatto che molti data center, soprattutto quelle di realtà più piccole e locali, non hanno una versione del sito in inglese che è stata la lingua di base utilizzata per l'indagine.

I dati sono stati ottenuti utilizzando QIBA (Quantitas Intelligent Business Analyzer), uno strumento di web crawling e scraping. Il testo è quindi

²³ Questa seconda parte della ricerca è stata realizzata grazie al contributo di Shira Fano e Gianluca Toschi della Fondazione Nordest.

stato preparato per creare un corpus da analizzare rimuovendo i simboli, punteggiatura, i maiuscoli ecc.

L'approccio Bag of Words (BOW) consente di stimare la rilevanza di un argomento (la sostenibilità) in un documento (sito web) in base alla frequenza di un determinato insieme (bag) di parole preselezionate (Zhang et al., 2010). Data la complessità del concetto di sostenibilità, abbiamo identificato e analizzato cinque sotto-argomenti: metriche, fattori verdi, impatti, economia circolare e certificazioni. In particolare, data la frequenza delle parole in ogni BOW, abbiamo calcolato l'indicatore TF-IDF (frequenza dei termini - frequenza inversa dei documenti) che ci permette di classificare i siti web delle aziende rispetto ad un determinato sottoinsieme di parole legate alla sostenibilità.

Per identificare le sotto-categorie, abbiamo adottato un approccio ibrido che prevede una procedura in due fasi. Nella prima fase abbiamo utilizzato un approccio qualitativo basato sul lessico e abbiamo indentificato le parole chiave legate alla sostenibilità per i cinque panieri: metriche, fattori verdi, impatti, economia circolare e certificazioni. Nella seconda fase abbiamo utilizzato una metodologia di word embedding per arricchire i panieri iniziali. In particolare, abbiamo utilizzato word2vec (Mikolov, T. et al., 2013), una delle più diffuse tecniche di word embedding. Questa tecnica permette sia di recuperare termini inizialmente sfuggiti al ricercatore, sia di ricercare i termini nella lingua specifica del corpus analizzato.

Nella fase di analisi dei risultati, abbiamo utilizzato la metodologia TF-IDF²⁴ per classificare i siti web in base all'intensità della loro comunicazione sulla sostenibilità. Il presupposto è che maggiore è la frequenza di un certo termine, maggiore è la sua importanza per l'azienda. L'idea che sta alla base di questa classe di schemi di ponderazione è che maggiore è la frequenza di un determinato termine (TF-term frequency), maggiore è l'enfasi che l'azienda gli pone, quindi più importante è per l'azienda. L'indicatore tiene in considerazione anche la "rarietà dei termini": il punteggio TF-IDF per un termine è più alto quando questo appare solo in un numero limitato di siti Web (IDF- inverse document frequency). Quindi, quando un termine appare su quasi tutti i siti Web, il suo punteggio TF-IDF è più basso.

I risultati raccolti sono interessanti. Come si può vedere dalla Tabella 13, nelle prime posizioni dell'indice costruito dall'analisi dei testi, non

²⁴ Questo il modello utilizzato $TFIDF(t,d,D) = tf(t,d) * idf(t,D) = tf(t,d) * \log(N/nt)$, dove per N si intende numero di documenti, nt numero di documenti contenenti una determinata parola. È stata utilizzata la versione di Paik (2013) che tiene conto di diverse dimensioni del sito web e lunghezze del basket

compaiono solo le grandi aziende del settore come Google (13°) e IBM (14°), ma anche realtà di minore dimensione con Nlyte Software e DigiPlex che nei loro siti presentano le molte iniziative che hanno intrapreso in termini di sostenibilità ambientale. Sono proprio queste realtà meno conosciute e di minori dimensioni ad aver scommesso fortemente sul tema della sostenibilità ambientale come elemento differenziante sul mercato.

Tuttavia, allargando lo sguardo e analizzando la distribuzione, possiamo riscontrare che la distribuzione è asimmetrica è metà di essa si concentra su valori bassi del TF-IDF come si può evincere dalla Figura 3. Questo significa che a fronte di poche aziende particolarmente attente a queste tematiche, la maggior parte dei data center dedica nei siti web poco spazio alle tematiche ambientali.

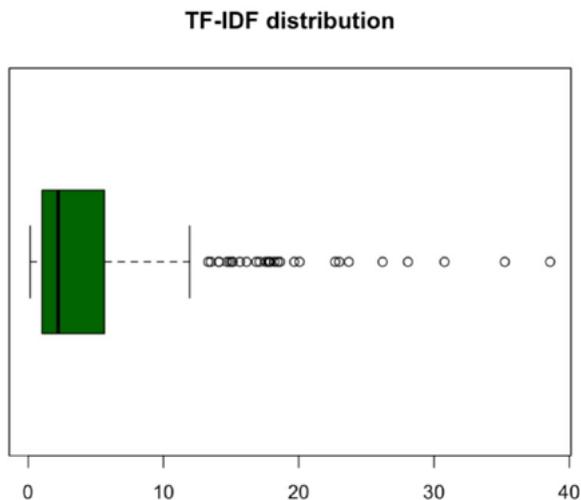
Tabella 12 – Bags of Worlds

Metrics	Green Factors	Footprint	Circular Economy	Certifications
carbon usage effectiveness	clean energy	carbon	circular	certified energy efficient datacenter award
data center infrastructure efficiency	environmental policy	carbon emissions	circular economy	green globes building certification
renewable energy factor	environmental report	carbon footprint	disposal	materials analytical services certified green
cue - Carbon Usage Effectiveness	geothermal	carbon free	dispose	building energy innovators council
dcie - Data Center Infrastructure Efficiency	geothermal energy	carbon neutral	e-waste management	building energy innovators council
electronics disposal efficiency	hydro	carbon reduction	life cycle assessment	ceeda
efficiency metrics	hydroelectric	climate neutral	lifecycles	certification
electronics disposal efficiency	recycle heat	co2 emission	recycle	certified
energy consumption	renewable energy	decarbonisation	recycled	certified recycling company
energy efficiency	renewables	decarbonizing	repair	climate neutral data center
energy reuse effectiveness	solar	dioxide	repairing	climate neutral data center pact
energy use	solar energy	emission	repairs	fossil free data
energy used	water conservation	emissions	reuse	gbi
energy reuse effectiveness	wind	environmental footprints	reused	green building initiative
green energy coefficient	wind energy	environmental impacts	waste	green certification
green energy coefficient metric		footprint		iso 14001
power usage effectiveness		greenhouse		iso 14040
power usage effectiveness		greenhouse gas emissions		iso 50001
ref- Renewable Energy Factor		low carbon		iso 14001
sustainability metrics				iso 50001
water consumption				leadership in energy and environmental design
				leadership in energy and environmental design
water usage				mas certified green (Materials Analytical Services) Certified
water usage effectiveness				Green® certifies low VOC (volatile organic compound)
wue - Water Usage Effectiveness				emitting products and materials
				sustainability certification

Tabella 13 – Indice dei risultati

Etichette di riga	Rank	2 Metrics	3 Green Factors	4 Footprint	5 Circular Economy	6 Certifications	Totale
NlyteSoftware	1	13,88	2,08	5,30	4,51	12,81	38,58
DigiPlex	2	6,71	10,43	9,39	5,31	3,38	35,23
CONAPTO	3	2,17	10,59	7,28	4,35	6,38	30,77
Lamda Helix	4	11,87	3,56	6,22	1,36	5,06	28,07
Echelon Data Centres	5	3,62	5,68	10,58	6,32		26,20
Lefdal Mine Data Center	6	5,49	5,67	8,33	2,54	1,67	23,70
Green Mountain Data Center	7	4,27	5,98	5,81	5,63	1,30	22,99
Dassault Systemes (DELMIAworks)	8	1,30	3,60	8,80	8,38	0,61	22,69
Atos	9	1,06	4,26	7,65	6,21	0,88	20,06
Submer	10	11,20	0,29	5,81	2,15	0,22	19,67
Tele2 AB	11	1,95	2,18	8,19	6,14	0,14	18,61
Telia Company AB	12	0,49	2,91	9,15	5,81	0,10	18,44
Google	13	1,77	3,74	6,66	4,33	1,70	18,20
IBM	14		6,50	5,99	4,80	0,60	17,89
Turk Telecom	15	2,86	4,43	5,80	2,20	2,51	17,81
EnerKey	16	3,28	1,27	5,32	5,53	2,35	17,75
Vodafone Group Plc	17	1,30	1,92	5,66	7,38	1,28	17,55
Ark Data Centres	18	3,97	2,06	6,44	1,40	3,22	17,10
Kao Data	19	2,25	3,93	6,81		3,89	16,87
Capacity Media	20	2,37	1,48	8,07	1,97	2,26	16,15
Verne Global	21		11,15	3,99		0,51	15,65
HPE	22	1,59	2,37	3,74	6,93	0,50	15,12
Workspace Technology	23	4,31	1,37	6,62	1,57	1,21	15,07
Telenor Group	24	1,03	4,80	7,52	1,56		14,90
Orange	25	1,31	2,01	5,13	6,15	0,12	14,71
EcoDataCenter	26	3,91	3,39	4,63	1,02	1,18	14,12
NDC-GARBE	27	5,34	3,30	3,75	1,71		14,09
Cisco Systems	28	0,87	2,28	5,29	4,39	0,67	13,50

Figura 3 – Distribuzione indice TF-IDF



Abbiamo, inoltre, provato a capire se la localizzazione geografica dei data center influenzasse l'attenzione al tema della sostenibilità e al modo

nel quale il tema viene comunicato sui siti web. Suddividendo i data center in base alla loro appartenenza ad una delle quattro macroaree geografiche (Nord, Est, Sud, Ovest Europa), abbiamo scoperto che in media le imprese del Nord Europa comunicano maggiormente il tema della sostenibilità.

Infatti, la mediana in merito a tutti e cinque BOW è superiore alle altre tre aree geografiche, come si può vedere nella Tabella 14.

Infine, abbiamo provato a verificare la coerenza tra una maggiore propensione a comunicare i temi della sostenibilità e l'adozione di iniziative concrete come l'ottenimento delle certificazioni. In sostanza, volevamo verificare se si presentasse il rischio di greenwashing ossia dell'uso ingannevole della comunicazione attraverso il sito web al fine di promuovere la falsa impressione che l'azienda sia impegnata nell'ambiente. Per evitare questo rischio, abbiamo provato a calcolare delle correlazioni prendendo come variabile dipendente la sotto-categoria certificazioni ambientali. L'obiettivo di questo tipo di analisi è capire se i data center che parlano maggiormente di tematiche ambientali sono anche quelli che hanno fatto un ricorso maggiore alle certificazioni ambientali.

Tabella 14 – Indice TF-IDF per area geografica

Northern Europe				Western Europe			
	1st Qu.	Median	3rd Qu.		1st Qu.	Median	3rd Qu.
Metrics	1,10	1,90	3,30	Metrics	0,60	1,80	2,88
Green factors	0,20	0,90	2,18	Green factors	0,20	0,25	1,43
Footprint	0,60	1,80	5,10	Footprint	0,60	1,90	2,70
Circular economy	0,53	1,00	1,78	Circular economy	0,58	0,90	1,50
Certifications	0,50	0,80	2,20	Certifications	0,50	0,70	1,23

Eastern Europe				Southern Europe			
	1st Qu.	Median	3rd Qu.		1st Qu.	Median	3rd Qu.
Metrics	0,60	1,20	2,00	Metrics	0,50	0,95	2,03
Green factors	0,20	0,20	0,20	Green factors	0,20	0,50	1,35
Footprint	0,40	0,60	1,63	Footprint	0,50	1,30	2,65
Circular economy	0,60	0,70	1,30	Circular economy	0,50	0,80	1,60
Certifications	0,30	0,40	0,70	Certifications	0,38	0,65	1,48

I risultati dell'analisi sembrano confermare questa ipotesi. Come è visibile dalla Tabella 15, i siti web che discutono in modo più intenso di tematiche ambientali sono anche quelle che hanno ottenuto maggiori certificazioni.

Tabella 15 – Correlazioni tra sotto-categorie

	<i>Dependent variable:</i>				
	Metrics			Certifications	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Green factors	0.337*** (0.118)				0.229** (0.102)
Footprints		0.295*** (0.063)			-0.091 (0.083)
Circular eco			0.308*** (0.097)		-0.027 (0.097)
Metrics				0.453*** (0.050)	0.452*** (0.068)
Constant	1.152*** (0.311)	0.766*** (0.246)	1.068*** (0.222)	0.477*** (0.116)	0.470 (0.298)
Observations	102	130	138	157	69
R ²	0.075	0.146	0.069	0.346	0.474
Adjusted R ²	0.066	0.140	0.062	0.342	0.441

Note: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

9. Conclusioni

La nostra ricerca ci permette di tracciare un primo bilancio di come i data center stanno affrontando il tema della sostenibilità ambientale e dell'economia circolare. Sono quattro i temi principali che emergono. Il primo riguarda la consapevolezza dell'impatto che hanno strutture di data center sull'ambiente. Gli operatori, oggi, sono particolarmente sensibili al tema, pur riconoscendo le difficoltà di bilanciare la sostenibilità ambientale con le necessità tecniche e funzionali di un data center. Sappiamo, infatti, quanto la continuità del servizio non possa essere messa in discussione e quindi le diverse iniziative sul fronte della sostenibilità debbano tenerne conto. Il mercato difficilmente potrebbe accettare un compromesso tra funzionalità e sostenibilità. Il consumatore finale considera come acquisita la continuità del servizio dei data center.

Il secondo aspetto riguarda la direzione degli investimenti. La ricerca ha messo in luce che gli operatori stanno investendo su efficienza energetica e ricerca di energia da fonti rinnovabili. Le nuove tecniche di progettazione (es. corridoi caldi e freddi) e l'investimento in apparecchiature

di ultima generazione (es. server) che hanno consumi più contenuti rispetto al passato. Sostenibilità economica e sostenibilità ambientale in questo caso si sovrappongono. Puntando sull'efficienza dei data center si riducono i consumi e quindi si riduce l'impatto sull'ambiente. Allo stesso tempo, gli operatori di data center hanno iniziato importanti investimenti sul fronte delle energie rinnovabili. Questi investimenti possono essere raggruppati in due categorie: diretti e indiretti. Gli investimenti diretti consistono nella costruzione o acquisizione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili (idroelettrici, solare ed eolico). Indiretti attraverso l'acquisto da fornitori qualificati che garantiscono la provenienza da fonti rinnovabili dell'energia acquistata.

Il terzo tema riguarda il modo nel quale gli operatori dei data center stanno affrontato le sfide dell'economia circolare. In questo caso i risultati sono meno positivi di quello che era legittimo aspettarsi. Gli operatori hanno concentrato le loro azioni sulla fase d'uso del data center e hanno difficoltà ad avere una visione del proprio impatto che vada oltre i confini aziendali. Tuttavia, come la survey ha messo in evidenza, inizia a diffondersi maggiore consapevolezza per quanto riguarda la gestione del fine vita ed in particolare dei rifiuti elettronici. Visto l'elevato tasso di sostituzione (tra i 3 e i 5 anni), la modalità di gestione e riutilizzo delle apparecchiature dismesse diventerà un elemento sempre più importante. L'applicazione della metodologia LCA è ancora poco diffusa e questo non aiuta gli operatori del settore a conoscere con precisione tutti i possibili impatti del data center e ad avere un approccio circolare. È legittimo attendersi che, visto l'importanza che i data center hanno per il funzionamento della rete e considerato il loro crescente consumo di energia elettrica, l'attenzione verso un approccio circolare crescerà nel prossimo futuro.

Infine, il quarto tema riguarda la comunicazione. A livello europeo, i data center non dedicano, in media, particolare attenzione agli aspetti ambientali nei siti web. Allo stesso tempo, gli operatori che invece puntano sulla comunicazione delle loro iniziative legate alla sostenibilità ambientale lo fanno in modo approfondito, dedicando molto spazio al tema. Inoltre, sulla base delle nostre ricerche, gli operatori più attivi nella comunicazione della sostenibilità sono anche quelli che sembrano aver investito concretamente lungo questa direzione.

Bibliografia

al Kez, D., Foley, A. M., Lavery, D., del Rio, D. F., & Sovacool, B. (2022). Exploring the sustainability challenges facing digitalization and in-

- ternet data centers. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133633. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133633>
- Andrae, A., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117–157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>
- Andrae, A. S. G. (2020). New perspectives on internet electricity use in 2030. *Engineering and Applied Science Letters*. <https://doi.org/10.30538/psrp-easl2020.0038>
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018a). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018b). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.239>
- Cowls, J., Tsamados, A., Taddeo, M., & Floridi, L. (2021). The AI gambit: leveraging artificial intelligence to combat climate change—opportunities, challenges, and recommendations. *AI and Society*. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01294-x>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 143, pp. 757–768). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gök, A., Waterworth, A., & Shapira, P. (2015). Use of web mining in studying innovation. *Scientometrics*, 102(1), 653–671. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1434-0>
- Hintemann, R. (2020). *Data centers 2018. Efficiency gains are not enough: Data center energy consumption continues to rise significantly - Cloud computing boosts growth*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26033.40800>
- IEA. (2017). *Digitalization & Energy*.
- Jones, K. S. (1972). A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval J. Document. (1972). *J. Document*.
- Malmodin, J., Moberg, A. S., Lundén, D., Finnveden, G., & Lövehagen, N. (2010). Greenhouse gas emissions and operational electricity use in the ICT and entertainment & Media sectors. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 770–790. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00278.x>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020a). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481),

984–986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>

- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020b). Recalibrating global data center energy-use estimate. *Science*, 367(6481), 984–986. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09809-8>
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G. and Dean, J. (2013), “Efficient estimation of word representations in vector space”, 1st International Conference on Learning Representations, ICLR 2013 – Workshop Track Proceedings, doi: 0.48550/arxiv.1301.3781.
- Obringer, R., Rachunok, B., Maia-Silva, D., Arbabzadeh, M., Nateghi, R., & Madani, K. (2021). The overlooked environmental footprint of increasing Internet use. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105389. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105389>
- Shehabi, A., Smith, S. J., Masanet, E., & Koomey, J. (2018). Data center growth in the United States: Decoupling the demand for services from electricity use. *Environmental Research Letters*, 13(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaec9c>
- Statista. (n.d.). *Amount of data created, consumed, and stored 2010-2025*. Retrieved February 24, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>
- The Shift Project. (2019). *LEAN ICT- Towards digital sobriety*. <https://the-shiftproject.org/en/article/lean-ict-our-new-report/>
- Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K., & Manso, G. F. (2020). *The Computational Limits of Deep Learning*. <http://arxiv.org/abs/2007.05558>
- Urgaonkar, R., Urgaonkar, B., Neely, M. J., & Sivasubramanian, A. (2011). Optimal Power Cost Management Using Stored Energy in Data Centers. *Proceedings of the 2011 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems: June 7-11, 2011, San Jose, California, USA*, 364.
- Whitehead, B., Andrews, D., & Shah, A. (2015). The life cycle assessment of a UK data centre. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 332–349. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0838-7>
- Zhang, Y., Jin, R., & Zhou, Z. H. (2010). Understanding bag-of-words model: A statistical framework. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1(1–4), 43–52. <https://doi.org/10.1007/s13042-010-0001-0>

Il ruolo delle catene globali del valore per la sostenibilità dei data center: sfide e traiettorie di sviluppo

Eleonora Di Maria

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali “Marco Fanno” – Università di Padova

Valentina De Marchi

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali “Marco Fanno” – Università di Padova

1. Promuovere la sostenibilità ambientale nelle catene globali del valore

1.1 Leggere la globalizzazione: un'introduzione alle catene globali del valore

Le catene globali del valore (CGV) sono un concetto teorico molto utile per approfondire il tema della sostenibilità ambientale dei data center. Attraverso questo strumento è possibile analizzare nel dettaglio tutti quei passaggi che vanno dalla materia prima alla realizzazione delle apparecchiature elettroniche ed elettriche necessarie al funzionamento di un data center. Come abbiamo visto nel primo capitolo, questo è un aspetto molto sottovalutato nella valutazione di impatto ambientale dei data center. Prima però di capire come le CGV possono essere applicate in questo contesto è necessario fare un passo indietro e approfondire che cosa sono le CGV.

La prospettiva delle catene globali del valore (CGV) permette di leggere, analizzare ed interpretare i processi di globalizzazione delle imprese e dei territori, evidenziando come le attività economiche nelle industrie sono organizzate a livello territoriale e quali siano gli attori che possano guidare e coordinare attività produttive e distributive sempre più frammentate a livello internazionale (Ponte et al., 2019).

Secondo i dati WTO¹, fatto 100 l'export totale a livello mondiale (esclusi i carburanti), il 50% è da attribuirsi a input e semilavorati - una quota che è rimasta costante nell'ultimo decennio, ma è cresciuta di molto rispetto ai decenni precedenti. Questi beni intermedi si riferiscono agli input utilizzati per produrre un prodotto finale e sono un indicatore dell'attività nelle catene di approvvigionamento globali.

L'analisi delle CGV avviene a due livelli: globale e locale e su sei dimensioni (Fernandez-Stark & Gereffi, 2019). A livello globale vengono identificate le connessioni tra i diversi fattori che connettono le imprese - gli stati o le regioni - per la realizzazione dei diversi prodotti, attraverso le relazioni input-output (ad esempio la produzione di cotone come materia prima per la produzione di tessuti). L'analisi merceologica viene affrontata poi in chiave geografica, per comprendere e spiegare i flussi di import-export a livello internazionale in relazione alle strategie delle singole imprese, al ruolo della regolazione e degli accordi istituzionali e alle politiche territoriali.

Particolare rilevanza in questo quadro è data dalla *governance* delle CGV che descrive la presenza e il ruolo di imprese guida (*lead firm*) all'interno della struttura dell'industria (Gereffi 1999, Gereffi et al., 2005). Le imprese guida o imprese leader sono quelle imprese che per competenze, risorse esclusive (R&D o brand), scala giocano un ruolo di primo piano nel definire le modalità attraverso cui si strutturano i processi di produzione e di vendita (si crea e ci si appropria del valore) nelle rispettive industrie. Accanto alle imprese di produzione un contributo importante degli studi di CGV è stato quello di aver sottolineato il ruolo delle imprese di distribuzione (*retail*) e delle imprese con marca (*brand marketer*) nel definire e controllare tutti i processi di sviluppo dei prodotti e di commercializzazione secondo una logica di divisione del lavoro in cui la manifattura ha di norma un valore più basso rispetto alle altre della "smiling curve" (R&D, design, logistica, marketing e vendite). Come evidenziano le diverse analisi a livello mondiale nel corso degli anni '90 e in maniera più intensa nel corso degli anni 2000, il commercio mondiale è cresciuto per

¹ Si veda https://www.wto.org/english/news_e/news23_e/stat_01feb23_e.htm

effetto di intensi processi di outsourcing guidato dalle imprese leader dei paesi avanzati, che hanno progressivamente spostato in paesi a più basso costo del lavoro fasi delle produzioni (Gereffi & Staritz, 2010).

A questa dimensione globale (“top-down”) viene abbinata la visione locale (“bottom-up”) in cui invece si evidenziano i processi attraverso cui le imprese che partecipano alle CGV – in particolare fornitori (e paesi) che controllano poco valore aggiunto – possono spostarsi nella catena del valore verso attività a maggiore valore aggiunto. Con il termine *upgrading* ci si riferisce alle strategie che le imprese, i paesi o le regioni mettono in atto per orientarsi verso attività a più alto valore, sfruttando opportunità di apprendimento derivanti dalla partecipazione a CGV trainate da lead firm competenti quanto a mercati e processi (Pietrobelli & Rabellotti, 2011). In questo contesto, contano anche le istituzioni locali e il sistema degli stakeholder a supporto delle azioni dei singoli.

1.2 I processi di *upgrading ambientale*

Nell’ambito delle catene globali del valore l’investimento sul fronte della sostenibilità ambientale viene interpretato in termini di *environmental upgrading* o riposizionamento verso l’alto nell’ambito della catena del valore attraverso l’attenzione verso gli aspetti ambientali (Khrisnan et al., 2023). Questa strategia è definita come “il processo attraverso il quale gli attori economici si muovono verso un sistema di produzione che evita o riduce il danno ambientale dei loro prodotti, processi o sistemi di gestione” oppure, in una prospettiva più ampia, come “un processo attraverso il quale gli attori modificano o alterano i sistemi e le pratiche di produzione che generano impatti ambientali positivi (o riducono quelli negativi)” (De Marchi et al., 2019).

L’approccio verso la sostenibilità ambientale in termini di *upgrading* può riguardare:

- miglioramenti di processo: eco-efficienza attraverso la riorganizzazione dei sistemi di produzione o l’uso di tecnologie superiori (per esempio, riduzione dell’energia o dei materiali usati per unità di produzione);
- miglioramenti di prodotto: lo sviluppo di linee di prodotto sofisticate e rispettose dell’ambiente (ad esempio, l’uso di input riciclabili, riciclati o naturali, la de-materializzazione dei prodotti, l’assenza di materiali tossici o impattanti);
- miglioramenti organizzativi: miglioramento organizzativo attraverso il modo complessivo di fare affari e di gestire l’orga-

nizzazione, spesso collegato al raggiungimento di standard e certificazioni (come la ISO 14001 dell'International Organization for Standardization che specifica i requisiti di un sistema di gestione ambientale).

L'approccio delle catene globali del valore sottolinea come vi siano diversi fattori alla base del miglioramento della sostenibilità ambientale, riassumibili in tre tipologie distinte:

- a) i driver che sono esterni all'azienda (cioè i consumatori, le Organizzazioni Non Governative (ONG), i movimenti ambientalisti correlati che spingono l'azienda a conformarsi o a diventare verde), comprese le politiche nazionali o internazionali che mirano agli obiettivi ambientali (ad es, il pacchetto sull'economia circolare dell'Unione Europea, gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite);
- b) i driver che vengono definiti dalle aziende leader che fanno pressione sui loro fornitori lungo la catena;
- c) i driver che sono interni all'azienda - azienda leader o fornitore - che coinvolgono l'esecuzione di aggiornamenti che migliorano il funzionamento all'interno dell'azienda, come migliorare la consapevolezza ambientale tra il personale, integrare l'ambiente negli obiettivi strategici dell'azienda, e/o sviluppare un vantaggio competitivo basato sulle caratteristiche ambientali di prodotti o processi.

In particolare, i fattori di stimolo al miglioramento ambientale all'interno della catena del valore connessi alle imprese leader si riferiscono alle pratiche e alle richieste poste da aziende guida nelle GVC. Questi sono spesso acquirenti principali (o acquirenti globali), come le catene di vendita al dettaglio o i brand, che sono interessati a garantire migliori prestazioni ambientali lungo la loro catena del valore. Le imprese leader possono stimolare il miglioramento ambientale lungo le catene del valore incoraggiando i fornitori a intraprendere l'innovazione ambientale. Usando il loro potere di mercato, le imprese leader impongono ai loro fornitori degli standard che possono essere codici di condotta privati o standard di sostenibilità volontari sviluppati da attori non aziendali.

Le imprese leader possono svolgere una funzione di spinta verso la sostenibilità ambientale secondo la prospettiva *standard-driven*, o (anche) attraverso un approccio *mentoring-driven*. In questo secondo caso il ruolo delle *lead firm* è quello di stimolare ed accompagnare, per mezzo di un approccio collaborativo che si basa su interazioni personali, i fornitori di

primo e secondo livello. Le transazioni con i fornitori sono complesse e gestite attraverso la fiducia, la reputazione e le interazioni faccia a faccia. Tutti gli attori sono reciprocamente dipendenti dalla conoscenza e dalle competenze: l'azienda principale esercita la leadership sulla conoscenza ambientale, mentre i fornitori hanno un vantaggio sulla conoscenza tecnica. I problemi ambientali e le loro soluzioni sono considerati caso per caso e non devono necessariamente adattarsi a metriche facili da misurare.

Questa seconda prospettiva riconosce il ruolo pro-attivo che può essere esercitato da un fornitore nel percorso di sostenibilità ambientale, valorizzando le competenze tecniche e la conoscenza di prodotto o di processo di cui dispone il fornitore (Di Maria & De Marchi, 2019). Anche ai fini della sostenibilità ambientale i fornitori possono adottare strategie specifiche per modificare i loro prodotti, i processi produttivi o i processi organizzativi, dove la direzione strategica è definita dallo stesso fornitore e non necessariamente guidata solo dall'azienda leader. In questo contesto l'orientamento verso la sostenibilità da parte dei *buyer* può trovare un riscontro positivo proprio in relazione alla capacità del fornitore di poter avviare o sviluppare un approccio sostenibile ai propri processi e prodotti, anche in modo collaborativo.

L'innovazione ambientale connessa all'*upgrading* all'interno delle catene del valore supporta un approccio aperto alla sostenibilità e richiede una forte collaborazione tra gli attori della catena del valore per raggiungere pienamente il miglioramento ambientale prefissato.

2. IT, data center e struttura delle catene globali del valore

2.1 La catena globale del valore dei data center

Gli studi sulle CGV hanno evidenziato come nell'ambito della produzione delle tecnologie informatiche prevalga una forte frammentazione a livello geografico e di fornitori coinvolti. Le localizzazioni all'interno di specifiche industrie globali sono passate da una specializzazione industriale a una specializzazione funzionale (Turkina et al., 2016; Timmer et al., 2019) e le imprese leader di una serie di industrie ad alta intensità di conoscenza condividono sempre più spesso fornitori globali comuni (Sturgeon, 2002; Sturgeon & Lester, 2004).

In pratica, nell'ambito dello "smile", grandi player mondiali come Apple o Cisco controllano lo sviluppo del prodotto (hardware) nelle sue

componenti di design e R&D e la parte connessa alla distribuzione, mentre le fasi di produzione sono gestite da produttori OEM (Original Equipment Manufacturer) che realizzano “chiavi-in-mano” il prodotto ricorrendo fortemente all’esternalizzazione per le diverse decine o centinaia di componenti. Rispetto ad altre industrie come la moda, in cui i brand hanno un forte potere verso i propri fornitori e gestiscono le relazioni lungo la catena del valore con modalità “captive”, al contrario nell’IT si è affermata una forma di governance incentrata sulla modularità (Sturgeon et al., 2008; Thun et al., 2022).

Le modalità di coordinamento modulare si contraddistinguono per una maggiore autonomia dei fornitori rispetto all’impresa leader, con un elevato grado di specializzazione e in cui l’alto grado di codificazione delle informazioni e la presenza di interfacce comuni favorisce la possibilità che i fornitori possano definire un’offerta di un componente in modo più indipendente rispetto ad altre catene del valore e semplifica l’integrazione che avviene al primo livello (Tier-1) della fornitura. Nella produzione di hardware i fornitori sono in grado di sviluppare processi di innovazione anche in modo indipendente dall’impresa leader; inoltre nel corso degli ultimi 20 anni si sono affermate diverse traiettorie di specializzazione a livello internazionale (Lema et al., 2021). Alcuni paesi produttori hanno visto rafforzare la propria capacità innovativa (tra il 2005 e il 2015) con una maggiore focalizzazione produttiva interna e quindi riduzione nell’impegno dentro le CGV (sei Paesi che corrispondono al 30% del mercato globale e includono importanti produttori come la Corea del Sud, Taiwan e gli Stati Uniti). In altri casi invece le traiettorie prevedono un rafforzamento nella partecipazione internazionale, ma con una minore capacità innovativa.

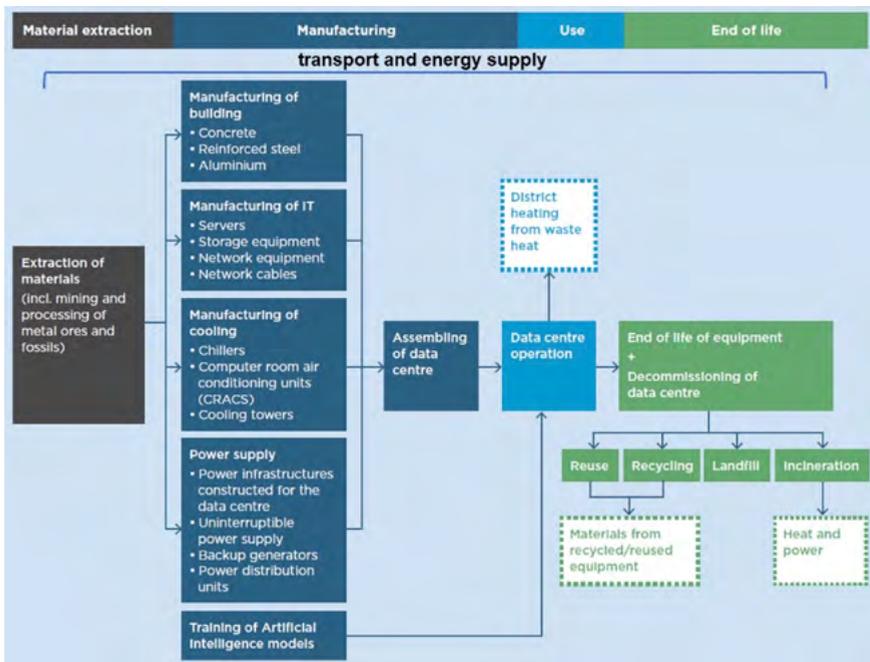
Se andiamo in particolare a considerare la catena del valore globale dei data center (Figura 1), possiamo identificare quattro differenti fasi.

La prima riguarda l’estrazione delle materie prime che serviranno poi da input per la realizzazione dei componenti e dei prodotti finiti del data center. In questa fase sono comprese tutte le attività estrattive dei metalli e dei fossili e loro processamento (questa stessa fase può essere anche ulteriormente valutata come catena del valore a sé con specifici attori coinvolti (Görner et al., 2020) e impatti dal punto di vista ambientale e sociale (OECD, 2016).

La seconda fase riguarda invece la produzione dei diversi elementi che costituiscono un data center:

- La costruzione dell'edificio (in cui possiamo ricomprendere cemento armato, alluminio, acciaio rinforzato tra i principali elementi)
- La produzione dell'IT (server, apparati di storage, apparati di rete, cavi di rete ed elettrici)
- La produzione dei sistemi di condizionamento (che comprendono una varietà di apparati e tecnologie differenti in relazione alla soluzione prescelta, es. raffrescamento ad aria, ad acqua)
- Le infrastrutture per l'alimentazione elettrica (infrastrutture specifiche per il data center, gruppi di continuità, generatori di backup e unità di distribuzione dell'energia elettrica)
- Software e applicativi per la gestione del datacenter.

Figura 1 – La catena del valore dei data center



Fonte: Laurent et al., 2020

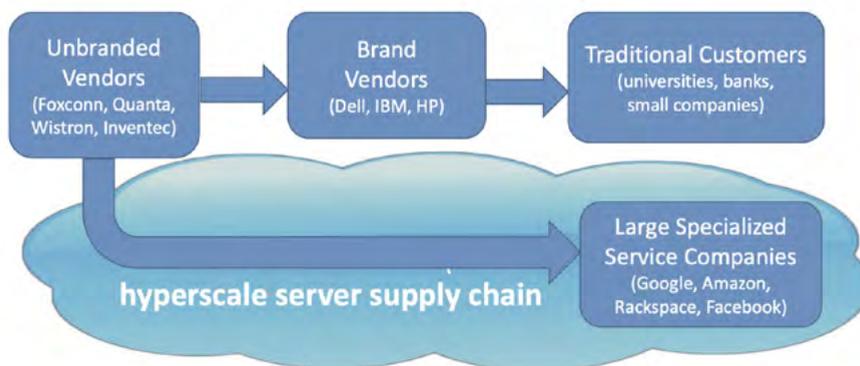
È prevista poi la fase di realizzazione del data center a partire dall'edificio fino a tutte le infrastrutture interne.

Una volta realizzato il data center occorre considerare il suo funzionamento che prevede sia l'utilizzo delle infrastrutture e il consumo di energia elettrica connesso ai servizi offerti sia la possibilità di sfruttare - sotto specifiche condizioni - il calore generato dal data center per finalità di riscaldamento.

La fase finale riguarda il fine vita del data center che può riguardare il fine vita degli specifici componenti e infrastrutture del data center o lo stesso smantellamento del data center nel suo complesso. In questo caso è possibile prevedere attività di riuso o riciclo che possono generare materiali o materie prime seconde da utilizzare in altri ambiti, l'invio in discarica o l'incenerimento con conseguente produzione di calore e potenza.

Nell'ambito dell'infrastruttura IT di un data center i server costituiscono i componenti fondamentali cui affiancare storage esterno e apparati di rete. I server possono essere di due tipologie a seconda del controllo da parte delle lead firms (brand vendor) sulla produzione e commercializzazione. Imprese senza brand come Foxconn o Quanta (Figura 2) forniscono con modalità di contract manufacturer i server ai brand vendor (Dell, IBM, HP) che si rivolgono ai clienti industriali od istituzionali. Allo stesso tempo possono trovare come mercato alternativo le imprese di servizi specializzate di grandi dimensioni (Google, Amazon, Facebook) che gestiscono data center di grandi dimensioni e in cui la fornitura si configura in chiave hyperscale.

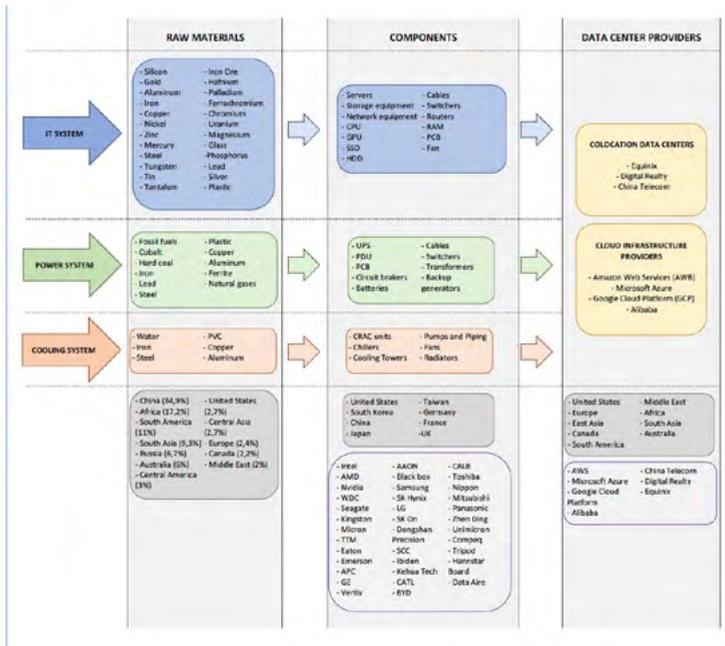
Figura 2 - La catena del valore dei server (rappresentazione sintetica)



I diversi sistemi IT e le infrastrutture che compongono un data center si contraddistinguono per un elevato numero di componenti e sotto-componenti e di connesse materie prime, molte delle quali sono considerate materie prime critiche².

Per quanto riguarda la produzione dei componenti i microprocessori costituiscono l'elemento centrale e di valore di ogni sistema IT. Per quanto riguarda i "microprocessori per server", che consentono ai dati organizzativi di spostarsi più velocemente attraverso la rete IT (rispetto ai processori utilizzati per le applicazioni digitali consumer, i PC e le comunicazioni) e offrono una grande capacità di archiviazione con la possibilità di inserire più dischi (Grand View Research, n.d.), si assiste ad un'elevata concentrazione nell'offerta: il più utilizzato è il tipo x86 (87,1% di quota di mercato nel 2019), seguito dal tipo RISC46 (6,3% di quota di mercato nel 2019). Le due imprese leader che controllano il mercato sono Intel e AMD (Crucial, 2018).

Figura 3 - Analisi dettagliata della catena del valore di un data center



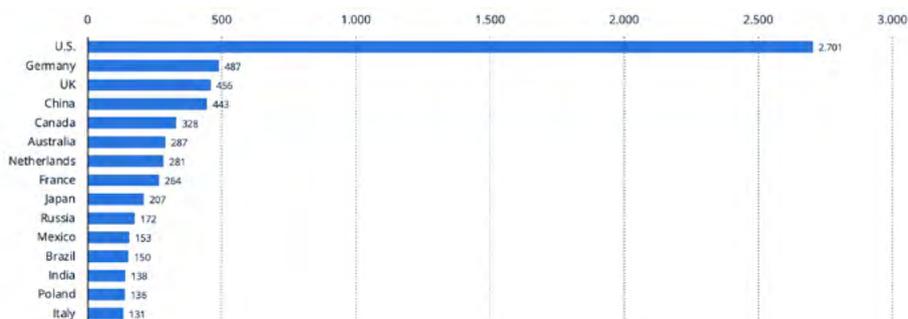
Fonte: Pegoraro, 2022

² https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

La produzione di microprocessori è realizzata all'interno di fab che sono localizzate in diversi paesi a seconda del modello di business: il primo consiste nelle fab di proprietà degli IDM (Integrated Device Manufacturers), che producono chip secondo i propri progetti, mentre il secondo consiste nelle fab indipendenti che producono chip per clienti terzi (Khan, et al., 2021). Le fabbriche IDM si trovano principalmente negli Stati Uniti (42%) e in Corea del Sud (23%), seguite da Giappone (14%) ed Europa (10%). D'altro canto, la maggior parte delle fonderie si trova a Taiwan (60%) e in Corea del Sud (19%), seguite da Stati Uniti (10%) e Cina (9%) (Pegoraro, 2022).

Per quanto riguarda le GPU anche qui si assiste ad una concentrazione del mercato con due principali player statunitensi: Nvidia (78%) e AMD (17%). I dischi HDD o SSD sono invece prodotti da un maggior numero di imprese, con un calo di mercato per le prime a vantaggio delle seconde (Statista, 2020). I produttori sono: WDC (Western Digital) (Stati Uniti) e Seagate (Stati Uniti) sono le aziende dominanti nel mercato degli HDD, seguite da Toshiba (Giappone) (Statista, 2020). Il mercato degli SSD, invece, è dominato da Intel (Stati Uniti), Samsung (Corea del Sud), WDC (Stati Uniti), Kingston (Stati Uniti) e Micron (Stati Uniti) (Mordor Intelligence, 2022). La Cina è il principale produttore, seguita dalla Thailandia che produce circa il 25% di tutti i sistemi di memoria del mondo. La produzione delle schede di memoria (RAM) è controllata da Samsung con il 44% del mercato, cui seguono SK Hynix (Sud Corea) e Micron (Stati Uniti).

Figura 4 - Numero di data center nel mondo (2022)



19 Description: As of January 2022, 2,701 data centers were in the United States, with a further 487 data centers located in Germany. The United Kingdom ranked third among countries in terms of the number of data centers with 456, while China recorded 443. [Source: Statista](#)

statista

Fonte: Statista, 2022

La distribuzione nel mondo dei data center non è omogenea. Come si evince dalla Figura 4 al primo posto si trovano gli Stati Uniti con oltre 2.700 data center, a seguire la Germania e il Regno Unito con un numero simile di data center (oltre i 450 ciascuno) e la Cina (443). L'Italia si posiziona al settimo posto a livello europeo con 131 data center (Tabella 1).

Tabella 1 - I primi 10 paesi europei per numero di data center

#	Paese	Numero datacenter
1	Germania	487
2	Regno Unito	456
3	Olanda	281
4	Francia	264
5	Russia	172
6	Polonia	136
7	Italia	131
8	Spagna	125
9	Svizzera	104
10	Svezia	81

Fonte: Statista, 2021

La tabella 2 presenta a livello mondiale le principali aziende che offrono servizi di data center. Come si può notare sono aziende in prevalenza statunitensi, cinesi o giapponesi. Secondo l'IDC (2021) i leader in termini di strategia e di funzionalità sono Equinix, Digital Realty Trust e NTT, quindi operatori statunitensi e giapponesi.

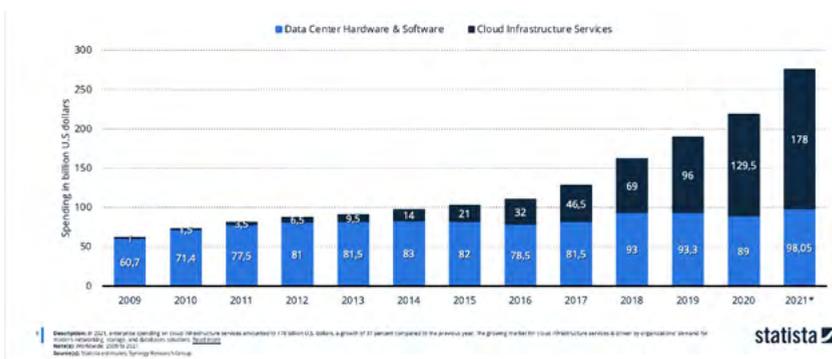
La rilevanza dei data center nello scenario internazionale delle infrastrutture per la digitalizzazione è connesso ad una crescente domanda di servizi cloud. Come si evince dalla Figura 5 la spesa aziendale per i servizi di infrastruttura cloud è cresciuta in modo esponenziale dal 2009 (con un aumento più visibile negli ultimi anni), mentre la spesa per l'hardware e il software dei data center proprietari è rimasta abbastanza costante nello stesso arco di tempo.

Tabella 2 - I più grandi fornitori di servizi di colocation - data center

#	Nome	Paese (sede capogruppo)	% quota di mercato (2021)
1	Equinix	Red wood City, California (US)	11,1
2	Digital Realty Trust	Austin, Texas (US)	7,6
3	China Telecom	Pechino (Cina)	6,1
4	NTT Communications	Tokyo (Giappone)	4,3
5	China Unicom	Pechino (Cina)	4,2
6	China Mobile	Pechino (Cina)	4,1
7	CyrusOne	Dallas, Texas (US)	1,9
8	Telehouse/KDDI	Tokyo (Giappone)	1,9
9	GDS	Shanghai (Cina)	1,6
10	Global Switch	Londra (GB)	1,4

Fonte: Data Center Knowledge, 2021³

Figura 5 - Spesa aziendale per cloud e data center per segmento dal 2009 al 2021
(in miliardi di dollari - mondo)



Fonte: Stime Statista - Synergy Research Group

³ Si veda: <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2017/01/20/here-are-the-10-largest-data-center-providers-in-the-world>

Si stima che il fatturato di servizi cloud a livello mondiale sia pari a 217 miliardi di dollari (fonte Statista - Synergy Research group. Dati al settembre 2022). I principali provider di servizi cloud a livello mondiale - che possono direttamente gestire data center o meno - sono indicati in tabella 3.

Tabella 3 - Quote di mercato mondiali dei principali provider di servizi di infrastrutture cloud

Fornitore	Quota di mercato
Amazon Web Service	34%
Azure	21%
Google Cloud	11%
Alibaba Cloud	5%
IBM Cloud	3%
Salesforce	3%
Tencent Cloud	2%
Oracle	2%

Fonte: Synergy Research Group - Statista

L'analisi della catena del valore in ambito cloud computing (Belmans & Lambrette, 2012) evidenzia come nell'ambito delle infrastrutture IT questi provider facciano ricorso a diversi OEM (Cisco, HP, Dell, EMC2, NetApp, Juniper, Brocade) e Original Design Manufacturer (ODM) con implicazioni differenti sul fronte dell'upgrading e dei data center a seconda delle strategie di offerta (SaaS, PaaS, IaaS, colocation) e strutturazione delle *facilities*.

Nel caso dell'Infrastructure-as-a-Service si confrontano diverse architetture dei data center - di grandi dimensioni e scalabili vs. verticalmente integrati. Soprattutto le strategie di gestione delle infrastrutture rimangono fondamentali perché il cloud computing aumenta il potere d'acquisto e il livello di sofisticazione delle infrastrutture IT. Di conseguenza gli OEM sono chiamati ad innovare rapidamente. Con l'avvento del cloud computing il data center classico integrato dall'IT aziendale può evolvere verso due direzioni distinte (Belmans & Lambrette, 2012):

- data center verticalmente integrati, in cui i singoli moduli sono integrati dal vendor dell'infrastruttura che, in chiave di catena del valore globale, sfrutta un modello di governance modulare per offrire una soluzione che mette insieme infrastruttura e applicazioni con un controllo ed un potere incentrato sulla lead firm (efficienza operativa significativa);
- data center scalabili in modo massivo, in cui le efficienze di scala sono ottenute attraverso un approccio commodity all'infrastruttura IT e un potere (con corrispondente appropriazione del valore) maggiore per i cloud provider. Le infrastrutture IT diventano beni standard in cui il valore si sposta sullo sviluppo proprietario di applicativi e soluzioni innovative nelle architetture dei data center (Google, Facebook, Amazon, Microsoft).

Lo sviluppo del cloud ha spinto al consolidamento dei data center, in cui pochi grandi data center hanno iniziato a dominare il mercato. La dimensione consente a questi operatori (lead firms) di aumentare il proprio potere di acquisto e il grado di sofisticazione con forti processi di innovazione tecnologica.

Uno sviluppo più recente sta riguardando l'affermarsi degli edge data center, ovvero data center molto più piccoli e distribuiti a livello territoriale. Le motivazioni alla base di questa traiettoria che può rimettere in discussione la struttura delle catene del valore dei data center sono diverse: 1) una maggiore necessità di ottimizzazione nella gestione delle latenze nell'accesso ai dati, anche in relazione allo sviluppo del 5G e dell'Internet delle cose (IoT); 2) riduzione dei rischi connessi alla scala e alla concentrazione; 3) opportunità di efficienza economica e possibilità di superare i vincoli infrastrutturali da gestire. A queste si aggiunge anche l'opportunità di supportare ecosistemi "resilienti", in grado di resistere a shock esterni.

3. Sostenibilità per i data center

Secondo un recente articolo pubblicato dall'Osservatorio Datacenter Frontiers⁴, vi sono otto tendenze che si prevede plasmeranno l'industria dei data center nel 2023. Tra queste vi sono la crescita continua del cloud computing, l'aumento dell'edge computing e dell'IoT, l'uso crescente di

⁴ Si veda: <https://www.datacenterfrontier.com/cloud/article/21439020/the-eight-trends-that-will-shape-the-data-center-industry-in-2023>

AI e machine learning, l'adozione di energia rinnovabile, l'emergere di nuovi progetti di data center, l'attenzione alla sicurezza e alla privacy dei dati e la necessità di professionisti qualificati nel settore. Per rimanere competitive nell'industria durante tale tumultuosa trasformazione, le aziende devono essere consapevoli di queste tendenze e adattarsi ad esse.

Dal punto di vista ambientale (si veda il primo capitolo) le imprese che gestiscono i data center si concentrano sugli aspetti energetici per una riduzione dei consumi e dei relativi costi. Molte aziende di data center sono protagoniste di strategie di carbon neutrality e di altre iniziative simili.

Possiamo identificare azioni di tipo collettivo come RE100⁵, un progetto globale di aziende che si impegnano a ricavare il 100% dell'energia da fonti rinnovabili, per abbattere le emissioni e ottenere un utilizzo migliore delle risorse in ambito energetico. Con oltre 260 membri, questa iniziativa trova la partecipazione di importanti proprietari e utenti di data center come Apple, Amazon, eBay, Equinix, Facebook, Google, Iron Mountain e Salesforce. Imprese clienti che utilizzano i data center spingono verso un'attenzione alla sostenibilità ambientale e alla riduzione dei consumi di energia per finalità di impatto "net zero" sul fronte delle emissioni, segnalando una direzione *buyer-driven* all'upgrading ambientale dei data center.

Allo stesso tempo gli stessi operatori che gestiscono i data center hanno strategie di sostenibilità ambientale (*motivazioni interne all'impresa come driver dell'upgrading ambientale*) che riguardano la riduzione dei consumi energetici. Tali data center riportano importanti vantaggi ambientali come la riduzione delle emissioni di CO₂ e l'efficienza energetica.

Molti data center stipulano contratti di acquisto di energia elettrica (*PPAs - Power Purchase Agreements*) direttamente con fornitori di energia rinnovabile. Vi possono essere soluzioni di PPA "virtuali" e "sleeved"⁶. Il PPA virtuale può essere visto come una forma di copertura dei prezzi, in cui si concorda un prezzo e si effettuano pagamenti tra le parti del PPA a seconda che il prezzo contrattuale dell'energia sia superiore o inferiore al prezzo di mercato. Altri data center stipulano contratti PPA "sleeved": la società di servizi agisce come intermediario per conto del data center, in qualità di acquirente di energia, gestendo il trasferimento dell'elettricità da un progetto di energia rinnovabile al data center (e il pagamento dal data center al progetto di energia rinnovabile). Inoltre lead firm stipulano

⁵ <https://www.there100.org/about-us>

⁶ <https://www.projectfinance.law/publications/2020/october/powering-data-centers/#>

contratti a lungo termine per assicurare stabilità nei prezzi e nella fornitura stessa.

Secondo dati riportati da Sunbird⁷, la maggior parte dei data center green si trovano in America del Nord e in Europa, ma ci sono anche alcuni in Asia e in altre parti del mondo. Tra i primi 10 EPA Green Power Partner è possibile identificare importanti proprietari di data center come Cisco, Digital Realty, Intel o Microsoft. Nel 2019, Google e Facebook sono stati i maggiori acquirenti di energia rinnovabile al mondo⁸. Negli Stati Uniti l'Agenzia per la protezione dell'ambiente (EPA) ha istituito la Green Power Partnership (GPP) nel 2001 per incoraggiare le organizzazioni a utilizzare volontariamente energia verde per proteggere la salute umana e l'ambiente.

Come evidenziato sopra molti grandi operatori di data center hanno abbracciato l'energia rinnovabile, utilizzando accordi di acquisto di energia (PPA) per garantire l'approvvigionamento di energia rinnovabile fuori sede che può compensare parzialmente o completamente i loro fabbisogni energetici in loco (Lei & Masanet, 2021). Ad esempio, Google ha acquistato abbastanza energia rinnovabile tramite PPA da soddisfare il consumo annuo di elettricità di tutti i suoi data center globali. Ha inoltre posizionato strategicamente alcuni dei suoi data center in aree in cui la rete elettrica locale incorpora energia solare e eolica, come nel caso del suo impianto in Carolina del Nord. Anche Facebook si è impegnata a fornire ai propri data center il 100% di energia rinnovabile e ha investito in progetti di energia rinnovabile che alimentano le stesse reti che forniscono energia alle sue strutture. Apple ha alimentato tutte le sue strutture globali, compresi data center, uffici e negozi, con energia rinnovabile al 100% dal 2018. Amazon Web Services ha superato il 50% di utilizzo di energia rinnovabile e si è impegnata a raggiungere il 100% di energia rinnovabile mediante l'utilizzo di 13 progetti di energia rinnovabile che dovrebbero generare oltre 2,9 TWh all'anno. Microsoft sta anche compiendo progressi significativi verso il suo obiettivo di essere *carbon negative* entro il 2030 e ha già ottenuto oltre il 50% dell'energia utilizzata dai suoi data center da fonti rinnovabili nel 2019, con piani per aumentare questa percentuale a oltre il 70% entro il 2023. Gli sforzi di questi grandi operatori di data center hanno reso l'industria ICT uno dei leader mon-

⁷ Si veda: <https://www.sunbirdcim.com/infographic/green-data-centers-around-world-2021>

⁸ <https://www.projectfinance.law/publications/2020/october/powering-data-centers/#>

diali negli acquisti di energia rinnovabile da parte delle aziende e negli investimenti in progetti di energia rinnovabile.

Queste lead firm stanno adottando misure per eliminare le loro impronte di carbonio entro il 2030, sia per le emissioni dirette che per le loro intere catene di fornitura e di valore. Le lead firm hanno avviato anche iniziative collettive - anche in collaborazione con grandi imprese leader di altre industrie - come la Renewable Energy Buyer Alliance (REBA)⁹ con l'obiettivo di coordinare gli sforzi dal punto di vista della promozione della sostenibilità, ma anche con finalità di accelerare la transizione attraverso fondi di sostegno per il mercato e l'upgrading dei fornitori. In questa prospettiva forme di "private governance" (Mayer & Gereffi, 2010) emergono anche nella catena globale del valore dell'IT, ove le imprese assumono iniziative autonome e in forma aggregata per superare assenze nella regolazione o per sostenere processi di cambiamento che emergono da esigenze economiche e sociali a cui poi i policy maker dovranno far fronte.

A livello generale le lead firm hanno sviluppato strategie di sostenibilità complessiva dei data center che abbracciano anche il design, la realizzazione e gestione degli edifici, sempre con finalità di efficientamento energetico e ottimizzazione delle risorse; anche se poco è sviluppato l'ambito di attenzione alla risorse lungo il ciclo di vita dei data center. Dal punto di vista gestionale i data center utilizzano strumenti di monitoraggio dell'energia per identificare le tendenze di consumo energetico all'interno del data center ed apportare miglioramenti sul fronte dell'ottimizzazione dello spazio e riconfigurazione per abbattere consumi e costi. Con il miglioramento della tecnologia di monitoraggio, gli sforzi di efficienza energetica dovrebbero dare ancora più benefici. Per esempio l'azienda leader Equinix ha sviluppato un approccio integrato al design e gestione dei data center in chiave green combinando sistemi di monitoraggio innovativi, soluzioni di edilizia sostenibile (es. tetti verdi), gestione ottimizzata del calore e dei sistemi di raffrescamento¹⁰, a partire da scelte di localizzazione dei data center guidate anche da opportunità in ambito ambientale e con benefici sul fronte dell'efficienza anche economica.

Nell'ambito delle traiettorie di investimento sono presenti inoltre scelte inerenti la trasformazione delle batterie verso quelle alimentate agli ioni di litio, che possono funzionare in modo affidabile a temperature più elevate, si ricaricano più velocemente e si adattano a spazi fisici più

⁹ https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/Keynote_Olson_EN.pdf

¹⁰ <https://www.equinix.it/data-centers/design/green-data-centers>

ridotti, oltre a durare più a lungo e ad essere più affidabili. Queste azioni si inseriscono all'interno di un percorso di attenzione alla sostenibilità ambientale che riguarda un approccio all'economia circolare e alla gestione della vita dei data center, che riguarda più in generale non solo la gestione dell'energia, ma una visione più ampia di impostazione in chiave di sostenibilità dei processi di fornitura e di gestione del fine vita dei prodotti (ad esempio in termini di recupero e riciclo del materiale). Si tratta di un ambito che è ancora in fase di sviluppo e dove la direzione è quella dell'investimento, ma ancora non in modo sistematico e generalizzato.

4. Conclusioni: traiettorie di sviluppo e sfide

Come evidenziato in questo capitolo quella dei data center è una catena del valore complessa. La sostenibilità ambientale emerge come una priorità in tale catena globale del valore, all'interno di un'industria IT globale governata in modo prioritario dai giganti dell'ICT, soprattutto sul suolo americano. In questo contesto, il capitolo offre una chiave di lettura per interpretare le iniziative messe in atto da tali aziende green ed apre ambiti di riflessione utili a capire come stimolare ulteriormente la sostenibilità in questo comparto in forte crescita - il mercato dei data center green viene stimato in crescita da 58 miliardi di dollari al 2022 a oltre 120 al 2026¹¹.

Per quanto riguarda l'attenzione alla sostenibilità, si sottolinea come questa sia orientata principalmente all'efficientamento energetico e alla riduzione delle emissioni - motivata in primis dalla necessità di contenere i costi e stimolata da nuove iniziative legislative e di mercato volte a ridurre le emissioni di carbonio. Molto meno attenzionati, invece, sono altri aspetti di sostenibilità, per esempio quelli riguardanti la materialità dei processi di costruzione dei data center, sia in termini di provenienza, quantità e tipologia di materie prime utilizzate che in termini di fine vita del prodotto. Questo aspetto rappresenta certamente la maggiore sfida al raggiungimento della vera sostenibilità in questo comparto, una sostenibilità che non miri semplicemente a poter rendicontare azioni di sostenibilità, ma a ridurre effettivamente e velocemente gli impatti sugli ecosistemi.

Altro elemento rilevante che emerge da questo capitolo, che offre spunti di riflessione interessanti anche per i comparti che contribuiscono

¹¹ <https://www.researchandmarkets.com/content-images/462/462625/2/global-green-data-center-market.png>

a quello del datacenter con la produzione di componenti e semilavorati che entrano in tale prodotto, riguarda la *governance* di questi processi di *upgrading*. In questo settore, infatti, grande spinta proviene dalle cosiddette aziende leader, i grandi colossi che utilizzano i data center oppure che li vendono, che hanno sviluppato proprie strategie di sostenibilità e si stanno parimenti organizzando in forma collettiva. Considerato tuttavia che la *governance* di questa catena del valore è modulare e vi è quindi una maggiore autonomia dei fornitori e una diversa capacità che le imprese leader possono avere nell'impostazione delle richieste verso i fornitori, vi è ampio spazio per processi innovativi di sostenibilità a trazione di fornitori o subfornitori. Per fornitori innovativi vi è infatti margine per gestire processi di *upgrading* ambientale come propria strategia di differenziazione, per rimanere sul mercato e offrire soluzioni d'avanguardia, anche sul piano ambientale. Gli esempi in questo contesto non mancano. Si consideri per esempio Supermicro, il terzo fornitore al mondo di server (fonte IDC) con sede a San Jose in California e produzioni a livello statunitense e mondiale¹², che si sta posizionando come fornitore fortemente orientato verso la sostenibilità dei data center, collaborando con i propri clienti per la definizione di scelte di fornitura consapevoli orientate alla realizzazione e gestione di data center green¹³. Mancano tuttavia studi sistematici e indicatori che permettano di mappare i fornitori green, misurare il loro contributo alla sostenibilità dei datacenter e definire best practice che permettano un'efficace collaborazione verso progetti sostenibili tra tutti gli attori della filiera.

Bibliografia

- Belmans W. , Lambrette, U. (2012). The Cloud Value Chain Exposed. Key Takeaways for Network Service Providers. White paper, March, Cisco Internet Business Solution Group. https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/sp/Cloud-Value-Chain-Exposed_030512FINAL.pdf
- Crucial , 2018. A Guide to the Different Types of Computer Processors. [Online] Available at: <https://www.crucial.com/articles/pc-builders/a-guide-to-processor-types#:~:text=There%20are%20two%20major%20manufacturers,supply%2C%20and%20any%20graphics%20>

¹² <https://www.supermicro.com/en/pressreleases/ranked-3rd-largest-supplier-server-world-supermicro-expands-its-silicon-valley>

¹³ <https://www.supermicro.com/en/white-paper/datacenter-report>

cards.

- De Marchi, V., Di Maria, E., & Ponte, S. (2013). The greening of global value chains: Insights from the furniture industry. *Competition & Change*, 17(4), 299–318. <https://doi.org/10.1179/1024529413Z.00000000040>
- De Marchi, V., Di Maria, E., Krishnan, A., & Ponte, S. (2019). Environmental upgrading in global value chains. In S. Ponte, G. Gereffi, & G. Raj-Reichert (Eds.), *Handbook on Global Value Chains* (pp. 310–323). Edward Elgar.
- De Marchi, V., & Di Maria, E. (2019). Environmental upgrading and suppliers' agency in the leather global value chain. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/su11236530>
- Fernandez-Stark, K., & Gereffi, G. (2019). Global value chain analysis: a primer (second edition). In S. Ponte, G. Gereffi, & G. Raj-Reichert (Eds.), *Handbook on Global Value Chains* (pp. 54–76). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788113779.00008>
- Gereffi, G. (1999). International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain. *Journal of International Economics*, 48(1), 37–70. [https://doi.org/10.1016/S0022-1996\(98\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1996(98)00075-0)
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12(1), 78–104. <https://doi.org/10.1080/09692290500049805>
- Gereffi, G., & Staritz, C. (2010). Global Value Chains in a Postcrisis world: resilience, consolidation, and shifting end markets. In O. Cattaneo, G. Gereffi, & C. Staritz (Eds.), *Global Value Chains in a Postcrisis world* (pp. 1–7). World Bank Group. <https://doi.org/10.1361/foec2000p001>
- Görner S. , Kudar, G., Mori, L., Reiter, S. & Samek S. (2020), The mine-to-market value chain: A hidden gem. McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-mine-to-market-value-chain-a-hidden-gem>
- Krishnan, A., De Marchi, V., & Ponte, S. (2023). Environmental Upgrading and Downgrading in Global Value Chains: A Framework for Analysis. *Economic Geography*, 99(1), 25–50. <https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2100340>
- Laurent, A., Dal Maso, M., Wang, X., Zhu, X., & Dias, G. P. (2020). Environmental sustainability of data centres: A need for a multi-impact and life cycle approach. Copenhagen Center on Energy Efficiency, Report, https://c2e2.unepccc.org/kms_object/environmental-sustaina-

bility-of-data-centres-a-need-for-a-multi-impact-and-life-cycle-approach/

- Lei, N., & Masanet, E. R. (2021). Global data center energy demand and strategies to conserve energy. In H. Geng (Ed.), *Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center* (pp. 15-26). John Wiley & Sons, Inc.
- Lema, R., Pietrobelli, C., Rabellotti, R., & Vezzani, A. (2021). Deepening or delinking? Innovative capacity and global value chain participation in the ICT sectors. In *UNU-MERIT Working Paper* (No. 007; UNU-MERIT Working Paper Series, Vol. 007, Issue February). <https://econpapers.repec.org/scripts/redir.pf?u=https%3A%2F%2Fwww.merit.unu.edu%2Fpublications%2Fwppdf%2F2021%2Fwp2021-007.pdf;h=repec:unm:unumer:2021007>
- Mayer, F., & Gereffi, G. (2010). Regulation and economic globalization: Prospects and limits of private governance. *Business and Politics*, 12(3), 1-25. <https://doi.org/10.2202/1469-3569.1325>
- OECD (2026). *Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas: Third Edition*, OECD, Paris.
- Pegoraro R. (2022). *Data Centers Sustainability: a Global Value Chain Perspective*, Tesi di laurea magistrale, Università di Padova
- Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2011). Global Value Chains Meet Innovation Systems: Are There Learning Opportunities for Developing Countries? *World Development*, 39(7), 1261–1269.
- Ponte, S., Gereffi, G., & Raj-Reichert, G. (2019). *Handbook on Global Value Chains*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788113779>
- Shehabi, A. et al., 2016. *United States Data Center Energy Usage Report*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005775_v2.pdf
- Sturgeon, T. J. (2002). Modular production networks: a new American model of industrial organization. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 451–496. <https://doi.org/10.1093/icc/11.3.451>
- Sturgeon, T., Van Biesebroeck, J., & Gereffi, G. (2008). Value chains, networks and clusters: Reframing the global automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 8(3), 297–321. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbn007>

- Thun, E., Taglioni, D., Bank, W., Sturgeon, T., & Dallas, M. P. (2022). Massive Modularity: Understanding Industry Organization in a Digital Age. The case of mobile phone handsets. In Policy Research Working Paper (No. 10164; Policy Research Working Paper, Issue September). <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37971>
- Timmer, M., Miroudot, S. & de Vries, G. (2019). Functional specialisation in trade, *Journal of Economic Geography*, 19(1), 1–30. <https://doi.org/10.1093/jeg/lby056>
- Turkina, E., Van Assche, A. & Kali, R., (2016). Structure and evolution of global cluster networks: evidence from the aerospace industry, *Journal of Economic Geography*, 16(6), 1211–1234. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbw020>

Life Cycle Assessment di un data center: Il caso VSIX dell'Università di Padova

Linda Cerana

Ingegnere energetico e dottoranda in Ingegneria industriale, curriculum
Ingegneria energetica, presso l'Università di Padova

1. Introduzione

1.1 Perché applicare l'LCA ai data center

Negli ultimi decenni una crescente attenzione è stata posta all'**impatto climatico legato ai consumi di energia** per il funzionamento dei data center. Spinti principalmente da ragioni economiche, costruttori e gestori di data center hanno da sempre lavorato su più fronti per ridurre la potenza elettrica assorbita. Le nuove tecnologie IT adottate presentano hardware e software ottimizzati ai fini della minimizzazione dell'energia elettrica consumata e quindi anche del carico termico generato dalla dissipazione di quest'ultima. Forte attenzione è posta anche sulla progettazione dei sistemi ausiliari dei data center, in particolare delle tecnologie di alimentazione elettrica e di raffreddamento. Relativamente a questi ultimi, molti operatori puntano ad esempio al free cooling, particolarmente vantaggioso in climi freddi, o sul recupero del calore generato dalle macchine IT per l'utilizzo in altri processi produttivi o nel teleriscaldamento. Oltre ad agire sulla riduzione dei consumi, sempre più data center stanno puntando inoltre sull'utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili, tramite acquisti certificati o installando propri impianti di generazione.

A valle di queste misure, molti operatori dichiarano riduzioni sostanziali dell'“impronta carbonica” dei propri data center; questa è tuttavia spesso quantificata limitatamente alle emissioni di anidride carbonica prodotte nella combustione delle risorse fossili per la generazione dell'energia elettrica impiegata (per cui, ad esempio, un data center che utilizza solo energia rinnovabile avrebbe un'impronta carbonica nulla). Dell'impatto ambientale effettivo di un data center rimangono invece trascurati moltissimi altri aspetti: innanzitutto, gli impatti generati nella costruzione del data center, ovvero legati all'estrazione delle materie prime e dei combustibili fossili e al loro processamento, alle lavorazioni per la produzione dei componenti del data center e al trasporto di materiali e apparecchiature; assieme agli impatti derivanti dalla gestione del fine-vita delle apparecchiature e dalla dismissione del data center stesso, questi costituiscono gli **impatti cosiddetti *embedded* o *embodied*** (cioè “inglobati” nel prodotto finito). Per quanto riguarda invece la fase operativa del data center, vanno considerate non solo le emissioni prodotte dagli impianti di generazione dell'energia elettrica, ma anche gli impatti legati alla costruzione di questi stessi impianti, alla fornitura del combustibile, alla rete elettrica attraverso cui l'energia è trasmessa al data center, ... Inoltre, al di là dei consumi energetici, altre fonti di impatto associate a un data center possono essere ad esempio il consumo di acqua, gli interventi di manutenzione e i viaggi dei lavoratori.

Tutti questi processi legati alla costruzione, all'utilizzo e al fine vita costituiscono il “ciclo di vita” del data center; essi generano non solo emissioni con effetto climalterante, ma anche molti altri **tipi di impatto** potenzialmente **dannosi per gli ecosistemi, la salute umana e le risorse naturali**. Ad esempio, le attività di estrazione di minerali e combustibili fossili sono responsabili del consumo di suolo e della trasformazione del territorio, oltre che di ingenti emissioni di particolato nell'aria. Inoltre, il processamento dei materiali estratti, oltre a richiedere elevati consumi di energia, genera spesso sotto-prodotti nocivi per la salute umana e gli ecosistemi. Il consumo stesso di risorse non rinnovabili è una forma di impatto, in quanto riduce la disponibilità della risorsa, mentre anche l'utilizzo di una risorsa rinnovabile come l'acqua può essere problematico quando se ne riduca la disponibilità locale, o se l'acqua viene inquinata o alterata nel suo livello di temperatura.

Per un'accurata valutazione di questi vari tipi di impatto attraverso le fasi del ciclo di vita di un data center, la metodologia più adeguata da adottare è il **Life Cycle Assessment** (LCA, in italiano Valutazione del Ciclo di Vita). Come definito dall'ISPRA, l'LCA è un “metodo oggettivo di

valutazione e quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita ("dalla Culla alla Tomba") (ISPRA, n.d.).

L'LCA permette di tracciare gli impatti rilevanti generati dai processi collegati a un prodotto o un'attività, identificandone le maggiori fonti (materiali, usi energetici, emissioni, ...). Permette inoltre di identificare e valutare correttamente possibili misure per la minimizzazione dell'impatto del ciclo di vita stesso, in modo più efficace rispetto ad affidarsi solo a pratiche di buon senso o ad analisi parziali degli impatti ambientali. Nel caso dei data center, per esempio, aumentare la frequenza di sostituzione dei server con tecnologie energeticamente più efficienti potrebbe risultare sensato se ci si concentra sui soli consumi. Tuttavia, a livello dell'intero ciclo di vita, questa misura potrebbe generare un beneficio inferiore alle aspettative, o addirittura un effetto negativo. Infatti, mentre si riducono gli impatti legati al funzionamento del data center, aumentano quelli legati alla produzione e al fine-vita dei server (in inglese si parla di "*environmental burden-shifting*"). L'analisi LCA permette, in casi di questo genere, di quantificare entrambi gli effetti positivi e negativi derivanti dalla modifica di un processo o prodotto, in modo da individuare la soluzione di compromesso ottimale per la minimizzazione dell'impatto ambientale complessivo.

Nonostante un'ampia diffusione nei più svariati settori, ad oggi l'LCA vede una scarsa applicazione nel mondo dei data center, e si ha quindi una limitata conoscenza degli impatti complessivi legati a tali infrastrutture. Le analisi ambientali in questo settore sono ancora focalizzate sugli aspetti energetici legati alla fase di operatività del data center, probabilmente non solo per ragioni economiche, ma anche perché questi aspetti sono più evidenti e più facilmente quantificabili; inoltre su di essi l'operatore di data center può in genere esercitare una maggiore azione di controllo. Per contro, le filiere di fornitura e di gestione del fine-vita delle apparecchiature sono, soprattutto nel settore ICT, estremamente complesse; la loro analisi ambientale richiede quantità ingenti di tempo e risorse, a cui si aggiunge la difficoltà di reperire informazioni attendibili e sufficientemente dettagliate sulle apparecchiature e sui processi di fabbricazione, essendo queste informazioni sensibili e quindi normalmente non condivise dai produttori.

Come evidenziato da A. Laurent e M. Dal Maso, i pochi studi che hanno applicato un approccio LCA ai data center rilevano una prevalenza – tra il 76% e il 97% circa – dell'impatto dei consumi energetici

sul potenziale di riscaldamento globale dell'intero ciclo di vita dei data center considerati (Laurent & Dal Maso, 2020). Tuttavia, questi risultati si riferiscono a data center utilizzanti mix elettrici largamente basati su fonti fossili.¹ Con le azioni di riduzione dei consumi e l'aumento dell'uso delle fonti rinnovabili che sempre più data center stanno attuando, ci si aspetta un incremento della quota di impatto attribuita agli altri processi del ciclo di vita del data center; sarà su di questi che rimarrà più margine di miglioramento, una volta fatto il possibile sul fronte dei consumi.

Oltre al potenziale di riscaldamento globale, sono inoltre da tenere a mente gli altri tipi di impatto, per i quali l'attribuzione del peso tra le diverse fasi del ciclo di vita può essere ben diversa. Ad esempio, lo studio di Whitehead et al. attribuisce ben il 48% dell'impatto delle sostanze cancerogene alla fase di produzione dei componenti del data center (Whitehead et al., 2015).

Gli impatti *embedded* assumeranno ancora più rilevanza nei prossimi anni e decenni, considerate le prospettive di sviluppo esponenziale dei data center e in generale del settore ICT, oltre che di altri settori strategici come quello delle energie rinnovabili e della mobilità elettrica. Questi impiegheranno sempre più materiali considerati critici per la loro scarsità o per la loro concentrazione geografica, come metalli di base (es. rame, alluminio, ferro, litio, piombo) e preziosi (es. oro, argento, palladio), terre rare e altri materiali come tantalio, gallio, indio e tungsteno (Pehlken et al., 2020); aumenteranno inoltre i consumi energetici e le emissioni generate nelle fasi di processamento di tali materiali – alcuni dei quali particolarmente impattanti in tal senso – e di fabbricazione delle apparecchiature.

Tale scenario, che già ha iniziato a delinearci, evidenzia la necessità di indagare gli impatti ambientali dei data center attraverso un approccio LCA. Questo permette di quantificare e analizzare in modo oggettivo i contributi dei diversi processi coinvolti nel ciclo di vita del data center, individuando le maggiori fonti di impatto sul clima ma anche su ecosistemi, salute umana e risorse naturali. Sulla base di queste analisi, l'LCA potrà poi consentire di valutare correttamente le azioni più efficaci per il miglioramento della sostenibilità dei data center, prevedendo gli effetti sull'intero ciclo di vita di modifiche come la riduzione dei consumi, la

¹ Costituiscono eccezione: lo studio di Honè et al. condotto su un data center in Svezia, per il quale l'impatto attribuito alla fase operativa risulta comunque elevato (66%) (Honee et al., 2012); il caso valutato – nell'analisi di sensitività – da Whitehead et al., anch'esso relativo all'uso del mix energetico svedese e per cui il valore risultante è del 58% (Whitehead et al., 2015).

variazione del mix energetico utilizzato, l'adozione di tecnologie alternative o le variazioni nei processi di produzione delle stesse, o ancora l'allungamento della vita dei componenti, il loro riutilizzo o il riciclo dei materiali in essi contenuti. Solo in questo modo è possibile individuare le strategie ottimali per il miglioramento della sostenibilità dei data center lungo l'intero ciclo di vita, e anticipare le problematiche future derivanti dall'espansione di questo settore.

1.2 Analisi di letteratura

I principali studi condotti nell'ambito dell'LCA dei data center, pubblicati tra il 2012 e il 2015, vedono tra gli autori Amip Shah e Beth Whitehead (Shah et al., 2011, 2012; Whitehead et al., 2015) (Tabella 1.1). Altri studi hanno applicato un approccio LCA ai data center ma considerando, tra i tipi di impatto, solo il potenziale di riscaldamento globale e/o il consumo di exergia², e non sono qui trattati (Honee et al., 2012; Lettieri, 2012; Meza et al., 2010); tuttavia le considerazioni nel seguito sviluppate sono in larga misura applicabili anche ad essi.

Nei loro studi del 2010 e 2015 rispettivamente, per l'analisi degli impatti embedded Shah et al. e Whitehead et al. adottano un approccio di analisi denominato "LCA ibrida" (hybrid LCA), in cui vengono combinate le due principali metodologie di analisi LCA: una basata sull'analisi dei processi (process-based LCA) e una basata sui modelli input-output dell'economia (EIO-LCA, ovvero economic input-output LCA).

La prima costituisce il metodo LCA più "classico", in cui database di dati ambientali vengono utilizzati per associare i relativi impatti a tutti gli input e output della catena di fornitura di un prodotto. Questa metodologia richiede in genere un ingente impiego di tempo e risorse; è quindi comune ricorrere a versioni di tale tecnica basate su ipotesi semplificative (ad esempio, assumendo trascurabili alcuni componenti o processi); in questi casi si parla in genere di "streamlined process-based LCA".

L'EIO-LCA, invece, sfrutta modelli input-output dell'economia che rappresentano, in termini monetari, le interrelazioni tra i diversi settori economici. Attraverso questi modelli e disponendo dei valori di impatto ambientale medi per i beni o servizi di ciascun settore, a partire dal valore

² Per un approfondimento sul significato di "exergia" e sulla distinzione rispetto ad "energia", si consiglia la lettura di questo articolo: <https://www.electroyou.it/ingiuseppe/wiki/l-exergia-non-tutta-l-energia--uguale>

economico di un prodotto o servizio è possibile stimare l'impatto ambientale da esso generato attraverso l'intera economia.

In (Shah et al., 2011), Shah et al. utilizzano una metodologia LCA process-based semplificata per la categoria di sistemi "server": l'impatto embedded di un modello di server, ricavato a partire dai dati di uno studio esistente (Hannemann et al., 2010), è scalato per il numero di server presenti nel data center. Whitehead et al. utilizzano un approccio simile per i componenti IT (server, storage, cavi dati, armadi IT e sistema di direzionamento dei flussi d'aria fredda); ciascuno di questi è approssimato impiegando dataset disponibili nel database ecoinvent (Whitehead et al., 2015). Ad esempio, per i server è utilizzato il dataset relativo a un desktop computer (senza schermo), mentre gli apparati storage sono modellizzati come semplici dischiD di archiviazione dati (prodotti per desktop computer).

Per tutti gli altri principali componenti del data center, Shah et al. e Whitehead et al. utilizzano l'EIO-LCA, ricavando i necessari dati di costo dei componenti a partire dalle informazioni di acquisto degli stessi, ove disponibili, oppure stimandoli a partire da prezzi medi ricavati da database o letteratura.

Per quanto riguarda invece la ricerca di Shah et al. pubblicata nel 2012, in essa gli autori costruiscono un modello semplificato di un data center esistente combinando fattori di impatto ambientale derivati da dataset di ecoinvent con una serie di fattori rappresentanti le principali caratteristiche costruttive e operative del data center, per un totale di 28 parametri (Shah et al., 2012).

Tutti e tre gli studi catturano un dettaglio limitato dell'LCA di un data center, in termini di componenti rappresentati e di analisi dei materiali e processi utilizzati per la produzione di questi. In particolare, è fatto ampio ricorso a una modellizzazione semplificata e a livello dei soli principali componenti del data center; non è fornito un dettaglio a livello di sotto-componenti e materiali, e quindi non è possibile tracciare gli impatti generati lungo le filiere di fornitura dei componenti del data center.

Nei casi di utilizzo dell'EIO-LCA, inoltre, un grosso limite è dato dal fatto che tale modello di analisi degli impatti non distingue tra diverse tecnologie di uno stesso settore; all'interno del settore dei sistemi di climatizzazione commerciale, ad esempio, un impianto di tipo free cooling genererà lo stesso impatto di un impianto con ciclo frigorifero (a parità di costo di acquisto dei due sistemi).

Un limite particolarmente evidente degli studi è relativo alla modellizzazione degli apparati IT (server, storage e apparati di rete), costituenti

il “cuore” del data center, per cui non sono rilevabili le caratteristiche specifiche o per i quali sono adottati modelli altamente semplificati, come nel caso dei server assimilati a desktop computer senza schermo (Whitehead et al., 2015) o degli apparati storage modellizzati come chassis contenenti dischi HDD (Shah et al., 2011).

Inoltre, dalle informazioni fornite nelle pubblicazioni, si deduce che i dischi di archiviazione dati considerati per gli apparati server e storage sono solo di tipo meccanico-rotativo (HDD, Hard Disk Drive), di cui tra l'altro non sono specificate dimensioni e capacità di archiviazione. A causa forse dell'età degli studi, non è quindi valutata la possibile presenza di dischi allo stato solido (SSD, Solid State Drive), tecnologia di archiviazione dati ampiamente diffusa oggigiorno, e che è stata dimostrata rappresentare una quota sostanziale dell'impatto di apparati IT (Thinkstep on behalf of Dell, 2019).

Tabella 1.1 - Prospetto derivato dalla valutazione degli studi esistenti sull'LCA dei data center

Aspetto valutato	Shah et al. (2011)	Shah et al. (2012)	Whitehead et al. (2015)
CASO-STUDIO	Data center ipotetico	Data center reale	Data center reale
APPROCCIO LCA	LCA ibrida: process-based LCA semplificata + EIO-LCA	Modello parametrizzato semplificato	LCA ibrida semplificata: process-based LCA + EIO-LCA
IMPATTI AMBIENTALI VALUTATI	Energy, GWP, Total toxic releases, PM-10 (calcolati con eiolca.net)	13 categorie raggruppate in Ecosystem quality, Human Health & Resource Depletion (metodo Impact 2002+)	11 categorie raggruppate in Ecosystem quality, Human Health & Resource Depletion (metodo Eco-indicator 99 2.08)
SISTEMA e LIVELLO DI DETTAGLIO	IT (server, storage e apparati di rete), Sistemi di raffreddamento e idraulici, UPS e PDU, Edificio	Simili allo studio del 2011	7 sistemi: IT, strutturali, meccanici, elettrici, antincendio, idraulici ed esterni + componenti e materiali

FASI DEL CICLO DI VITA	Impatti embedded (incl. fine vita) e operativi	Simili allo studio del 2011	Produzione (100% materiali vergini eccetto acciaio), trasporto, funzionamento, fine-vita (apparecchiature: solo trasporto, cut-off per riuso e riciclo; elementi strutturali: riciclo o scarica)
RACCOLTA DATI e MODELLAZIONE	Server (modello rappresentativo): dati da studi esistenti di tipo process LCA Altre apparecchiature, elettricità: dati di costo; modelli EIO-LCA Modelli energetici (sistemi IT, di alimentazione e raffreddamento e vari)	Modellizzazione del data center attraverso 28 parametri (principali caratteristiche costruttive e operative e relativi fattori di impatto ambientale, ricavati attraverso dataset ecoinvent)	Dati primari su componenti, quantità di materiali Costi di acquisto o stimati Modello energetico Per la modellizzazione: dati secondari da studi esistenti di tipo process-LCA + modelli EIO-LCA

Fonti: Shah et al., 2011, 2012; Whitehead et al., 2015

1.3 Obiettivi della ricerca

L'obiettivo principale del presente studio è lo sviluppo e l'applicazione di un modello per la valutazione dei carichi ambientali dei data center basato sulla metodologia Life Cycle Assessment e che permetta di fornire un maggiore livello di specificità e dettaglio rispetto agli studi esistenti.

In particolare, il modello elaborato dovrebbe consentire di tracciare gli impatti ambientali dei principali componenti di un data center lungo la filiera di fornitura, entrando nel dettaglio di sotto-componenti, materiali, fasi di trasporto, processi di produzione, consumi energetici, emissioni inquinanti, ecc., individuando gli "hotspot", ovvero le fonti di maggiore impatto (ad esempio: quali sotto-componenti di un server impiegano il

maggiore consumo di risorse materiali? Quali di queste ultime necessitano di maggiori consumi elettrici per il loro processamento?).

L'obiettivo finale è quello di fornire agli operatori di data center un modello di analisi di riferimento che, sviluppato per la propria realtà tramite le opportune modifiche ed estensioni, potrà essere utile per acquisire informazioni concrete per una gestione più sostenibile della propria infrastruttura, magari attraverso l'acquisto di apparecchiature con caratteristiche costruttive "meno impattanti", o l'approvvigionamento di energia da determinate fonti.

Al fine di poter essere implementato in limiti di tempo e risorse accettabili, il modello proposto mira a ottenere un adeguato compromesso tra la rappresentazione quanto più fedele di uno specifico data center e la necessità di semplificare un'infrastruttura estremamente complessa, caratterizzata da un'enorme varietà di sistemi tecnologici e da una limitata disponibilità di dati sugli stessi.

Nell'ottica di fornire una maggiore concretezza allo studio, il modello di analisi è stato applicato a un data center reale, il VSIX di Padova. Questo rappresenta un interessante caso-studio, vista l'elevata varietà di sistemi IT e TLC in esso presenti. Inoltre, essendo tale infrastruttura alimentata da energia elettrica da fonti rinnovabili, essa fornisce l'opportunità di indagare un caso diverso rispetto a quelli prevalentemente analizzati dalla letteratura esistente, in cui il mix energetico è ampiamente basato su fonti fossili.

1.4 Il caso studio del VSIX

Il VSIX, assunto come caso-studio della ricerca, è un'infrastruttura gestita dal Centro per la Connettività e i Servizi al Territorio dell'Università degli Studi di Padova. La proprietà dell'Ateneo ha permesso quindi l'accesso alla struttura e l'ampia collaborazione da parte dei gestori e tecnici del VSIX, per il reperimento delle informazioni necessarie all'analisi.

Il VSIX nasce nel 2009 come Neutral Access Point (NAP) e telehouse per il nord-est d'Italia, per fornire agli operatori Internet e ai principali Enti del territorio la possibilità di scambiare traffico e servizi in un nodo neutrale, ad alta efficienza, scalabilità e sicurezza.

Il ruolo primario del VSIX è tutt'ora quello di Internet Exchange Point (IXP): esso si pone come punto di accesso neutrale all'interconnessione tra le reti di più operatori Internet, permettendo loro di ottimizzare le risorse di comunicazione a lunga distanza e migliorando l'assetto complessivo della rete internet del territorio.

Attualmente il VSIX è il quarto nodo di interscambio italiano per volume di traffico pubblico e privato raggiunto, dopo Milano, Roma e Torino. In particolare, il picco del traffico di peering si attesta sui 100Gbps e il traffico medio su base annuale è di circa 40Gbps (dati riferiti al 2022).

Lo scopo del Centro è quello di favorire e facilitare le attività volte all'ottimizzazione delle infrastrutture di connettività, anche in termini di sicurezza. In tal senso, nel 2019 il VSIX ha ottenuto la certificazione ISO27001 – che definisce i requisiti per un sistema di gestione della sicurezza delle informazioni – e il riconoscimento del programma MANRS – iniziativa globale supportata dall'Internet Society – per la compatibilità con tutte le 5 azioni previste per impegnarsi nella sicurezza del routing delle reti internet.

Pur mantenendo il ruolo primario di IXP, negli anni il VSIX ha esteso la propria offerta di servizi, acquisendo anche la funzione di data center; in particolare, ad oggi il VSIX include i seguenti campi di applicazione:

- Internet Exchange (Peering pubblico e privato): l'infrastruttura di rete è stata realizzata pensando alle esigenze degli Internet Service Provider (ISP) e operatori di telecomunicazione di qualsiasi dimensione spaziale (regionale, nazionale e internazionale) interessati ad erogare i propri servizi nel nord-est d'Italia. Sono disponibili due accessi distinti per la fibra ottica, provenienti da vie differenti in modo da offrire agli aderenti la massima ridondanza. È possibile accedere al VSIX con fibra propria o attraverso circuiti forniti dai carrier ospitati. All'interno della struttura è presente un sistema di cablaggio strutturato denominato Meet-me-Room che permette l'interconnessione passiva di qualsiasi rack del datacenter mediante delle semplici permutazioni in fibra ottica monomodale. La piattaforma di Peering è composta da una serie di switch ad alte prestazioni ed elevata scalabilità con disponibilità di porte ethernet in fibra ottica fino a bit-rate di 100Gbps per porta e da due Route Server per l'automatizzazione del Peering.
- Colocation per carrier e ISP: il VSIX offre spazi di colocation in rack, sui quali gli aderenti possono attivare i propri apparati di trasporto e routing. Il servizio include ovviamente l'alimentazione elettrica, il raffrescamento, il controllo accessi e l'infrastruttura passiva di interconnessione (meet-me-room) per la connessione con gli afferenti e gli altri carrier, secondo specifiche di connettività configurabili.

- Housing istituzionale e selettivo: il primo è costituito da servizi di ospitalità per istituzioni quali l'Università di Padova, il GARR ed alcuni enti territoriali, creati su misura a seguito di convenzioni quadro o accordi cooperativi tra enti. L'housing selettivo offre invece servizi di ospitalità promiscua su rack dedicati, rivolti alle aziende interessate a distribuire nel territorio grossi volumi di contenuti elettronici (CDN, Streaming VIDEO) con forte connotazione nel campo della formazione e della ricerca o che forniscano servizi privati o pubblici riconosciuti come di ampia utilità.

Il data center del VSIX è ubicato al sesto piano di un edificio in zona industriale a Padova (Figura 1.1). Esso si sviluppa su una superficie di 200 m² suddivisa in 5 sale, a cui si aggiunge il locale tecnico ospitante i quadri elettrici generali e l'UPS, mentre il gruppo elettrogeno, di backup in caso di interruzione prolungata dell'alimentazione elettrica dalla rete, è situato nel giardino esterno al piano terra. Il mantenimento del livello di temperatura degli apparati IT/TLC e dell'UPS all'interno dei range permessi è garantito da un sistema di raffreddamento delle sale ad espansione diretta, con unità esterne collocate sulla copertura dell'edificio.

Figura 1.1 - Edificio in cui, al sesto piano, è collocato il VSIX



Fonte: VSIX

Dei circa 65 armadi IT/TLC presenti, la maggior parte (una sessantina) ospita apparati di proprietà degli aderenti, mentre i restanti apparati appartengono all'Università degli Studi di Padova e al nodo GARR (rete della ricerca). Il carico IT complessivo attuale è pari a circa 84kW.

L'infrastruttura presenta una ridondanza delle componenti elettriche e di raffrescamento di tipo Tier II, secondo i parametri di classificazione di Uptime Institute, ed assicura una disponibilità di servizio su base annua pari al 99,741%.

2. Sviluppo del modello e raccolta dati

2.1 Standard e linee guida per l'applicazione dell'LCA

L'analisi condotta segue i principi e la struttura descritti negli standard ISO 14040:2006 (ISO, 2006a) e ISO 14044:2006 (ISO, 2006b), i quali costituiscono la normativa di riferimento a livello internazionale per lo svolgimento delle analisi LCA.

Tali standard prevedono che un'analisi LCA includa, all'interno di un processo iterativo, le seguenti quattro fasi principali:

- **Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi** (Goal and scope definition): in questa fase preliminare vengono definiti, in funzione dell'obiettivo dello studio, i confini del sistema, l'unità funzionale rispetto alla quale rapportare i risultati e le categorie di impatto considerate.
- **Analisi di inventario** (LCI, Life Cycle Inventory): consiste nel creare un modello del ciclo di vita del sistema analizzato, acquisendo i dati relativi ai flussi di input e output dei processi che lo costituiscono: beni e servizi, risorse materiali ed energetiche, emissioni, rifiuti, ...
- **Valutazione dell'impatto** (LCIA, Life Cycle Impact Assessment): consiste nell'associare ai suddetti flussi i relativi potenziali impatti ambientali rilevanti. In questa fase, si impiegano dati ricavati da letteratura o, più frequentemente, dataset che collegano a un materiale o processo i relativi impatti ambientali. Tali dataset sono ricavabili da apposite banche dati, tra le quali la più impiegata a livello internazionale èecoinvent, da cui deriva la maggior parte dei dati ambientali utilizzati nel presente studio.

- **Interpretazione dei risultati:** è la fase di analisi e comprensione dei risultati, attraverso cui si mira a fornire indicazioni per il miglioramento dell’LCA stessa – suggerendo ad esempio i flussi per cui migliorare la qualità dei dati raccolti – e per la riduzione degli impatti ambientali associati al bene o all’attività analizzati (ad esempio, identificazione di materiali o processi sostituibili da altri meno impattanti).

Linee guida utili per l’applicazione di tale metodo di analisi alla realtà dei data center sono contenute nel documento “Data Centre Life Cycle Assessment Guidelines” pubblicato nel 2012 da The Green Grid, un consorzio internazionale no-profit di industrie e stakeholder del settore IT (The Green Grid, 2012).

A tale documento si è fatto riferimento per lo sviluppo dell’analisi del ciclo di vita del VSIX, in particolare per la definizione dei confini del sistema sotto studio.

Esso contiene per lo più indicazioni metodologiche generali, mentre non fornisce dettagli operativi sulla raccolta dei dati necessari e sulla modellizzazione dei componenti costituenti il data center.

Per questa parte dell’analisi, ci si è in larga misura richiamati, seppur con un approccio semplificativo, agli standard sviluppati congiuntamente da ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e ITU (International Telecommunication Union) e pubblicati rispettivamente nei due documenti ETSI ES 203 199 (ETSI, 2015) e ITU-T L.1410 (ITU, 2014) tecnicamente equivalenti. Tali standard mirano a completare le indicazioni delle ISO 14040 e ISO 14044 nell’analisi ambientale del ciclo di vita di beni, reti e servizi del settore ICT.

2.2 Metodologia semplificata adottata

La Tabella 2.1 riporta una lista dei principali componenti base dei sistemi ICT ricavata a partire da informazioni tratte dagli standard ETSI-ITU. Per ognuno dei componenti, in maniera esemplificativa e non esaustiva, sono riportati i dati utili alla loro modellizzazione ai fini della stima degli impatti ambientali. Si tratta essenzialmente di informazioni sulle **caratteristiche quantitative** (numero di pezzi, dimensioni, massa, ...) e sui **materiali** impiegati, oltre che su caratteristiche specifiche di ciascun componente (ad esempio, per le schede elettroniche PWB, il numero di strati e il tipo di rifinimento superficiale).

Tabella 2.1 - Classificazione dei principali componenti costituenti i sistemi ICT e relative informazioni da raccogliere ai fini dell'LCA

Tipo di componente	Dati necessari
Chassis, elementi strutturali	Materiali, massa
Ventilatori (incl. case)	Materiali, massa
Power supply Units (PSUs)	Tipologia, taglia, efficienza energetica (rating)
PWBs (schede madri o altre tipologie)	Area, numero di strati (layers), rifinitura superficiale (surface finish), ...
Circuiti integrati (ICs)	Tipologia, die area, die/package area, ...
Transistori e diodi	N. pezzi, massa per tipologia
Altri componenti per PCBAs (resistori, capacitori, induttori, ...)	N. pezzi, massa per tipologia
Dispensori di calore (heatsinks)	Materiali, massa
Cavi	Tipologia, lunghezza/massa per tipologia
Batterie	Tipologia, taglia (capacità/massa) per tipologia
Imballaggi	Materiali, massa

Fonte: Elaborazione informazioni da ETSI (ETSI, 2015)

Oltre a queste caratteristiche costruttive, gli standard indicano i **processi** rilevanti della fase di fabbricazione del componente stesso (es. acquisizione delle materie prime, produzione di chip, assemblaggio) per cui rilevare i dati ambientali, ovvero i consumi energetici e di acqua, l'uso di agenti chimici, le emissioni prodotte, ecc. Infine, per le fasi di **trasporto** di componenti e sotto-componenti sono da reperire informazioni sulle distanze percorse e i mezzi utilizzati.

Il livello di dettaglio dei dati richiesto pone subito in evidenza come l'applicazione di un'analisi LCA dettagliata a un sistema estremamente complesso come quello di un data center sia pressoché impossibile. L'LCA è di per sé un processo dispendioso in termini di tempo e risorse, anche quando applicato a un sistema relativamente semplice. Tempo e risorse necessari crescono esponenzialmente se si considerano i componenti tipici di un data center e in particolare le apparecchiature informatiche. Un singolo componente elettronico, come ad esempio la scheda madre di un server, può infatti essere costituito da decine di tipologie diverse

di componenti, per un totale di migliaia di pezzi tra capacitori, resistori, circuiti integrati, dispersori di calore, ecc., i quali presentano le proprie caratteristiche e la propria “storia di origine”. Per di più, è disponibile una quantità limitata di dati primari o secondari sulle apparecchiature e sui sistemi utilizzati in un data center.

Gli stessi ETSI e ITU sottolineano che gli standard forniscono dei requisiti di riferimento a cui si dovrebbe tendere, ma la cui piena soddisfazione potrebbe non essere possibile, a causa di limiti degli strumenti LCA disponibili, di mancanza di dati o per insufficiente dettaglio e specificità dei dati disponibili (ETSI, 2015; ITU, 2014).

A valle di queste considerazioni, nella presente ricerca si è cercato di sviluppare una **metodologia di semplificazione dell’LCA** che consentisse una valutazione del caso-studio in esame (il VSIX) sufficientemente accurata agli scopi della ricerca, ricercando un compromesso con le risorse e il tempo a disposizione.

In una prima fase di semplificazione, i sistemi del VSIX, e in particolare le centinaia di modelli diversi di sistemi IT, TLC, di alimentazione elettrica e di raffreddamento, sono stati raggruppati in categorie in base alle loro funzionalità e caratteristiche costruttive. In una fase successiva, ciascuna di queste categorie è stata rappresentata tramite uno stesso **modello di riferimento**, scalato per il numero di unità della categoria o tramite altri parametri come la massa o le dimensioni.

Per ciascuno dei modelli rappresentativi delle varie categorie si è quindi proceduto a raccogliere i dati necessari all’LCA. In questa fase, per alcuni modelli di apparati IT presenti presso il VSIX si è cercato di ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive dai rispettivi produttori; i tentativi non hanno tuttavia portato a esiti positivi (trattandosi di informazioni legate a segreto industriale, le aziende produttrici sono estremamente restie a divulgarle).

Per la raccolta dei dati sui componenti si è quindi fatto ricorso a fonti di diverso tipo; sono stati in particolare utilizzati:

- **dati primari** sui sistemi presenti presso il VSIX (tipologie di componenti, quantità, eventuali caratteristiche specifiche) e sulla fase di funzionamento del data center stesso (consumi energetici ed emissioni), ricavati da documentazione tecnica e sopralluoghi con il supporto del personale del VSIX.
- **dati secondari** per la modellizzazione dei componenti (sotto-componenti, materiali, processi di fabbricazione, ...), ricavati principalmente da studi LCA esistenti, letteratura scien-

tifica e rapporti tecnici di modelli simili. Fanno parte dei dati secondari anche i dataset ambientali – ricavati dalla banca data *ecoinvent v3.9* – che sono stati utilizzati per la modellizzazione, sia a livello di singoli materiali o processi (es. produzione di wafer di silicio, consumo di energia elettrica, ...), sia a livello di componenti (es. PSU, PWB, ...).

- **ipotesi e assunzioni**, ad esempio sui luoghi di produzione o assemblaggio dei componenti e sulle distanze e modalità di trasporto fino al VSIX.

Per la gestione dei dati ambientali, la modellizzazione e l'analisi del ciclo di vita, è stato utilizzato il software **SimaPro 9.4.0.2 PhD** messo a disposizione dal dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova, nel quale sono già implementate di default le librerie di **ecoinvent v3.9**, oltre a quelle di diverse altre banche dati LCI.

Nei paragrafi successivi si descrivono le principali fasi del metodo LCA semplificato adottato per l'analisi degli impatti ambientali del VSIX.

2.3 Confini del sistema e fasi del ciclo di vita

Nella fase preliminare di ogni studio LCA vanno attentamente definiti ed esplicitati i confini dell'analisi, ovvero va stabilito quali sistemi e operazioni includere nell'LCA e quali invece escludere.

Benché non esistano regole definite per stabilire i confini di un data center ai fini dell'LCA, in questo studio ci si è richiamati ai criteri proposti da The Green Grid (The Green Grid, 2012). In ogni caso, nei confini dovrebbero rientrare tutte le parti del data center aventi impatti ambientali significativi.

La Tabella 2.2, elaborata sulla base delle indicazioni di The Green Grid, riporta gli elementi da includere nei confini del data center. Nel presente studio, nei confini del VSIX sono stati considerati tutti gli elementi "obbligatori" secondo la tabella, ovvero gli **apparati IT** (server, storage, apparati di rete come switch e router, cavi dati, armadi IT con i loro accessori, ecc.), i **sistemi per il loro raffreddamento** e le **apparecchiature elettriche** necessarie per il corretto funzionamento del data center (sistemi di distribuzione, sistemi di continuità come UPS, batterie e gruppo elettrogeno e apparati per il miglioramento della qualità elettrica come STS, RPS, ecc.). Tra i componenti non obbligatori, è stato scelto di considerare l'infrastruttura dell'**edificio**; essendo tuttavia questo un edificio preesistente, al VSIX è stata assegnata la quota di impatto *embedded* attribuibile al periodo di funzionamento del data center, inferiore rispetto alla vita utile del fabbricato.

Sono invece stati esclusi dai confini del data center:

- alcuni sistemi presenti negli armadi delle sale IT, quali alcuni piccoli computer e consolle (monitor e tastiere);
- i sistemi di illuminazione, il sistema antincendio e i sistemi di canalizzazione di cavi elettrici e cavi dati;
- la parte uffici del VSIX, collocata sullo stesso piano delle sale dati;
- i cavi in fibra ottica di collegamento tra il piano dell'edificio in cui è collocato il VSIX e le dorsali metropolitane (piano strada);
- gli imballaggi utilizzati per il trasporto dei componenti al VSIX (non inclusi nei confini dell'analisi per insufficienza di dati disponibili sugli stessi).

Tabella 2.2 - Elementi da includere nei confini del data center ai fini dell'LCA

Componenti del data center		
Tipologia	Da includere (obbligatori)	Da includere solo nel caso sia stabilito un impatto significativo
IT	Server & Storage Apparati di rete: switch, router, firewall, ... Cassetti ottici & Patch panels Cavi dati (rame e fibra) Armadi rack & Accessori	Computer, monitor, tastiere, stampanti, ...
Power supply	Power Distribution Units (PDU) Apparati di alimentazione: STS, RPS, ... Batterie UPS Quadri elettrici Gruppo elettrogeno Cavi elettrici	

Cooling	Unità interne Unità esterne Tubazioni Refrigerante	
Altro		Altri sistemi vari, es. sistemi di illuminazione delle sale IT Sistema antincendio Uffici
Building		Struttura dell'edificio

Fonte: Elaborazione informazioni da The Green Grid (The Green Grid, 2012)

In uno studio LCA, con la definizione dei confini del sistema si individuano anche le fasi e i processi da includere nell'analisi del ciclo di vita. In particolare, per il caso-studio del VSIX sono stati valutati gli impatti ambientali riferiti alle seguenti fasi, presentate in Figura 2.1:

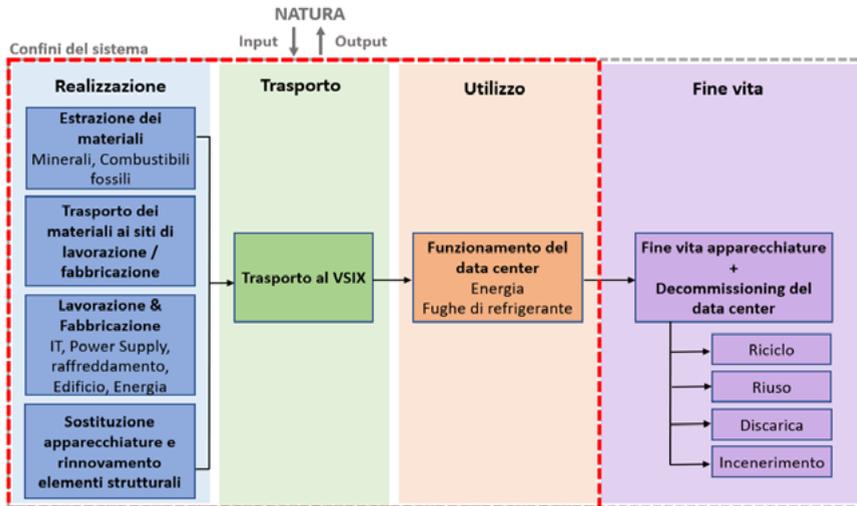
- **realizzazione dei componenti e costruzione del data center:** include l'estrazione delle materie prime minerali e fossili, il loro trasporto ai siti in cui vengono utilizzate e i processi di produzione dei componenti del data center, inclusi quelli da rifornire per il rinnovamento del data center (sostituzione sistemi malfunzionanti o obsoleti o aggiornamento con altri più efficienti); il trasporto dei sotto-componenti (es. chassis, PSU, schede elettroniche, ...) fino al luogo di assemblaggio delle apparecchiature (es. server) sono inclusi in questa fase.
- **trasporto** dei componenti (materiali da costruzione e apparecchiature) al sito del data center;
- **utilizzo del data center:** include i consumi energetici e le dispersioni di refrigerante del sistema di raffreddamento; sono invece esclusi altri aspetti quali ad esempio le attività del personale (uso degli uffici, viaggi, ristorazione, ecc.).

La **gestione del fine vita dei componenti e del data center stesso**, che include eventuali operazioni di riuso e riciclo e di smaltimento finale, non è stata analizzata nel presente studio; per insufficienza di dati e difficoltà a reperirli non è stato infatti possibile elaborare scenari di fine vita attendibili per i vari componenti del data center.

Inoltre, per la realizzazione dei componenti del data center è ipotizzato l'utilizzo di sole **materie prime vergini**, trascurando quindi l'impiego

di materiali riciclati, in quanto non sono stati reperiti sufficienti dati sulle eventuali percentuali di questi nei componenti oggetto dell'analisi.

Figura 2.1 - Fasi del ciclo di vita del VSIX considerate nell'LCA



Fonte: Elaborazione informazioni da Whitehead et al. (Whitehead et al., 2015)

2.4 Unità funzionale

L'unità funzionale del sistema in analisi è l'unità di riferimento a cui rapportare tutti i dati relativi ai flussi ambientali di input e output e i risultati finali dell'analisi stessa. Considerare l'unità funzionale è fondamentale quando si vuole ad esempio confrontare tra loro sistemi differenti ma aventi funzione equivalente.

L'unità funzionale di un sistema dovrebbe idealmente considerare la funzione finale dello stesso; nel caso di un data center ci si potrebbe quindi riferire alle sue capacità di calcolo e di storage. Tuttavia, la valutazione di queste può risultare complessa, specialmente in una struttura con servizi di colocation e housing come quella del VSIX, dove non si dispone di informazioni sugli apparati degli operatori aderenti.

Nel nostro caso studio è stato quindi deciso di riferirsi alla potenza dei sistemi IT installati, assumendo come unità funzionale **“un anno di funzionamento dell'infrastruttura VSIX, caratterizzata da 84 kW di potenza IT media annuale e da livello di ridondanza Tier II”**.

2.5 Metodo di valutazione degli impatti

Come già discusso nell'introduzione al presente capitolo, l'LCA mira a quantificare e descrivere gli impatti sulla salute umana, sulle risorse naturali e sugli ecosistemi generati lungo il ciclo di vita di un sistema, per effetto dell'impegno di risorse materiali, acqua ed energia e dell'emissione di sostanze in aria, acqua e suolo. Diversi gruppi di ricerca nel mondo hanno sviluppato dei metodi per valutare e quantificare tali impatti; ognuno di questi presenta categorie di impatto e/o metodi di calcolo diversi, e non vi sono indicazioni univoche su quale metodo vada adottato in uno specifico caso di analisi. Per il settore ICT, ETSI indica come obbligatoria l'inclusione della categoria di impatto del Cambiamento Climatico (Climate Change) legato alle emissioni di gas a effetto serra nell'aria; questo deve essere valutato attraverso i fattori di caratterizzazione sviluppati dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e sull'orizzonte temporale di 100 anni. Per quanto riguarda invece le altre categorie di impatto da considerare, sia ETSI che The Green Grid lasciano al conduttore dell'LCA la scelta di quelle più appropriate al caso specifico (ETSI, 2015; The Green Grid, 2012).

In questo studio, per la valutazione degli impatti del ciclo di vita del VSIX è stato scelto il metodo europeo CML-IA baseline / EU25, già implementato in SimaPro (PRé Sustainability, 2022). Questo include le seguenti 11 categorie di impatto:

- consumo di risorse abiotiche (minerali)
- consumo di risorse abiotiche (combustibili fossili)
- potenziale di riscaldamento globale
- assottigliamento dello strato dell'ozono
- tossicità sull'uomo
- ecotossicità per le acque dolci
- ecotossicità per le acque marine
- ecotossicità terrestre
- ossidazione fotochimica
- acidificazione
- eutrofizzazione

2.6 Raccolta dati e assunzioni

La raccolta dei dati sulle strutture e i componenti del VSIX è stata effettuata primariamente in loco grazie al supporto dei tecnici ed operatori della struttura, che hanno permesso la rilevazione delle informazioni

tramite sopralluoghi e documentazione tecnica e l'accesso ai dati rilevati dai sistemi di misura dei consumi energetici, oltre a fornire informazioni utili sulla base della loro conoscenza ed esperienza. Tali informazioni sono state integrate con ipotesi quali le distanze e modalità di trasporto delle apparecchiature e la vita utile delle stesse, basate principalmente su informazioni medie per tipo di sistema.

Nel seguito la descrizione della raccolta dati è presentata separatamente per i componenti contenuti negli armadi delle sale IT (paragrafo 2.6.1) e per tutti gli altri sistemi (servizi generali e struttura dell'edificio, paragrafo 2.6.2).

2.6.1 Componenti negli armadi IT

La raccolta dati è iniziata con la realizzazione di un inventario dei sistemi contenuti negli armadi delle sale IT. Gran parte di questi non sono infatti di proprietà del VSIX ma degli operatori che usufruiscono dei suoi servizi di colocation e housing, per cui non esisteva alcun database relativo a tali apparati.

Per ciascuno degli apparati collocati negli armadi sono stati rilevati principalmente la **tipologia** e il **numero di unità rack occupate** dallo stesso. In totale sono stati conteggiati oltre 1.000 singoli apparati IT e sistemi di alimentazione, per un totale di quasi 1.600 unità rack, distribuite su circa 65 armadi. I sistemi sono stati raggruppati in 14 categorie (Tabella 2.3) sulla base delle loro funzionalità e caratteristiche costruttive. In questo modo, secondo la metodologia di semplificazione adottata ed esposta nel paragrafo 2.2, si è cercato di ridurre il numero di sistemi da modellizzare anche sulla base delle informazioni utili all'LCA reperite su di essi.

Ad esempio, non è stata fatta distinzione tra apparati di rete switch e router, in quanto uno stesso modello può spesso essere usato per l'una o l'altra funzione; nella stessa categoria sono stati inoltre inclusi altri apparati di rete come sistemi WDM, DWDM, OTN e sistemi di controllo antenne. Anche se questi sistemi differiscono in modo importante nelle caratteristiche costruttive, essi sono stati raggruppati nella categoria più generale "apparati di rete" e modellizzati come uno switch in quanto solo per quest'ultima tecnologia si è potuto ricavare dati utili all'LCA.

Tabella 2.3 - Apparecchiature negli armadi IT del VSIX.

NOTA: Le categorie Consolle, Computer, Distribuzione elettrica e Stazione di energia sono qui riportate ma non analizzate nell'LCA per dati insufficienti; i relativi impatti sono comunque ritenuti trascurabili rispetto al ciclo di vita del VSIX

Tipologia sistema	Categoria	N. unità rack (U)
IT	Apparato di rete	657
	Server e storage	232
	Cassetto ottico	245
	Passacavi	127
	Patch panel	74
	Pannello riempitivo	49
	Supporto estraibile	8
	Consolle	6
	Computer	1
Alimentazione elettrica	PDU (Power Distribution Unit)	107
	Apparati di alimentazione vari	34
	Distribuzione elettrica	20
	Batterie	20
	Stazione di energia	2

Similmente, raddrizzatori, convertitori di tensione e sistemi RPS e STS sono stati raggruppati nella stessa categoria “apparati di alimentazione vari” e modellizzati come dei sistemi ATS, in quanto questa tecnologia è l’unica a cui si è ritenuto di poter assimilare le precedenti e per cui è stato possibile acquisire dati utili all’LCA.

Delle quasi 1.600 unità di apparecchiature rilevate negli armadi presso il VSIX, ben 657 sono rappresentate da apparati di rete, mentre solo 232 sono quelle di server e storage. La prevalenza del numero di unità di apparati di rete rispetto a server e storage è ovviamente dovuta alla specificità del caso studio in esame, che è primariamente un *Internet Exchange Point* (IXP) oltre che un data center.

Oltre al numero di unità per le varie tipologie di sistemi, è stato poi rilevato il numero delle unità di **archiviazione dati** contenute nei server e storage, distinguendo tra SSD e HDD. Su indicazioni di stima fornite dai

tecnici del VSIX, per le SSD, tutte di dimensioni 2,5'', è stata ipotizzata una capacità media di 2TB; per gli HDD sono state invece considerate due tipologie medie di riferimento: un HDD "piccolo" di 2,5'' da 2 TB e un HDD "grande" di 3,5'' da 6 TB. Il numero totale di dischi rilevato per ciascuna tipologia è riportato in Tabella 2.4.

Tabella 2.4 - Numero e caratteristiche medie dei dischi degli apparati server e storage del VSIX

Dischi - tipologia e caratteristiche medie	Numero
HDD 6TB, 3.5''	591
HDD 2TB, 2.5''	514
SSD 2TB, 2.5''	62
TOTALE	1167

La rilevazione dei dati sui dischi di archiviazione è risultata essenziale in quanto dall'analisi di letteratura è emerso che questi componenti possono costituire un'importante fonte di impatto, variabile a seconda della tipologia e delle dimensioni e capacità del disco (Thinkstep on behalf of Dell, 2019).

2.6.2 Sistemi e infrastrutture generali

Per i sistemi e le infrastrutture generali, ovvero per tutti i componenti diversi da quelli contenuti negli armadi IT trattati nel paragrafo precedente, sono state rilevate – o in alcuni casi stimate – le principali caratteristiche quali il numero di unità, la quantità (massa, lunghezza, ...), i materiali ed eventuali altri dati tecnici utili (Tabella 2.5).

Ad esempio, per le batterie dell'UPS sono stati ricavati numero, peso e tipologia dai relativi documenti di acquisto e schede tecniche mentre, per i cavi elettrici, sono state ricavate sezioni e lunghezze a partire dagli schemi elettrici unifilari della struttura, unendo a verifiche e misurazioni in loco sugli impianti elettrici.

Questi dati, integrati con altri da letteratura, schede tecniche o studi LCA, sono serviti alla modellizzazione di tali componenti ai fini dell'LCA, come verrà trattato nel paragrafo 2.7.2.

Tabella 2.5 - Informazioni da raccogliere ai fini dell'LCA dei sistemi e infrastrutture generali del VSIX

Tipologia sistema	Categoria	Caratteristiche rilevate
IT	Armadi rack	Numero e dimensioni prevalenti - da rilevazione
	Cavi dati in rame (dorsali e bretelle)	Lunghezza - da stima (numero connessioni totali/attive; lunghezza media)
	Cavi dati in fibra (dorsali e bretelle)	Lunghezza - da stima (numero connessioni totali/attive; lunghezza media)
Alimentazione elettrica	UPS con batterie	Caratteristiche UPS e batterie (+ numero) - da documentazione tecnica e di acquisto
	Quadri elettrici	Dimensioni - da misurazioni
	Gruppo elettrogeno	Caratteristiche e massa - da documentazione tecnica e di fornitura
	Cavi elettrici (diverse sezioni)	Lunghezza - da schemi elettrici unifilari + stime
Raffreddamento	Unità interne	Caratteristiche - da dati di targa
	Unità esterne	Caratteristiche - da dati di targa
	Tubazioni	Lunghezze circuiti - da stima; diametro - da misurazione
	Refrigerante (carico iniziale e ricariche)	Tipo refrigerante e massa - da azienda di manutenzione per carico iniziale; stime per ricariche
Edificio	Edificio (spazio occupato dal data center)	Superficie - da planimetria

2.6.3 Trasporto dei componenti al VSIX

Per il calcolo degli impatti legati al trasporto dei componenti del VSIX dal luogo di produzione o assemblaggio degli stessi fino al luogo di utilizzo (Padova), sono state raccolte le informazioni relative alla massa di

ciascun componente trasportato³, ai mezzi di trasporto utilizzati e alle distanze coperte (modalità e distanze sono sintetizzate in Tabella 2.6).

Tabella 2.6 - Modalità e distanze di trasporto assunte per l'analisi degli impatti della fase di trasporto dei componenti dal luogo di produzione/assemblaggio al VSIX

Componenti	Luogo di produzione o assemblaggio	Modalità e distanze di trasporto		
		Nave [km]	Treno [km]	Autocarro [km]
UPS	Nord Italia (Vicenza)			50
Quadri elettrici	Nord Italia (Milano)			200
Armadi IT, Gruppo elettrogeno, Tubazioni, Refrigerante	Europa Centrale		800	200
Server e Storage, Apparati di rete	Polonia (Lodz)			1.200
Unità di climatizzazione interne ed esterne	Belgio		1.000	200
Restanti componenti IT e di alimentazione, Batterie, Cavi elettrici	Cina	18.000		1.200

Le modalità e distanze di trasporto sono basate su proprie ipotesi e su informazioni da schede di prodotto o studi condotti su componenti simili. Ad esempio, per le unità di climatizzazione il luogo di produzione (Belgio) è stato ricavato dai dati di targa; la distanza percorsa – per cui sono state ipotizzate due modalità (trasporto su rotaia e su strada) – è stata ricavata da Google Maps. Per la maggior parte dei componenti IT sono invece stati assunti gli stessi luoghi di produzione o assemblaggio e le stesse modalità di trasporto e distanze indicati per il server DELL PowerEdge R740 nello studio LCA condotto da Thinkstep (Thinkstep on behalf of Dell, 2019).

2.6.4 Vita utile dei componenti

La stima della vita media utile dei componenti è fondamentale per determinare quante volte essi vengono sostituiti lungo la fase di funzio-

³ Sono escluse le masse degli imballaggi, in quanto non è stato possibile ricavare i relativi valori per tutti i componenti.

namento del data center (assunta pari a 30 anni nel nostro caso-studio) e quale sia quindi l'impatto complessivo per la loro produzione lungo il ciclo di vita della struttura. I valori di vita utile per i sistemi del nostro caso studio, riportati in Tabella 2.7, sono stati ricavati dalle linee guida di The Green Grid (The Green Grid, 2012) e in alcuni casi rivisti sulla base di informazioni dai tecnici del VSIX. I valori vanno dai 5 anni per gli apparati server e storage e di rete fino ai 60 anni per la struttura dell'edificio.

Tabella 2.7 - Valori di vita utile assunti per i sistemi del VSIX

Tipologia sistema		Vita utile [anni]
Data Center-IXP (VSIX)		30
Edificio		60
IT	Server & Storage	5
	Apparati di rete	5
	Cassetti ottici & Patch panels	15
	Cavi dati (rame e fibra)	20
	Armadi rack & Accessori	20
Alimentazione elettrica	PDUs	10
	Apparati di alimentazione vari	10
	Batterie	7
	UPS	20
	Quadri elettrici	20
	Gruppo elettrogeno	20
	Cavi elettrici	30
Raffreddamento	Unità interne	20
	Unità esterne	20
	Tubazioni	30
	Refrigerante (ricariche a parte)	20

Fonte: LCA e informazioni dai tecnici del VSIX

2.6.5 Consumi energetici

I valori di energia elettrica consumata dal VSIX durante un anno di funzionamento sono stati ricavati dai valori di potenza assorbita registrati dai sistemi di misurazione installati presso la struttura; in particolare, sono stati considerati i seguenti valori di potenza media assorbita:

- **sistemi IT** (misuratore installato nell'UPS): valore medio a giugno 2022 (84 kW);
- **sistemi di alimentazione**: sono state valutate le sole perdite dell'UPS, stimate a partire dal carico IT (assunto pari al valore in uscita dall'UPS, rilevato da misuratore) applicando il rendimento dell'UPS pari al 96,5% ricavato dalla relativa scheda tecnica; sono state trascurate le perdite nei sistemi di alimentazione elettrica diversi dall'UPS (PDU, convertitori di tensione, sistemi RPS, cavi elettrici, ...) in quanto difficilmente stimabili.
- **sistemi di raffreddamento** (differenza tra il valore misurato al quadro elettrico generale del data center e il valore stimato in ingresso all'UPS): potenza media nei 12 mesi precedenti a giugno 2022, riadattata per tenere conto del carico IT di 84 kW (valore rilevato a giugno 2022 e a cui è stata riferita l'unità funzionale dell'analisi), maggiore rispetto all'anno precedente.

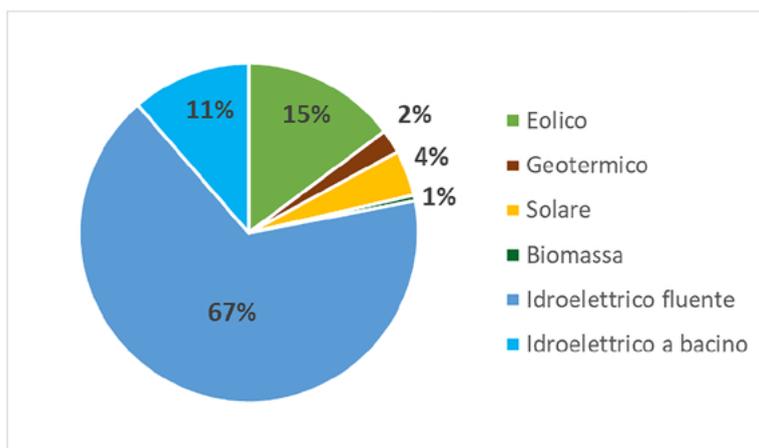
I valori di potenza media assorbita e i rispettivi consumi annuali sono riportati in Tabella 2.8.

Tabella 2.8 - Potenza media assorbita e consumi elettrici dei principali sistemi del VS

Tipologia sistema	Energia elettrica	
	Potenza media [kW]	Consumo annuale [MWh/anno]
IT	84	731
Alimentazione elettrica (perdite UPS)	3	26
Raffreddamento	24	207
TOTALE	110	964

L'energia elettrica utilizzata è acquistata dall'Università in convenzione CONSIP ed è interamente proveniente da fonti rinnovabili. Lo specifico mix di generazione (Figura 2.2) è stato ricavato dai certificati GSE di Garanzia d'Origine (GO) relativi agli acquisti di energia 2020-2021 forniti dall'Ateneo. La quota proveniente da energia idraulica, pari al 78% del totale, è stata ulteriormente suddivisa tra idroelettrico fluente e a bacino sulla base di dati medi sulla generazione idroelettrica in Italia⁴ relativi al 2021 e pubblicati da ENTSO-E (ENTSO-E, n.d.).

Figura 2.2 - Mix di generazione dell'energia elettrica utilizzata dal VSIX



Fonte: Certificati GSE di garanzia d'origine forniti dall'Ateneo; per il dettaglio sull'idroelettrico, dati ricavati da ENTSO-E Transparency Platform (ENTSO-E, n.d.)

Per quanto riguarda i consumi di gasolio del gruppo elettrogeno di backup, i tecnici del VSIX hanno indicato una stima di 100 litri/anno; questa è stata suddivisa tra sistemi IT, di alimentazione e di raffreddamento considerando la stessa ripartizione ricavata per i consumi di energia elettrica.

2.6.6 Emissioni di refrigerante

A partire dai dati forniti dai tecnici del VSIX e relativi alla manutenzione degli impianti di climatizzazione, sono state stimate le dispersioni

⁴ Dal mix idroelettrico è stata esclusa la produzione da pompaggi utilizzando energia elettrica dalla rete, in quanto a tale produzione non sono riconosciuti certificati GO (GSE Spa, 2013).

di gas refrigerante in ambiente a causa di fughe dai circuiti frigoriferi; si tratta di circa 3 kg emessi – e, di conseguenza, nuovamente ricaricati nei circuiti – mediamente ogni anno, di cui circa il 70% (2,2 kg) di refrigerante R410A e il restante 30% (0,8 kg) di R32 (quantità stimate dalle proporzioni tra le cariche iniziali contenute nei circuiti utilizzando l'uno o l'altro refrigerante, pari rispettivamente a 33,6 kg e 12,6 kg).

Gli impatti delle emissioni dirette – legate alla fase di utilizzo del sistema di raffreddamento e quindi del data center – dei due refrigeranti in atmosfera sono stati valutati tramite i relativi dataset di ecoinvent. Sono invece state trascurate le emissioni fuggitive e gli altri impatti legati alle fasi di produzione e trasporto dei refrigeranti acquistati (per la prima carica dei circuiti frigoriferi e per le ricariche successive), in quanto i necessari dati relativi a tali specifici refrigeranti (R410A e R32) non sono contenuti nelle librerie delle banche dati a disposizione. Studi condotti su altri tipi di refrigerante e limitati all'impatto climatico attribuiscono alle fasi di produzione e trasporto degli impatti limitati (Dieckmann, 1999; Weckert et al., 2007). Una valutazione specifica per i gas refrigeranti qui trattati richiederebbe uno studio complesso che va al di là degli scopi della nostra ricerca.

2.7 Modellizzazione dei componenti

Come già trattato nel paragrafo 2.2, la metodologia semplificata adottata per la valutazione del ciclo di vita del VSIX prevede di modellizzare ciascuna categoria di componenti presenti (Tabella 2.3 e Tabella 2.5) tramite un modello rappresentativo, “costruito” in SimaPro associando i dataset ambientali di ecoinvent ai dati sui sotto-componenti, materiali e processi di produzione del componente. Questi ultimi sono stati ricavati da analisi e misurazioni dirette sui componenti del VSIX e da dati secondari (principalmente letteratura scientifica, schede tecniche e studi LCA).

Per ciascuna categoria di componenti, il modello rappresentativo è stato poi scalato per il numero di unità o per la massa o le dimensioni (es. lunghezza) caratterizzante la categoria stessa, in modo da poter poi costruire il modello dell'intero VSIX.

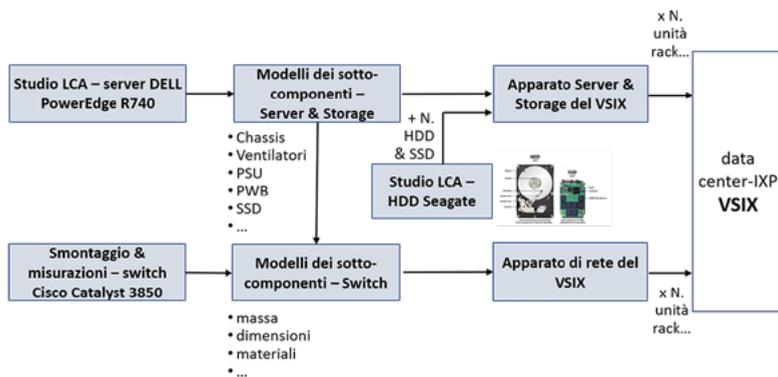
Nel seguito, nel paragrafo 2.7.1 è trattata la modellizzazione dei sistemi costituenti il “cuore del data center”, ovvero gli apparati server, storage e di rete; nel paragrafo 2.7.2 sono invece presentate le informazioni chiave su cui è stata basata la modellizzazione dei restanti componenti IT, dei sistemi di alimentazione elettrica e di raffreddamento e della struttura dell'edificio.

2.7.1 Server, storage e apparati di rete

Per le categorie “server e storage” e “apparati di rete”, il processo di modellizzazione in SimaPro ha seguito la struttura presentata schematicamente in Figura 2.3. Tale processo è risultato particolarmente laborioso, a causa della complessità dei sistemi coinvolti e dell’insufficienza di dati dalle aziende produttrici, restie a divulgare informazioni – considerate estremamente sensibili – sulle caratteristiche costruttive degli apparati.

La categoria “**server e storage**” è stata modellizzata utilizzando principalmente i dati dallo studio LCA del server **Dell PowerEdge R740 (da due unità rack, 2U)**, un modello comune tra i server presenti presso il VSIX, e l’unico per cui è stata trovata documentazione LCA sufficientemente dettagliata (Thinkstep on behalf of Dell, 2019). Il report dello studio, condotto da Thinkstep su commissione di DELL, contiene infatti molti dati sulle caratteristiche del server e dei suoi sotto-componenti, quali la tipologia, il numero di unità, la quantità (es. massa, superficie) e i materiali costituenti, oltre a dati sui processi produttivi coinvolti (es. consumi energetici) e sulle distanze e modalità di trasporto dei sotto-componenti e del server stesso.

Figura 2.3 - Struttura del processo di modellizzazione degli apparati server e storage e di rete del VSIX ai fini dell’analisi LCA



Attraverso questi dati sono stati creati, in SimaPro, i modelli dei singoli sotto-componenti del server (chassis, PSU, ventilatori, schede elettroniche PWB, dischi SSD), utilizzando i datasets ambientali diecoinvent sia a livello di singoli materiali (es. acciaio, oro, ...) o processi (es. produzione di wafer di silicio, utilizzo di energia elettrica), sia a livello di interi moduli (es. PSU, PWB, ventilatori...), nei casi in cui questi ultimi fossero

disponibili e ritenuti adeguati alla rappresentazione delle specifiche parti del server.

In Figura 2.4 si riporta l'esempio di modellizzazione della scheda madre del server con le sue 2 CPU e i relativi alloggiamenti e dispersori di calore.

Figura 2.4 - Esempio di modellizzazione di un sotto-componente, con dataset ambientali utilizzati da ecoinvent

Componente	Sotto-componenti / Materiali / Processi	N. unità	Caratteristiche	Unità di misura	Dataset ambientali da ecoinvent - Modellizzazione
PWB - Mainboard, incl. CPU	Mainboard PWB (PCB + components)	1	1,3630	kg	Own modelization starting from the two ecoinvent datasets Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb containing / free [GLO] market for APOS, S
area [cm ²]	Mainboard connectors	1	0,0016	kg	Battery cell, Li-ion [GLO] market for APOS, S
1925	Coin cell	1	0,0016	kg	Battery cell, Li-ion [GLO] market for APOS, S
mass [kg]	CPU with housing	2	1,2840	kg	
2,649					
	Heat sink	2	0,6600	kg	Aluminium, primary, ingot [ROW] market for APOS, S
	Plastic mount	2	0,0156	kg	Plastic injection moulded part 60% PC/40% ABS - modelled from ecoinvent datasets
	Thermal paste	2	0,0014	kg	Solder, paste, Sn95.5Ag4.5Cu0.6, for electronics industry [GLO] market for APOS, S (a)
	CPU socket on mainboard				
	stainless steel	2	0,2896	kg	Steel sheet (BCC)/GLO
	plastic	2	0,0026	kg	Plastic injection moulded part 60% PC/40% ABS - modelled from ecoinvent datasets
	CPU:	2	0,2144	kg	
	Substrate for active components (2-layer rigid...)		0,0286	kg	Epoxy resin insulator, SiO2 [GLO] market for APOS, S (b)
	Solder paste SnAg3.5		0,0018	kg	Solder, paste, Sn95.5Ag4.5Cu0.6, for electronics industry [GLO] market for APOS, S
	Gold, primary [in Electronics]	1,9095E-08		kg	Gold [GLO] market for APOS, S
	Wafer manufacturing for bare dice		0,0014	m2	Wafer, fabricated, for integrated circuit [GLO] market for APOS, S
	Housing IC		0	kg	-
	Lead frame		0	kg	-
	Mixer_global average electricity back-end...		0,2060	MJ	Electricity, low voltage [CH] market group for APOS, S (c)
	Copper sheet		0,1872	kg	Copper-rich materials [GLO] market for copper-rich materials APOS, S
	Capacitor ceramic MLCC 0603 (6mg)	150		pcs	Capacitor, film type, for through-hole mounting [GLO] market for APOS, S (d)
	Silicone rubber (RTV-2, condensation)		0,0014	kg	Synthetic rubber [GLO] market for APOS, S

(a) dato specifico per "thermal paste" non disponibile in SimaPro (b) assunto uno dei materiali più comuni cioè epoxy resin (c) assunto mix energetico della Cina, dove è prodotta la mainboard (d) assunto uno dei tipi di capacitori disponibili in ecoinvent



PCB



CPU heatsink



CPU with socket & plastic mount

Per quanto riguarda i dischi di archiviazione dati, quelli a stato solido (SSD) sono stati modellizzati a partire dai dati di DELL, ma tenendo conto della diversa capacità rilevata per i dischi del VSIX, stimata in 2 TB (valore medio stimato dagli operatori del VSIX).

Per la modellizzazione dei dischi di tipo meccanico-rotativo (HDD), non presenti nel modello di server dello studio LCA di DELL, si è invece fatto uso di dati da uno studio LCA di Seagate (Seagate, 2011), integrando con informazioni dal report del progetto di ricerca europeo LCA TO GO (Fraunhofer IZM, 2015).

Unendo i moduli dei diversi componenti, è stato così creato il modello rappresentativo della categoria "server e storage", in cui si è tenuto conto della tipologia, del numero e della capacità specifici dei dischi di archiviazione dati contenuti nei server e storage del VSIX (Tabella 2.9).

Tabella 2.9 - Principali caratteristiche del modello rappresentativo degli apparati server e storage del VSIX

Server & Storage (2U) – Principali componenti	N. unità	Massa [kg]	Area [cm ²]
Chassis		11,50	
Ventilatori, incl. case	6	1,59	
PSU	2	2,99	
PWB - Scheda madre, incl. CPU		2,65	1925
PWB – Schede varie		2,43	1452
SSD 2TB, 2.5"	0,5	0,07	
HDD 2TB, 2.5"	4,4	0,84	
HDD 6TB, 3.5"	5,1	3,92	
Massa totale		26,00	



Fonti dei dati: studio LCA del server DELL preso a riferimento; numero e caratteristiche dei dischi per un “apparato medio” del VSIX: da rilevazioni e stime sui sistemi del VSIX

Si è poi proceduto a creare un modello rappresentativo della categoria “**apparati di rete**”. Come riferimento è stato assunto uno switch, in particolare un modello **Cisco Catalyst della serie 3850 da una unità rack (1U)** del VSIX, dismesso e messo a disposizione per lo smontaggio.

Essendo i sotto-componenti principali di uno switch gli stessi di un server (se si esclude l’assenza dei dischi di archiviazione dati), per la modellizzazione dello switch sono stati utilizzati i dati precedentemente ricavati per i sotto-componenti del server, “scalandoli” attraverso parametri quali la massa (chassis, PSU, ventilatori, dispersori di calore) e le dimensioni (area

delle schede elettroniche PWB). Per lo switch, tali parametri sono stati misurati – eventualmente integrando con stime – a seguito dello smontaggio dell'apparato nei suoi principali sotto-componenti (Tabella 2.10).

Tabella 2.10 - Principali caratteristiche del modello rappresentativo degli apparati di rete del VSIX

Apparato di rete – Principali componenti	N. unità	Massa [kg]	Area [cm ²]
Chassis	1	4,09	
Ventilatori, incl. <i>case</i>	5	0,59	
PSU	2	2,13	
PWB - Scheda madre, escl. CPU	1	0,97	1374
> CPU - tipo 1, incl. <i>heatsink</i>	1	0,20	
> CPU - tipo 2, incl. <i>heatsink</i>	4	1,18	
> CPU - tipo 3	8	0,76	
PWB – Controllo LED e USB	1	0,03	48
Massa totale		9,95	



Infine, i modelli costruiti per il server e lo switch sono stati “scalati” per il numero di unità rack occupate rispettivamente da server e storage e da apparati di rete presso il VSIX, andando così a rappresentare le due categorie di sistemi del data center.

2.7.2 Altri componenti

Per la modellizzazione degli altri componenti del VSIX si è proceduto in maniera simile a quanto visto per server e storage e apparati di rete (seppur in generale con un approccio più semplificato): a partire da dati ricavati da letteratura scientifica, studi LCA esistenti e schede tecniche di tecnologie simili, ciascuna categoria di sistemi è stata modellizzata utilizzando come parametri di scala il numero di unità, la massa, le dimensioni, ecc.

Tra la documentazione utilizzata, particolarmente utili sono risultati i report delle dichiarazioni ambientali di prodotto PEP (Product Environmental Profile) di PEP Ecopassport, programma di riferimento internazionale per le dichiarazioni ambientali di prodotti dell'industria elettrica ed elettronica e del riscaldamento e raffreddamento (*PEP Ecopassport*, n.d.).

Per i vari tipi di componenti, gli specifici approcci di modellizzazione adottati sono sinteticamente riportati in Tabella 2.11.

Tabella 2.11 - Componenti del VSIX e approcci di modellizzazione adottati ai fini dell'LCA

Tipologia sistema	Categoria	Caratteristiche principali rilevate	Metodo di modellizzazione
IT	Cassetti ottici	N. U	Massa e materiale principale da prod. commerciale
	Patch panel	N. U	Massa e materiale principale da prod. commerciale
	Passacavi	N. U	Massa e materiale principale da prod. commerciale
	Pannelli riempitivi	N. U	Massa e materiale principale da prod. commerciale
	Supporti estraibili	N. U	Massa e materiale principale da prod. commerciale
	Armadi rack	N.	Massa e % materiali da PEP Schneider - 42U-rack
	Cavi dati in rame (dorsali e bretelle)	Lunghezza [m]	Daecoinvent: Cable, network cable, category 5, without plugs + Plug, inlet and outlet, for network cable
	Cavi dati in fibra (dorsali e bretelle)	Lunghezza [m]	Massa materiali per unità di lunghezza (4-core optic fibre cable) da (Unger & Gough, 2007) + Daecoinvent: Plug, inlet and outlet, for network cable
	Altro: consolle, computer	N.	Trascurati

Alimentazione elettrica	PDU's	N. U	Massa e % materiali/sotto-componenti da PEP Schneider - 1U-PDU
	Apparati di alimentazione	N. U	Massa e % materiali/sotto-componenti da PEP Schneider - 2U-ATS
	Batterie	N., taglia, caratteristiche	Hp batterie da 50 Ah piombo acido; massa da prodotto commerciale
	UPS con batterie	UPS: massa [kg] batterie: N., massa, tipologia	UPS: % materiali/sotto-componenti da PEP Legrand - UPS KEOR-T EVO 10 to 60 kVA without battery; batterie: da ecoinvent: Battery, lead acid, rechargeable, stationary
	Quadri elettrici	Dimensioni [m ³]	Massa e % materiali/sotto-componenti da PEP Schneider - PrismaSet L Wall mounted switchboards up to 630A
	Gruppo elettrogeno	Massa [kg], taglia [kW]	% materiali/sotto-componenti da (Benton et al., 2017) - diesel genset 455 kW
	Cavi elettrici (diverse sezioni)	Lunghezza [m], sezioni [m ²]	Materiale più impattante (rame)
	Altro: distribuzione elettrica, stazione di energia	Distr. el.: N. U staz. di energia: N. U / armadio	Trascurati (modellizzate solo le batterie)
Raffreddamento	Unità interne	N., caratteristiche, massa [kg]	% materiali/sotto-componenti da PEP UNICLIMA - Indoor unit of VRV air to air heat pump for heating (4,66 kW) and cooling (4,32 kW) in tertiary building
	Unità esterne	N., caratteristiche, massa [kg]	% materiali/sotto-componenti da PEP UNICLIMA - Outdoor unit of air to air VRV heat pump for heating (26,9 kW) and cooling (25,1 kW) in tertiary building
	Tubazioni	Lunghezza [m], diam. est [mm]	Massa stimata, materiale principale (rame)
	Refrigerante (carico iniziale e ricariche)	Carico iniziale: massa [kg] ricariche: massa [kg]; tipo refrigeranti	Valutate solo le emissioni dirette di refrigerante in ambiente; trascurati gli impatti embedded
Edificio	Edificio (spazio occupato dal data center)	Superficie [m ²] (solo parte data center)	Da ecoinvent: Building, hall

3. Risultati

3.1 Risultati complessivi

La Tabella 3.1 riporta i risultati finali dell'LCA, ovvero gli impatti generati lungo l'intero ciclo di vita del VSIX rapportati all'unità funzionale, ossia a un anno di operatività del data center stesso. Le categorie di impatto valutate sono quelle del metodo CML-IA baseline / EU25, scelto ai fini di questo studio tra i vari metodi di valutazione degli impatti disponibili in SimaPro (PRé Sustainability, 2022).

Tabella 3.1 - Risultati finali dell'LCA del VSIX, calcolati con il metodo CML-IA baseline / EU25 e riferiti a un anno di operatività del data center

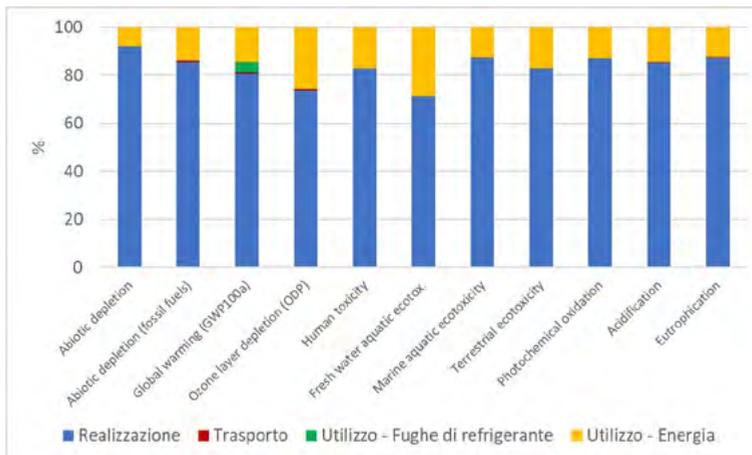
Categoria di impatto	Valore	Unità di misura
Abiotic depletion (minerals)	1,54E+01	kg Sb eq
Abiotic depletion (fossil fuels)	1,06E+06	MJ
Global warming (GWP100a)	1,01E+05	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion (ODP)	1,03E-02	kg CFC-11 eq
Human toxicity	2,97E+05	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotoxicity	2,99E+05	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity	4,53E+08	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity	4,49E+02	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation	3,91E+01	kg C ₂ H ₄ eq
Acidification	6,63E+02	kg SO ₂ eq
Eutrophication	2,79E+02	kg PO ₄ --- eq

Al di là dei valori di impatto assoluto, che possono tra l'altro variare a seconda di una serie di fattori (come il metodo di valutazione degli impatti scelto, le banche dati utilizzate o i confini definiti per il sistema), è interessante utilizzare il modello LCA sviluppato per approfondire le fonti di impatto lungo il ciclo di vita del data center e attraverso i diversi sistemi, componenti, materiali e processi.

La Figura 3.1 mostra i contributi delle diverse fasi valutate, in termini percentuali rispetto all'intero ciclo di vita del VSIX, per ciascuno dei vari tipi di impatto considerati (si noti qui che non è possibile confrontare

questi ultimi tra loro in valore assoluto, essendo essi quantificati con unità di misura differenti). Per la fase operativa, si è ritenuto utile distinguere gli impatti legati ai consumi energetici da quelli dovuti alle emissioni di gas refrigerante.

Figura 3.1 - Contributo delle fasi di realizzazione, trasporto e utilizzo sull'intero ciclo di vita del VSIX



Il grafico mostra come sull'intero ciclo di vita prevalgano ampiamente gli **impatti associati alla realizzazione** dei componenti e della struttura del data center, con quote variabili **tra il 71% e il 92%** a seconda della categoria di impatto considerata. Le quote di impatto rimanenti sono associate quasi interamente alla fase operativa e in particolare ai consumi energetici, mentre il trasporto dei sistemi dai luoghi di produzione o assemblaggio fino al VSIX costituisce una quota inferiore all'1% per ciascun tipo di impatto, e non è pertanto trattato nella seguente discussione dei risultati.

Nel seguito è presentato un maggiore dettaglio dei risultati ottenuti. Il focus sarà posto sul potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential*, GWP100⁵), in quanto il cambiamento climatico è indubbiamente l'aspetto ambientale che sta destando le maggiori preoccupazioni e discussioni a livello internazionale.

⁵ Potenziale di riscaldamento globale sull'orizzonte temporale di 100 anni rispetto al momento di produzione delle emissioni.

3.2 Impatto climatico dell'intero ciclo di vita del VSIX

Al ciclo di vita del VSIX è attribuito un potenziale di riscaldamento globale quantificato in circa **100 tonnellate di CO₂ equivalente** mediamente emesse **ogni anno**. Di queste, **l'80,8% è associato alla realizzazione** della struttura del data center e dei suoi componenti, mentre il trasporto di questi ultimi fino al VSIX genera un impatto trascurabile (0,4%). La fase di utilizzo del data center genera circa il 18,8% delle emissioni totali, di cui il 14,6% attribuito ai consumi energetici e il 4,2% alle fughe di gas refrigerante dai circuiti del sistema di raffreddamento (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Contributo delle fasi di realizzazione, trasporto e utilizzo all'impatto climatico del ciclo di vita del VSIX



Tali risultati divergono da quelli ottenuti da altri autori i quali, indagando il ciclo di vita di data center con mix energetico ampiamente basato su fonti fossili, attribuiscono la prevalenza delle emissioni climalteranti alla fase operativa, con quote superiori al 76% (Lettieri, 2012; Shah et al., 2011, 2012; Whitehead et al., 2015)⁶.

⁶ Oltre a questi studi, quello di Honè et al. condotto su un data center svedese e limitato alla valutazione delle emissioni di gas serra attribuisce alla fase operativa il 66% dell'impatto climatico del data center (Honee et al., 2012); un valore di poco inferiore (58%) è stimato da Whitehead et al. nell'ipotesi di utilizzo del mix energetico svedese considerata nell'analisi di sensitività (Whitehead et al., 2015). Questi valori appaiono elevati se si considera che il mix di generazione elettrica in Svezia è quasi interamente basato su fonti rinnovabili e nucleare, tuttavia non sono stati qui approfonditi.

3.3 Impatto climatico associato alla realizzazione dei componenti del VSIX

Delle emissioni di gas serra legate alla realizzazione del VSIX, ben il 92% è attribuibile a due sole categorie di sistemi: apparati di rete (54%) e server e storage (38%) (Figura 3.3); a tale risultato contribuiscono significativamente la breve vita utile di questi apparati, oltre alle loro particolari caratteristiche costruttive.

La costruzione della parte di edificio occupata dalle sale IT del VSIX risulta responsabile del 2% delle emissioni, mentre tutti gli altri sistemi (altri apparati IT, sistemi di alimentazione elettrica e sistemi di raffreddamento) costituiscono assieme meno del 6% dell'impatto climatico complessivo.

Figura 3.3 - Contributo dei vari sistemi all'impatto climatico della fase di realizzazione del VSIX



La prevalenza dell'impatto degli apparati di rete rispetto a server e storage riflette la specificità del caso-studio in esame. Per la sua funzione primaria di *Internet Exchange Point* (IXP), oltre che di data center, il VSIX è infatti caratterizzato da un gran numero di apparati di rete. Questi occupano un totale di 657 unità rack, quasi tre volte quelle occupate dai server (232U). Valutando tuttavia l'impatto a parità di unità, il valore associato a un apparato server/storage (circa 670 kgCO₂eq/unità) risulta circa doppio rispetto a un apparato di rete (circa 340 kgCO₂eq/unità). Un elemento chiave di questa differenza sostanziale è costituito dai dischi

di archiviazione dei dati presenti negli apparati server e storage, come mostrato nel seguito.

Le Tabella 3.2 e la Tabella 3.3 presentano un dettaglio delle emissioni di CO₂ equivalente associate rispettivamente all'apparato server/storage (2U) e all'apparato di rete (1U) presi a riferimento nello studio per la modellizzazione delle due categorie di sistemi del VSIX. È in particolare messo in evidenza il contributo di ciascuno dei principali sotto-componenti degli apparati. Per ciascuno di questi è anche indicato il valore delle emissioni associate rapportato alla massa del componente stesso.

Tabella 3.2 - Dettaglio dell'impatto climatico associato all'apparato rappresentativo della categoria "server e storage" del VSIX

Server & Storage (2U) - Principali componenti	Massa		GWP		GWP per unità di massa
	[kg]	[%]	[kgCO ₂ eq]	[%]	[kgCO ₂ eq/ kg]
Chassis	11,50	44,2%	39	3%	3,4
Ventilatori, incl. case	1,59	6,1%	23	2%	14,8
PSU	2,99	11,5%	101	8%	33,8
PWB - Scheda madre, incl. CPU	2,65	10,2%	128	10%	48,5
PWB - Schede varie	2,43	9,4%	755	56%	310,2
SSD 2TB, 2.5''	0,07	0,3%	143	11%	2024,7
HDD 2TB, 2.5''	0,84	3,2%	26	2%	31,0
HDD 6TB, 3.5''	3,92	15,1%	123	9%	31,2
TOTALE	26,00	100,0%	1339	100%	51,5

In termini di massa, lo chassis costituisce il componente principale sia per il server/storage, sia per l'apparato di rete, rappresentando rispettivamente il 44% e il 41% del peso dell'intero apparato. In termini di impatto climatico tuttavia, il suo contributo è molto limitato nel caso del server/storage (3% sulle emissioni totali dell'apparato), mentre raggiunge un valore ben più alto (27%) nell'apparato di rete. In termini di kgCO₂eq per unità di massa, risultano rispettivamente 3,4 kgCO₂eq e 21,7 kgCO₂eq

per chilogrammo di massa del componente. La differenza sostanziale tra i due risultati è da attribuire al materiale prevalente di cui è costituito lo chassis: l'alluminio dell'apparato di rete ha un impatto di oltre sei volte superiore rispetto all'acciaio del server/storage, a parità di massa.

Tabella 3.3 - Dettaglio dell'impatto climatico associato all'apparato rappresentativo della categoria "apparati di rete" del VSIX

Apparato di rete (1U) - Principali componenti	Massa		GWP		GWP per unità di massa
	[kg]	[%]	[kgCO ₂ eq]	[%]	[kgCO ₂ eq/kg]
Chassis	4,09	41,1%	89	27%	21,7
Ventilatori, incl. case	0,59	5,9%	9	3%	14,8
PSU	2,13	21,4%	87	26%	40,9
PWB - Scheda madre, incl. CPU	3,11	31,3%	140	42%	44,9
PWB - Controllo LED e USB	0,03	0,3%	11	3%	310,3
TOTALE	9,95	100,0%	335	100%	33,7

In entrambi gli apparati, le schede elettroniche costituiscono le parti più impattanti in termini di emissioni legate alla loro produzione, a causa degli elevati impatti associati alla produzione dei componenti elettronici (circuiti integrati, resistori, transistori, condensatori, ecc.) e della scheda PCB. Questi sono legati ai materiali utilizzati (oro, rame, terre rare, ...), molti dei quali richiedono elevati consumi energetici per il loro processamento, e ai processi di produzione (produzione dei componenti, *etching* e finitura superficiale delle PCB, ...). La differenza sostanziale nelle emissioni per unità di peso tra schede madri (44,9-48,5 kgCO₂eq/kg) e altri tipi di schede (310,3 kgCO₂eq/kg) è principalmente dovuta alla presenza, sulle schede madri, dei dispersori di calore delle CPU, in rame nel server e in alluminio nell'apparato di rete, i quali, costituendo una quota importante in massa ma relativamente limitata in termini di impatto, abbassano le emissioni totali per unità di massa rispetto agli altri tipi di schede.

Nella produzione dell'apparato server/storage, il 22% delle emissioni è dato dai dischi di archiviazione dati. In particolare, tra dischi HDD e

SSD emerge una marcata differenza; considerati due dischi di pari dimensioni (2,5'') e capacità di archiviazione (2 TB), le emissioni legate alla produzione e al trasporto dell'HDD risultano di circa 6 kgCO₂eq, contro i 286 kgCO₂eq per l'SSD. Il valore elevato per l'SSD è dovuto alla produzione dei circuiti integrati delle NAND Flash su cui si basa il funzionamento di tale tecnologia. In particolare, al processo di produzione dei wafer per i circuiti integrati è attribuito il 98% delle emissioni del disco.

3.4 Impatto climatico associato al funzionamento del VSIX

3.4.1 Perdite di refrigerante

Le dispersioni in ambiente di refrigerante dai circuiti dei sistemi di raffreddamento corrispondono all'emissione di circa 4,3 tonCO₂eq/anno, pari quindi al 4,2% dell'intero impatto del VSIX, come visualizzato in Figura 3.2. Tale risultato è dovuto agli elevati indici GWP100 dei due refrigeranti utilizzati: l'R32 presenta un GWP100 pari a 675, ovvero ha una capacità di produrre effetto serra a 100 anni dalla sua produzione di 675 volte superiore rispetto a quella della CO₂. Il GWP100 dell'R410A (miscela in parti uguali di R32 e R125) è ancora più alto (2.088) (Forster et al., 2007).

3.4.2 Consumi energetici

Come mostrato in Figura 3.2, ai consumi energetici è attribuito il 14,6% delle totali emissioni del VSIX. La quasi totalità (98%) di queste emissioni è legata all'utilizzo di energia elettrica dalla rete, mentre il restante 2% è dovuto all'utilizzo di gasolio nel gruppo elettrogeno di backup.

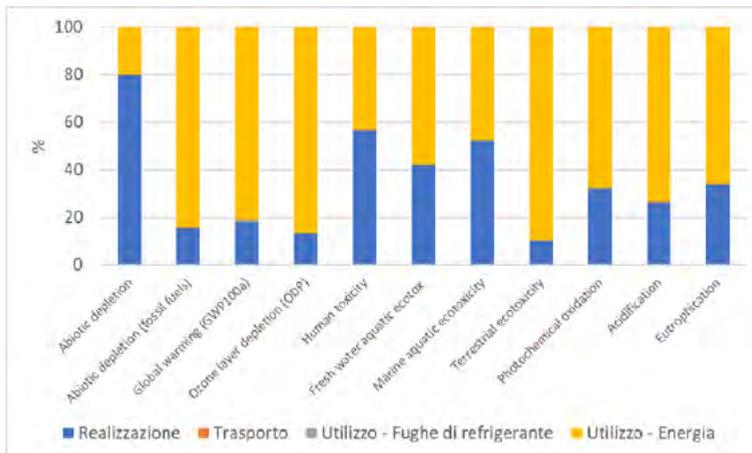
Grazie all'acquisto di energia da fonti rinnovabili, il fattore di emissione medio per unità di energia elettrica utilizzata dal VSIX risulta pari a **15 gCO₂eq/kWh**, quindi circa 25 volte inferiore rispetto a quello dell'energia elettrica derivante dal mix di generazione medio italiano, pari a circa 380 gCO₂eq/kWh⁷.

⁷ Valore ricavato dal database ecoinvent; esso è maggiore rispetto al fattore di emissione di circa 260 gCO₂/kWh fornito da ISPRA (Caputo, 2019) in quanto include non solo le emissioni dirette ma anche quelle *embedded* del sistema energetico italiano.

3.5 Confronto con il caso ipotetico di utilizzo di energia elettrica convenzionale dalla rete

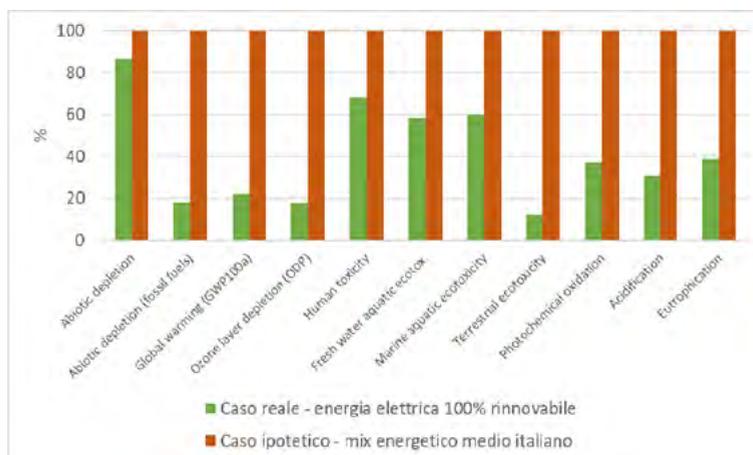
Nel seguito si presentano i risultati dell’LCA nel caso ipotetico in cui il VSIX utilizzasse energia elettrica convenzionale dalla rete, ovvero derivante dal mix di generazione medio italiano. In questo caso, per tutte le categorie di impatto crescerebbe la quota associata al funzionamento del data center, rispetto a quella per la sua costruzione (Figura 3.4). In particolare, nel caso dell’impatto climatico, la quota associata al consumo energetico salirebbe all’81% a causa del fattore di emissione dell’energia elettrica (380 gCO₂eq/kWh) circa 25 volte superiore rispetto a quello del mix energetico da fonti rinnovabili acquistato dal VSIX (15 gCO₂eq/kWh).

Figura 3.4 - Contributo delle fasi di realizzazione, trasporto e utilizzo sull’intero ciclo di vita del VSIX, nel caso ipotetico di utilizzo di energia elettrica dal mix di generazione medio italiano



Il grafico di Figura 3.5 mostra il confronto degli impatti lungo il ciclo di vita del VSIX nel caso reale e nel caso ipotetico di utilizzo del mix energetico medio nazionale. Grazie all’impiego di energia elettrica da rinnovabili gli impatti risultano ridotti di una percentuale compresa tra il -13% e il -87% a seconda della categoria considerata; in particolare, le emissioni di gas serra risultano ridotte del 78% rispetto a quelle che si avrebbero se il VSIX usasse energia elettrica convenzionale (453 tonCO₂eq/anno).

Figura 3.5 - Confronto degli impatti lungo il ciclo di vita del VSIX, nel caso reale e nel caso ipotetico di utilizzo del mix elettrico medio nazionale



4. Conclusioni

Nello studio si è cercato di sviluppare un modello di analisi del ciclo di vita di un data center, proponendo una metodologia semplificata ma che possa permettere una valutazione più dettagliata rispetto agli studi finora condotti, in particolare nell'analisi degli impatti embedded delle tecnologie costituenti il data center.

L'applicazione al caso studio di un data center-IXP reale, il VSIX dell'Università di Padova, utilizzante un mix elettrico 100% rinnovabile, ha in particolare offerto l'opportunità di valutare una situazione verso cui sempre più data center stanno tendendo, tramite le azioni di efficientamento e riduzione dei consumi e l'utilizzo di mix elettrici con quote da fonti rinnovabili sempre maggiori.

L'acquisto di energia verde certificata permette al VSIX di ridurre il proprio impatto di una percentuale compresa tra il -13% e il -87% a seconda della categoria di impatto considerata. Nel caso del potenziale di riscaldamento globale, su cui si è posto il focus del presente documento, la riduzione è di circa il -78%; si ottiene così un risultato finale di 100 tonnellate di CO₂ equivalente emesse ogni anno (stimate sull'intero ciclo di vita del VSIX), rispetto alle 453 tonnellate che sarebbero prodotte nel caso di utilizzo del mix elettrico medio nazionale.

Al di là dei risultati dell'LCA in valore assoluto, lo scopo del modello proposto vuole essere quello di utilizzo a fini comparativi, sia a livello di contributo delle fasi del ciclo di vita analizzate (realizzazione, trasporto e utilizzo), sia a livello di dettaglio dei sistemi costituenti il data center.

Sul ciclo di vita del VSIX, a prevalere sono gli impatti legati alla produzione dei componenti e quindi alla realizzazione del data center stesso, con quote tra il 71% e il 92% a seconda del tipo di impatto considerato. Per il potenziale di riscaldamento globale il valore è di circa l'81%, ben superiore rispetto agli studi esistenti in cui i data center analizzati utilizzano un mix energetico ampiamente basato su fonti fossili ((Lettieri, 2012; Shah et al., 2011, 2012) e (Whitehead et al., 2015) attribuiscono agli impatti embedded quote inferiori al 24%) o comunque a maggiore intensità di carbonio rispetto a quello del VSIX (come nel caso del data center in Svezia dello studio di Honèe, per cui è stimata una quota del 34% (Honee et al., 2012)).

I risultati dell'analisi sottolineano quindi la necessità di indirizzare gli sforzi di miglioramento della sostenibilità dei data center anche sugli impatti embedded, andando oltre i soli consumi energetici della fase operativa. Tale aspetto è già stato rilevato anche in studi precedenti, in particolare in riferimento a determinati tipi di impatto come il rilascio di particolato e sostanze tossiche (Shah et al., 2011) e cancerogene (Whitehead et al., 2015).

Rispetto agli studi esistenti tuttavia, il modello proposto cerca di fornire uno strumento che permetta di analizzare gli impatti dei diversi sistemi del data center tracciandoli lungo le filiere di fornitura.

La metodologia di costruzione del modello si ispira alle linee guida fornite da The Green Grid e dagli standard ETSI e ITU, adottando però una rappresentazione semplificata per poter gestire la varietà e complessità dei sistemi del data center nei limiti di tempo disponibile, considerando anche la scarsità di dati utili all'LCA caratterizzante il settore ICT.

Per ciascuna categoria di sistemi del VSIX è stato quindi modellizzato un componente rappresentativo, costruito nel software SimaPro utilizzando, per sotto-componenti, materiali e processi di produzione e trasporto, dataset ambientali del database ecoinvent associati a informazioni ricavate da studi LCA esistenti, schede tecniche, studi scientifici e misurazioni condotte sui sistemi del VSIX.

Si è così ricavato che sulla fase di realizzazione del VSIX prevale l'impatto degli apparati di rete (54%) e dei server/storage (38%). Un fattore chiave di questo risultato è la vita utile relativamente breve di tali appa-

rati, assieme alle caratteristiche dei materiali e dei processi coinvolti nella loro produzione. Attraverso il modello sviluppato è possibile riconoscere quali tra questi hanno maggiore influenza sull'impatto di un certo sotto-componente o componente, o sull'intero ciclo di vita del data center.

I processi di fabbricazione dei circuiti integrati, ad esempio, sono risultati avere impatti elevatissimi, soprattutto in quanto estremamente energivori. Ciò si ripercuote sui valori di impatto associati alle parti che li includono, ovvero le schede elettroniche e, in particolare, i dischi di archiviazione SSD. Rispetto ai "più vecchi" HDD, la produzione degli SSD rivela un impatto climatico circa 50 volte superiore a parità di capacità. La sostituzione di un HDD con la più recente ed efficiente tecnologia SSD può quindi potenzialmente rappresentare un caso di *burden-shifting*: i consumi energetici e i relativi impatti vengono ridotti, ma al costo di impatti embedded maggiori, con un risultato complessivo che dipende dal mix di generazione dell'energia elettrica consumata dal disco (inoltre, il confronto cambia ovviamente a seconda del tipo di impatto considerato).

La metodologia di analisi sviluppata nella presente ricerca può fornire agli operatori di data center un esempio e un punto di partenza per la realizzazione di un modello per la propria struttura, attraverso cui poter valutare gli effetti ambientali di diverse scelte operative, di design o di acquisto di apparecchiature, in una visione più ampia di quella limitata all'energia consumata. Le potenzialità possono ad esempio essere quelle di confrontare tecnologie alternative (come nel caso di SSD e HDD) o di valutare l'allungamento della vita utile di componenti, l'acquisto di energia rinnovabile o l'installazione di propri impianti di generazione elettrica. Tramite questo approccio LCA, progettisti e gestori potranno così identificare e valutare correttamente le possibili misure per la minimizzazione dell'impronta ambientale lungo il ciclo di vita del data center.

5. Limitazione e sviluppi futuri

Dalla trattazione condotta emerge come la valutazione ambientale del ciclo di vita richieda uno studio complesso, che comporta in genere risorse ingenti in termini di risorse umane, strumenti e dati. Nel caso di un data center la mole di dati in gioco è particolarmente sfidante, vista la varietà dei sistemi coinvolti e la complessità costruttiva di ciascuno di essi.

Con la metodologia semplificata proposta si è cercato di ottenere un modello quanto più accurato possibile nei limiti delle risorse a disposizione.

In tal senso, il maggiore ostacolo riscontrato nell'analisi è stato l'irreperibilità di dati sulle caratteristiche costruttive (sotto-componenti, materiali, ...) e sui processi di produzione (tipi di lavorazioni, consumi energetici, ...) dei sistemi tecnologici costituenti un data center, in particolare degli apparati IT e TLC, oltre che di dataset ambientali adeguati alla rappresentazione di questi dalle banche dati a disposizione. Nell'analisi si è quindi primariamente fatto ricorso a dati secondari – oltre che ad ipotesi – ricavati da **fonti diverse e presentanti diverso livello di qualità**. Ad esempio in alcuni casi – come quello dei server/storage e apparati di rete – si è potuto ricavare un buon dettaglio su componenti, materiali e processi produttivi; in altri – come quelli dei sistemi di raffreddamento o del gruppo elettrogeno – il dettaglio ottenuto è limitato ai materiali e ad alcuni (pochi) componenti (ad esempio, le schede elettroniche) e si trascurano quindi gran parte degli impatti legati alle fasi di lavorazione e assemblaggio. In altri casi sono trascurate basse percentuali di materiali o alcuni componenti, o questi sono stati approssimati con altri ritenuti simili. In ogni caso, si è cercato di valutare, sulla base delle conoscenze a disposizione, che omissioni o approssimazioni non andassero a influenzare in modo significativo i risultati dello studio.

La scarsa disponibilità di dati ha anche limitato il **numero di tipologie di componenti** rappresentabili. In questo senso, un modo per aumentare il dettaglio e la specificità dell'analisi potrebbe essere quello di modellizzare categorie "più specifiche"; ad esempio, per gli apparati di rete potrebbe essere fatta distinzione tra switch/router, WDM, OTN e altri tipi di sistemi; tra gli apparati di alimentazione, si potrebbe distinguere tra RPS, STS, convertitori AC/DC e così via. È tuttavia chiaro che, a tal fine, dovranno essere reperiti i dati necessari relativi a ciascun modello rappresentativo di una certa categoria di sistemi.

Per quanto riguarda invece la fase operativa del data center, un potenziale aspetto di miglioramento del modello di analisi riguarda il livello di dettaglio sui consumi elettrici: questo potrebbe essere ottenibile a livello di tipi di tecnologie, sfruttando eventuali dati da misuratori integrati negli apparati e dati di consumo teorico per modalità di funzionamento, integrando con ipotesi e stime.

Infine, tra i possibili miglioramenti più auspicati vi è l'integrazione, nel ciclo di vita del data center, della fase di **gestione del fine vita** dei componenti e del data center stesso, mentre nella modellizzazione della fase di realizzazione dei componenti del data center andranno reperiti e integrati i dati sugli eventuali contenuti di materiali riciclati. Questi

aspetti assumeranno sempre più rilevanza in un contesto di forte sviluppo del settore ICT e di altri settori strategici come quelli delle rinnovabili e della mobilità elettrica, i quali sono grandi consumatori di materiali considerati critici per la loro scarsa disponibilità o per gli impatti generati nella loro estrazione e nel loro processamento.

Al fine di ottenere un'analisi sempre più accurata degli impatti ambientali dei data center e in generale dei sistemi digitali, fondamentale sarà quindi una maggiore disponibilità di dati da parte delle aziende coinvolte nella filiera di fornitura delle varie tecnologie, oltre che sul fine vita delle stesse. Sulla base di questi dati dovranno inoltre essere ampliati e mantenuti aggiornati i database LCA relativi al settore ICT, in modo da facilitare la realizzazione di analisi sempre più accurate e in limiti di tempo accettabili.

Le analisi LCA, per uno stesso data center, andranno aggiornate periodicamente, tenendo conto ad esempio di modifiche effettuate sul data center, dell'innovazione tecnologica applicata ai nuovi sistemi, dell'evoluzione del mix energetico utilizzato dal data center e di quelli impiegati nei processi di produzione dei componenti, o da modifiche nelle filiere di gestione del fine vita degli apparati.

Bibliografia

- Benton, K., Yang, X., & Wang, Z. (2017). Life cycle energy assessment of a standby diesel generator set. *Journal of Cleaner Production*, 149, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.082>
- Caputo, A. (2019). Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei. ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/fattori-di-emissione-atmosferica-di-gas-a-effetto-serra-nel-settore-elettrico-nazionale-e-nei-principali-paesi-europei>
- Dieckmann, J. (1999). Global comparative analysis of HFC and alternative technologies for refrigeration, air conditioning, foam, solvent, aerosol propellant, and fire protection - Final Report to the Alliance for Responsible Atmospheric Policy. Arthur D. Little Inc.
- ENTSO-E. (n.d.). ENTSO-E Transparency Platform. Retrieved July 31, 2022, from <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>
- ETSI. (2015). Environmental Engineering (EE); Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communi-

- cation Technology (ICT) goods, networks and services - ETSI ES 203 199 V1.3.1 (2015-02). https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.01_60/es_203199v010301p.pdf
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Van Dorland, R. (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing: Vol. Climate Ch.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>
- Fraunhofer IZM. (2015). *Final Report Summary - LCA TO GO (Boosting Life Cycle Assessment Use in European Small and Medium-sized Enterprises: Serving Needs of Innovative Key Sectors with Smart Methods and Tools)*. <https://cordis.europa.eu/project/id/265096/reporting/it>
- GSE Spa. (2013). *Sistema EECS per la certificazione dell'energia elettrica - Protocollo nazionale*. Gestore dei Servizi Energetici Spa. <https://www.gse.it/servizi-per-te/fonti-rinnovabili/garanzia-dorigine/documenti>
- Hannemann, C. R., Carey, V. P., Shah, A. J., & Patel, C. D. (2010). Lifetime exergy consumption of enterprise servers. *International Journal of Exergy*, 7(4), 439–453. <https://doi.org/10.1504/IJEX.2010.033413>
- Honee, C., Hedin, D., St-Laurent, J., & Froling, M. (2012). *Environmental performance of data centres - A case study of the Swedish National Insurance Administration*. *Electronics Goes Green 2012+, ECG 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A558566&dswid=-7651>
- ISO. (2006a). *ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO. (2006b). *ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- ISPRA. (n.d.). *LCA*. Retrieved February 18, 2023, from <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/certificazioni/ipp/lca>
- ITU. (2014). *Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services - Recommendation ITU-T L.1410 (12/2014)*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1410>

- Laurent, A., & Dal Maso, M. (2020). Environmental sustainability of data centres: A need for a multi-impact and life cycle approach. Data Center Brief Series, February 2020-Copenhagen Centre on Energy Efficiency.
- Lettieri, D. (2012). Expeditious Data Center Sustainability, Flow, and Temperature Modeling: Life-Cycle Exergy Consumption Combined with a Potential Flow Based, Rankine Vortex Superposed, Predictive Method. UC Berkeley Electronic Theses and Dissertations. <https://escholarship.org/uc/item/98384265>
- Meza, J., Shih, R., Shah, A., Ranganathan, P., Chang, J., & Bash, C. (2010). Lifecycle-based data center design. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 4, 217–226. <https://doi.org/10.1115/IMECE2010-39340>
- Pehlken, A., Hintemann, R., Penaherrera, F., Gizli, V., Hurrelmann, K., Hinterholzer, S., Kuchta, K., Kosheleva, A., Kaiser, H., Chwoyka, F., Kielmann, G., Wilde, H., Leukroth, S., Frerichs, D., & Daumlechner, A. (2020). Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO. https://tempo-energy.de/images/pdfs/Tempro_Endbericht_final_2020_05_14.pdf
- PEP Ecopassport. (n.d.). Retrieved February 10, 2023, from <http://www.pep-ecopassport.org/>
- PRé Sustainability. (2022). Simapro Database Manual - Methods library. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2022/07/DatabaseManual-Methods.pdf>
- Seagate. (2011). Barracuda LP HDD Product Life Cycle Analysis Summary. <https://www.seagate.com/it/it/global-citizenship/life-cycle-assessment/>
- Shah, A. J., Bash, C. E., Sharma, R., Christian, T., Watson, B. J., & Patel, C. (2011). Evaluating life-cycle environmental impact of data centers. *Journal of Electronic Packaging, Transactions of the ASME*, 133(3), 1–9. <https://doi.org/10.1115/1.4004096>
- Shah, A. J., Chen, Y., & Bash, C. E. (2012). Sources of variability in data center lifecycle assessment. *IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2012.6227975>
- The Green Grid. (2012). Data Centre Life Cycle Assessment Guidelines - White Paper #45. <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools>

- Thinkstep on behalf of Dell. (2019). Life Cycle Assessment of Dell R740. https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/Full_LCA_Dell_R740.pdf
- Unger, N., & Gough, O. (2007). Life cycle considerations about optic fibre cable and copper cable systems: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 16(14), 1517–1525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.016>
- Weckert, M., Restrepo, G., Gerstmann, S., & Frank, H. (2007). Diagram Technique – A Useful Tool for Life Cycle Assessment of Refrigerants Scope Definition of LCA. *EnviroInfo*, 219–226.
- Whitehead, B., Andrews, D., & Shah, A. (2015). The life cycle assessment of a UK data centre. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 332–349. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0838-7>

Come valutare il riciclo dei componenti di un data center attraverso gli indicatori di impatto LCA

Fernando Peñaherrera V.

R&D Division Energy OFFIS - Institut für Informatik, Oldenburg, Germany

Alexandra Pehlken

R&D Division Energy OFFIS - Institut für Informatik, Oldenburg, Germany

1. Introduzione

I data center sono parte integrante della nostra vita quotidiana. Servizi di streaming, automazione o analisi in tempo reale della densità del traffico sono oggi sempre più importanti. Solo in Germania, paese nel quale risediamo, ogni anno circa 53.000 data center consumano più di 14 TWh, pari al 2,5% del consumo elettrico del Paese nel 2018. Si prevede che questa quantità crescerà fino a 21 TWh entro il 2030 (Fichter & Hintemann, 2014; Hintemann, 2020). Questo nonostante un aumento complessivo dell'efficienza dell'infrastruttura dei data center di circa il 21%. L'aumento del consumo di energia è stato documentato in diversi studi non solo in Germania, ma anche in Europa e nel resto del mondo. I data center hanno quindi un ruolo importante nell'attuazione del piano europeo per la protezione del clima. Oltre al consumo energetico in costante aumento, la domanda di materie prime per la produzione delle apparecchiature (server, hard disk, gruppi di continuità, ecc.) dei data center sta diventando sempre più importante. Due aspetti sono particolarmente rilevanti: a) la breve durata di vita delle apparecchiature e l'elevata energia in esse incorporata b) l'aumento delle quantità di materie prime utilizzate. Poiché i prodotti ICT hanno cicli di vita brevi, non è rilevante solo il fabbisogno

energetico nella fase operativa (Garnier et al., 2012). Anche la cosiddetta energia incorporata, cioè l'energia necessaria per la produzione, il trasporto, lo stoccaggio e lo smaltimento dei componenti, può rappresentare una parte considerevole del fabbisogno energetico totale. D'altra parte, ciò comporta anche una crescente domanda di materie prime per queste applicazioni. Questo aspetto sta diventando sempre più importante con l'aumento della densità delle apparecchiature all'interno dei data center. In considerazione di una chiara tendenza verso la costruzione di data center sempre più grandi, c'è stato un aumento significativo della domanda di componenti ICT come server, storage e dispositivi di rete. Il numero dei soli server è aumentato del 15% tra il 2010 e il 2018 e continuerà ad aumentare fino al 2025 (Montevecchi et al., 2020). Visto il forte impiego di materie prime, il riciclo di questi dispositivi sta acquisendo importanza, anche se lo sviluppo delle tecnologie per il riciclo si è storicamente concentrato su altre apparecchiature elettroniche.

Partendo da queste considerazioni, la nostra domanda di ricerca è: *quali sono i vantaggi delle diverse modalità di riciclo dei componenti dei data center, se si considerano i risparmi energetici, le emissioni di gas serra e il potenziale di recupero dei materiali?*

Per rispondere a questa domanda, abbiamo provato a sviluppare un modello teorico di un componente di data center e a valutarne gli impatti nel ciclo di vita, utilizzando diversi modelli per il riciclo e diversi possibili scenari di fine vita. Nella sezione 2 presentiamo una panoramica dei data center, del riciclo e degli aspetti critici legati ai materiali. Nella sezione 3 e 4, ci concentriamo sulla metodologia per la valutazione degli impatti del ciclo di vita della produzione di un server per data center e dei diversi scenari di riciclo dei materiali. La sezione 5 riassume una valutazione dei risultati e la sezione 6 propone le conclusioni e alcune prospettive future.

2. Il riciclo delle materie prime di un Data Center

2.1 Data Center e indicatori di sostenibilità

Un data center è un edificio dove le capacità computazionali e gli elementi infrastrutturali necessari al funzionamento (alimentazione, climatizzazione, sicurezza) sono concentrati in uno stesso luogo (Reddy et al., 2017). La struttura dei data center può essere suddivisa in sistemi ICT, di approvvigionamento energetico, di climatizzazione e infrastrutturali (BITKOM, 2013). I componenti ICT sono costituiti da apparecchiature quali

server, unità di archiviazione e unità di rete. I data center utilizzano apparecchiature ICT fabbricate principalmente con materie prime non rinnovabili. Questi componenti contengono alte concentrazioni di materiali di valore, come i metalli preziosi, che li rendono una potenziale fonte di recupero. Alcune di queste materie prime sono etichettate come “materie prime critiche” dall’Unione Europea a causa della loro importanza economica e del rischio di approvvigionamento (EC, 2010).

Il concetto di energia incorporata legato alle fasi di produzione, fabbricazione, trasporto, smantellamento e riciclo delle materie prime è spesso non considerato quando si analizzano i consumi energetici o i miglioramenti dell’efficienza energetica dei data center, che si concentrano principalmente sulla fase di utilizzo, trascurando l’importanza della quantità di materie prime critiche presenti nelle apparecchiature ICT. Non è affatto semplice studiare la relazione tra le caratteristiche dei materiali e il consumo totale di energia necessaria per la produzione a causa delle diverse configurazioni dei data center, della diversa composizione dei materiali dei dispositivi e, in generale, della scarsa qualità dei dati relativi alle apparecchiature ICT. Per poter ottenere dei risultati attendibili è necessario eseguire delle analisi LCA che considerano il ciclo di vita dei prodotti e le relative fasi.

2.2 Riciclo e recupero dei component di un data center

Non solo l’aumento dell’efficienza energetica complessiva di un data center è parte integrante dei Sustainable Development Goals delle Nazioni Unite, ma anche il tema dell’uso efficiente delle materie prime sta acquisendo sempre più importanza, poiché il riciclo dei materiali ha effetti positivi anche sulla riduzione del consumo energetico.

La durata media dei chip (Central Processing Unit) dei computer è scesa da 4-6 anni nel 1997 a 2 anni nel 2005 (Bakas, 2014), per poi ridursi ulteriormente. I prodotti ICT hanno una vita mediamente breve (2-5 anni) (Garnier et al., 2012). Questo significa che, vista l’elevata obsolescenza tecnologica, diventa sempre più importante prendere in considerazione il consumo energetico necessario alla produzione di queste apparecchiature. Consumo che prima veniva trascurato in quanto non riguardava la fase di utilizzo del data center. L’estrazione e la trasformazione delle materie prime richiedono, infatti, grandi quantità di energia. È necessario calcolare con precisione questa energia per valutare i potenziali benefici che il recupero e il riciclo di questi materiali possono avere sul ciclo di vita complessivo delle apparecchiature dei data center.

I componenti elettronici presentano elevate concentrazioni di metalli preziosi, il che rende il loro riciclo importante sia per motivi economici che ambientali (J. Li & Zeng, 2012). I componenti dei data center destinati al riciclo possono essere catalogati come Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) (Bigum et al., 2012). Quando si parla di RAEE, esistono molte ricerche sui processi di recupero di materiali preziosi, in particolare rame e oro, dai circuiti stampati (İşldar, 2016). Esistono diverse metodologie, ognuna delle quali ha un rendimento diverso. Il recupero di metalli scarsi, come le terre rare, dai RAEE ha recentemente acquistato maggiore importanza a causa di limiti nell'approvvigionamento. A questo proposito, ci sono diversi studi che affrontano il potenziale di recupero di questi materiali (Binnemans et al., 2013; Charles et al., 2020; Z. Li et al., 2019). Inoltre, spesso manca un'analisi della relazione tra il recupero dei materiali e i guadagni energetici per il recupero dei componenti dei data center, anche se è stata analizzata la sostenibilità del recupero di materiali da altre fonti, con particolare attenzione al risparmio di emissioni a effetto serra (Debnath et al., 2018; Unger et al., 2017).

2.3 Materie prime critiche

La conseguenza della rapida obsolescenza tecnologica è una crescente domanda di materie prime, alcune delle quali considerate critiche per la loro scarsità e importanza economica.

Le materie prime sono la base di tutte le catene del valore e costituiscono quindi un fattore fondamentale per tutti i settori economici. Il ciclo di vita delle materie prime può fornire una panoramica sugli impatti ambientali dell'approvvigionamento delle materie prime, ma dice poco o nulla sui possibili cambiamenti nell'offerta o nella domanda. Gli studi sulla criticità dei materiali affrontano questi aspetti (Graedel et al., 2015). Una rassegna degli studi più recenti sul tema rivela un consenso generale sul fatto che le criticità sono due: il rischio di approvvigionamento e l'importanza economica legata all'uso dei materiali (Dewulf et al., 2016).

Recentemente, l'Unione Europea (EC, 2010) ha pubblicato un elenco di "materie prime critiche" (Critical Raw Materials, CRM). La stessa Unione Europea (EC, 2020) ha aggiornato questo elenco mantenendo lo stesso approccio. La metodologia alla base dell'identificazione delle CRM combina due variabili principali: l'importanza economica (EI) e la vulnerabilità all'interruzione delle forniture a causa di una cattiva governance (SR). Un'alta importanza economica significa che la materia prima è essenziale per i settori industriali che creano maggior valore aggiunto, che potrebbe

trovarsi in difficoltà in caso di fornitura insufficiente e se non si trovano sostituti adeguati. Il rischio di approvvigionamento è legato alla probabilità che la fornitura di uno specifico materiale non riesca a soddisfare la domanda dell'industria europea. Le materie prime che raggiungono o superano le soglie determinate dall'Unione Europea (EC, 2020) sono elencate come "critiche". Molti di questi materiali sono utilizzati nei componenti dei data center e quindi il loro recupero sta diventando sempre più importante.

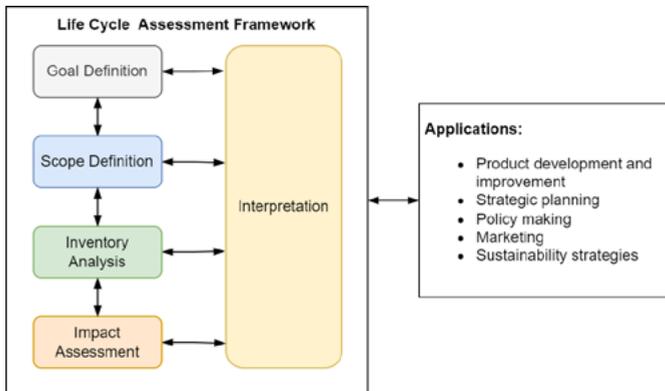
3. Life Cycle Assessment di un server e alcuni scenari di fine vita

3.1 Life Cycle Assessment

Per poter analizzare l'impatto di un server è necessario condurre un'analisi LCA che è una metodologia di analisi molto dettagliata che è diventata uno standard a livello internazionale. Quantifica tutte le emissioni e le risorse consumate e i relativi impatti ambientali e sulla salute associati a qualsiasi prodotto o servizio. L'LCA è un processo sistematico e iterativo (EC, 2010). Le norme ISO 14040 (ISO, 2006b) e 14044 (ISO, 2006a) forniscono il quadro di riferimento per l'LCA. L'Unione Europea (EC, 2010) fornisce una base comune per una LCA coerente, robusta e di qualità. L'LCA è l'approccio scientifico utilizzato per definire le moderne politiche ambientali e per supportare le decisioni aziendali relative alla sostenibilità.

ISO (ISO, 2006b) ha definito una metodologia di analisi che si basa su quattro fasi interdipendenti: Definizione dell'obiettivo e dello scopo, Inventario del ciclo di vita (LCI), Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA) e Interpretazione dei risultati. Rispetto a questa impostazione, l'Unione Europea (EC, 2010) separa la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione in due fasi distinte (Figura 1).

Figura 1 - Metodologia per il Life Cycle Assessment.



Fonte: EC, 2010

3.2 Definizione del campo di applicazione

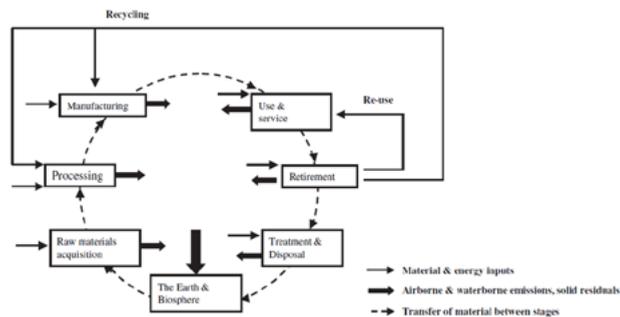
Il nostro obiettivo è analizzare l'impatto del ciclo di vita di un server, in particolare il modello PowerEdge M710. Abbiamo raccolto le informazioni sulle componenti interne del server smontandolo. Dopo di che, abbiamo analizzato in laboratorio i materiali che compongono questa unità. Abbiamo condotto questo studio con l'obiettivo di applicare indicatori basati sulla criticità dei materiali per valutare diverse strategie di recupero e comprendere il ruolo di questi materiali nei processi di recupero. Poiché oggi l'attenzione degli operatori del settore e dei policy maker è rivolta a evitare l'esaurimento dei materiali critici, lo studio è incentrato sulla fase di costruzione e sul fine vita di un data center e dei suoi componenti. Lo studio che vi stiamo presentando è parte di una più vasta ricerca che stiamo conducendo sulla criticità dei materiali e l'esaurimento delle risorse.

3.3 Campo di applicazione

Questo studio si concentra sull'analisi dei flussi di materiale durante il ciclo di vita di un componente del data center. Per questo motivo, non abbiamo considerato la fase d'uso del server, in quanto in questa non sono presenti flussi di materiali (se si esclude l'utilizzo di fluidi per il raffreddamento dell'apparato). Abbiamo dato particolare enfasi alle tecnologie di recupero, il cui impatto sul ciclo di vita deve essere analizzato attraverso la formulazione di possibili scenari.

La nostra unità funzionale è una unità server. I processi analizzati comprendono la raccolta delle materie prime, la produzione, il trasporto, lo smaltimento e il riciclo dei materiali. I dati sulla composizione dei materiali sono stati raccolti attraverso analisi di laboratorio; inoltre sono stati raccolti dati empirici sul riciclo dei materiali negli impianti ad esso dedicati.

Figura 2 - Fasi considerate nell'analisi del ciclo di vita.



Fonte: Norgate et al., 2007

4. Analisi dell'inventario e indicatori

4.1 Inventario della produzione di un server

Al fine della definizione di un inventario per il ciclo di vita del server, abbiamo consultato i database GABI ed Ecoinvent, due dei più importanti e completi al mondo in merito alla raccolta di dati tecnici e di impatto dei componenti dei prodotti, ma non abbiamo trovato informazioni utili. Per questa ragione, abbiamo dovuto costruire autonomamente un inventario, inserendo i dati sulla composizione dei materiali.

- Vita utile.** La vita utile prevista per i server di fascia alta varia da 5 a 8 anni. La dismissione dei server avviene in genere dopo 5 anni a causa dell'obsolescenza o della fine della garanzia. La fase di servizio di un server prevede una modalità di funzionamento continuo, con un'indisponibilità tipicamente inferiore a 12h/a (BITKOM, 2013). Le perdite di materiale dei componenti IT durante il funzionamento del server sono trascurabili.

- b) **Parti e loro composizione.** I server non hanno una composizione standard, sul mercato esistono numerosi produttori che applicano diversi criteri di progettazione del prodotto (Rene et al., 2017). Lo smontaggio del server ha permesso di ottenere un elenco preciso dei componenti con il peso relativo delle parti e dei materiali (Tabella 1). Nell'ambito di un progetto finanziato a livello nazionale per i data center professionali in Germania, il progetto TEMPRO, è stata condotta un'analisi dettagliata della composizione dei materiali di un server (Pehlken et al., 2020.). I metalli di base (Ferro, Rame, Alluminio e Zinco) e la plastica (per le parti stampate) sono i materiali di base. I metalli preziosi contenuti sono Oro e Argento. I materiali critici utilizzati nelle schede a circuito stampato (Printed Circuit Board, PCB) sono i metalli del gruppo del platino (Palladio e Platino), gli elementi delle terre rare leggere (Neodimio, Nd), gli elementi delle terre rare pesanti (Ittrio, Y), Tantalio (Ta), Tungsteno (Wo), Gallio (Ga), Indio (In), Stagno (Sn), Berillio (Be), Cobalto (Co) e Germanio (Ge). Piombo (Pb) e Litio (Li) sono considerati due materiali strategici per il loro utilizzo nelle batterie. Per il trasporto di pezzi e componenti abbiamo utilizzato delle stime seguendo le indicazioni della letteratura di riferimento (Garnier et al., 2012).

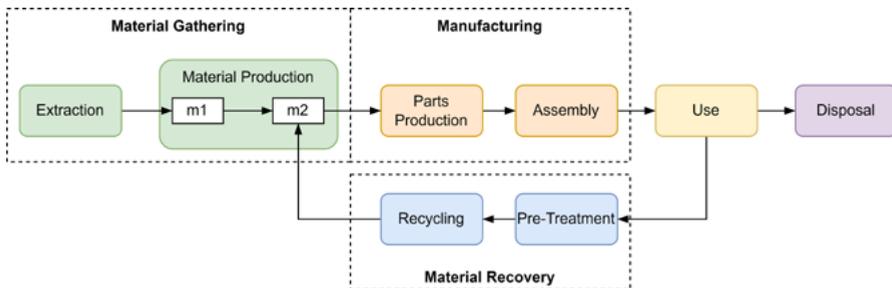
Tabella 1 - Inventario del server

Item	Flow	Unit
Cavi di rete	3.35E-03	m
HDD 3.5''	4.17E-03	kg
Batteria al litio	5.92E-02	kg
Circuito stampato per HDD	1.28E-02	kg
Scheda madre	1.63E+00	kg
Scheda circuito stampato	3.23E-01	kg
Scheda circuito stampato, alimentazione	3.57E-02	kg
Schede di memoria	3.35E-03	kg
Raffreddatore in alluminio	1.21E-01	kg
Rivestimento in ferro	7.17E+00	kg
Rivestimento in plastica	2.40E-01	kg
Transporto	1.92E+03	kg·km

- c) **Fase d'uso.** Il flusso di materiali durante questa fase è trascurabile. Il modello omette l'energia della fase di utilizzo, poiché i risparmi di materiale alla fine del ciclo di vita non sono influenzati dai consumi energetici del funzionamento, ma sono piuttosto considerati come risparmi di energia per l'acquisizione delle materie prime.
- d) **Fine vita** (End-of-Life, EOL). Il riciclo delle apparecchiature elettriche ed elettroniche è focalizzato sul recupero di metalli preziosi e sul recupero di energia attraverso l'incenerimento. Si stima una distanza di 200 km per il trasporto del server dal data center all'impianto di riciclo/smaltimento (Garnier et al., 2012).

La Figura 3 presenta il modello che abbiamo considerato per il riciclo dei materiali. Questo modello si basa su due assunzioni: i materiali secondari possano sostituire perfettamente i materiali primari e la filiera di produzione è in grado di reincorporare i materiali riciclati. Il modello si applica solo ai metalli, poiché la plastica viene declassata nel riciclo (EC, 2010).

Figura 3 - Modello integrato per il riciclo dei materiali.



Fonte: EC, 2010

Il pre-trattamento (selezione e separazione) dei RAEE è una delle fasi più importanti del processo di riciclo (Khaliq et al., 2014). Il pretrattamento dei RAEE comprende la selezione manuale, la triturazione, la selezione magnetica, la selezione con sistemi a correnti parassite o ad aria e la selezione ottica (Bigum et al., 2012). Solo il 12-26% di Oro, Argento e Palladio viene recuperato utilizzando processi automatizzati. La separazione

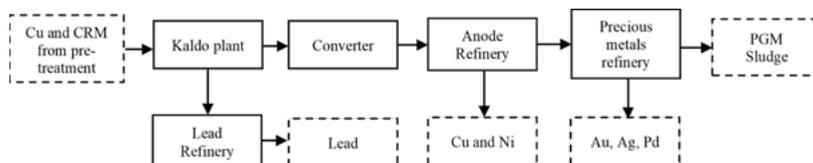
manuale delle schede PCB permette di raggiungere i tassi di recupero più elevati, pari al 95% per l'Oro (Hagelüken & Meskers, 2013).

Operazioni integrate di fusione e raffinazione di metalli non ferrosi permettono di trattare le schede PCB smaltite (Hagelüken & Meskers, 2013). Questi processi prevedono il recupero e la raffinazione pirometallurgica e idrometallurgica di Rame, Oro, Argento e Palladio, nonché di altre sostanze (Pb, Ni) con rese diverse. Le stime sui tassi di recupero medi sono del 95% per il Rame, 97% per l'Argento, 98% per l'Oro e 98% per il Palladio (Bigum et al., 2012).

La Figura 4 presenta un modello per il recupero di materiali da RAEE di alta qualità. Il materiale viene raffinato per separare il Piombo e inviato alla successiva fase di trattamento. Tramite raffinazione elettrolitica viene estratto il Rame; nella fase seguente vengono separati i metalli preziosi (Oro, Argento e Piombo) in forma solida, mentre i fanghi rimanenti contenenti PGM (metalli del gruppo del Platino) vengono venduti per un ulteriore trattamento (Bigum et al., 2012). Sono inoltre inclusi ulteriori modelli per i processi idrometallurgici (Z. Li et al., 2019), elettrochimici (Rubin et al., 2014) e di biolisciviazione (İşldar, 2016), nonché per il recupero del tantalio dai condensatori (Bastin et al., 2020).

Ulteriori scenari consentono di valutare l'influenza dei processi di recupero e la loro efficacia sull'impatto ambientale complessivo. Tra i processi di recupero, la frantumazione ha riportato percentuali di perdita tra il 30% e il 50% del materiale (Charles et al., 2017), mentre la separazione manuale ha percentuali di perdita inferiori al 5% (Hagelüken & Meskers, 2013). È importante considerare anche questi scenari insieme agli scenari di riciclo che modellano il processo di trattamento dei rifiuti elettronici frantumati e separati. In questo modo sarà possibile valutare l'efficacia complessiva del processo di riciclo e individuare eventuali punti critici che richiedono un miglioramento.

Figure 4 - Schema di un impianto di raffinazione.



Fonte: Bigum et al., 2012

4.2 Selezione degli Indicatori per la Valutazione dell'Impatto del Ciclo di Vita

- a) **Il Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP).** Questo rappresenta le emissioni equivalenti di anidride carbonica (CO₂) di un sistema che contribuisce al cambiamento climatico causato dall'uomo. Anche se non è un metodo per valutare il consumo di risorse, il GWP è l'indicatore LCA più conosciuto.
- b) **La Cumulated Energy Demand (CED)** tiene conto delle risorse con valore energetico ovvero con un certo potere calorifico e delle fonti rinnovabili come l'energia solare e la biomassa (Alvarenga et al., 2016). Questo approccio considera tutta l'energia consumata durante l'estrazione, la produzione e lo smaltimento di un prodotto. Rappresenta la domanda totale di energia di un prodotto.
- c) **L'Abiotic Depletion Potential (ADP)** è un parametro consigliato per quantificare gli impatti dell'esaurimento dei metalli e i benefici del loro recupero. I fattori di caratterizzazione dell'ADP per i minerali e i combustibili fossili sono calcolati confrontando il tasso di estrazione della risorsa con la loro riserve complessive disponibili (Schneider et al., 2015). La separazione dei minerali e dei combustibili fossili in categorie distinte fornisce una migliore rappresentazione delle diverse riserve (van Oers & Guinée, 2016).
- d) **Il Criticality Weighted Abiotic Depletion Potential** è un insieme di indicatori proposti da Koch et al., (2019) per l'integrazione della valutazione della criticità delle risorse nell'LCA. Questi fondono i concetti di ADP e di criticità dei materiali. In questo modo si affronta un anello mancante nell'LCA: l'impatto delle risorse con un focus sulla loro criticità. Si basa sull'ADP delle risorse naturali e utilizza i due parametri principali definiti a livello europeo per determinare la criticità di un materiale (importanza economica e rischio di approvvigionamento) per costruire gli indicatori per ciascun parametro.
- e) **Geo-Political Supply Risk (GPSR)** implica lo sviluppo di fattori di caratterizzazione per ciascun flusso di base. Questi fattori sono basati sul rischio di approvvigionamento del singolo materiale e sulla sua produzione globale. Il GPSR rapporta l'indicatore di rischio di approvvigionamento alla quantità totale di materia prima prodotta. Ciò consente di evidenziare i

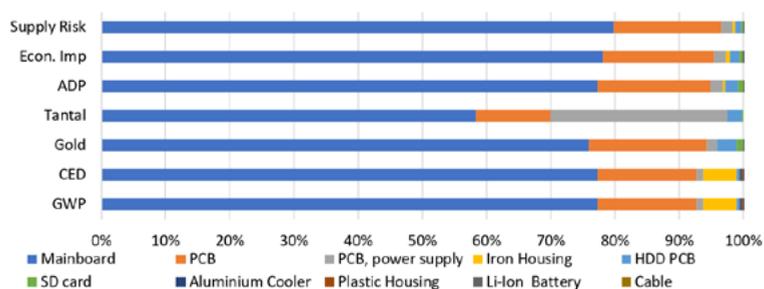
materiali che vengono utilizzati in piccole quantità rispetto ai materiali di maggior consumo (Mancini et al., 2018).

- f) **I Flussi Totali dei Materiali** raggruppano per tipo di materiale ogni flusso di base proveniente da fonti diverse, e considerano l'apporto di massa totale delle risorse minerarie, aggregandole indipendentemente dalla loro origine (Paese o giacimento specifico) o da qualsiasi parametro legato alla scarsità (Bigum et al., 2012).

5. Risultati della valutazione d'impatto

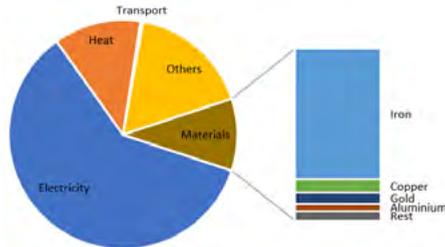
Le prime analisi del server forniscono una panoramica su quali componenti sono maggiormente responsabili degli impatti ambientali e aiutano ad indentificare dove si trovano i materiali preziosi da recuperare. I circuiti stampati (PCB) e le schede madri sono responsabili della maggior parte degli impatti in tutte le categorie, come mostrato in Figura 5.

Figura 5 - Gli impatti del ciclo di vita di un server.



L'analisi dei flussi consente di classificare gli impatti dei diversi processi all'interno del ciclo di vita. La Figura 6 presenta in dettaglio gli impatti sulle emissioni di gas serra dell'uso diretto di energia e materiali. Altri impatti corrispondono ad altri flussi come quelli legati alla produzione di sostanze chimiche.

Figura 6 - Gli impatti del ciclo di vita del consumo di energia e della raccolta di materie prime di un server



I risultati dei modelli di riciclo consentono di confrontare il GWP della raccolta delle materie prime e la potenziale riduzione delle emissioni derivanti dal recupero dei materiali, che sostituirebbe gli impatti diretti dell'estrazione (Figura 7). Con un andamento simile, i risultati del risparmio energetico attraverso il riciclo mostrano che i risparmi possono essere confrontati anche con la domanda totale di energia per la raccolta delle materie prime (Figura 8). Ciò consente di confrontare i processi pirometallurgici (PM), idrometallurgici (HM), elettrochimici (EC) e di biolisciviazione (Bio) e gli impatti dei loro rendimenti. Le diverse perdite durante il pretrattamento (dovute soprattutto alle perdite nella fase di frantumazione) hanno effetti sugli impatti complessivi del processo di riciclo.

Figura 7 - GWP totale e potenziali emissioni evitate con il riciclo

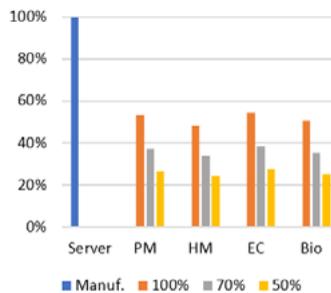
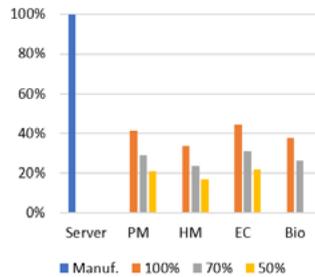


Figura 8 - CED totale e consumo energetico potenziale evitato grazie al riciclo.



La valutazione dell'esaurimento dei materiali attraverso il potenziale di impoverimento abiotico consente di avere una visione d'insieme della riduzione dell'impoverimento dei minerali ottenuta attraverso il riciclo (Figura 9). Se ci si concentra sul recupero dell'Oro, alcuni processi presentano un'elevata resa in termini di recupero di materiale (Figura 10).

Figura 9 - ADP totale e recupero dell'esaurimento delle risorse attraverso il riciclo.

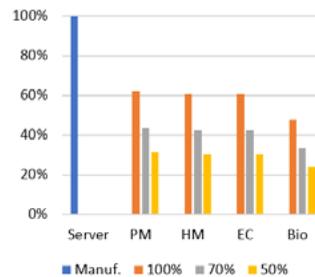
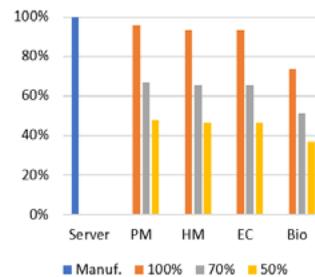


Figura 10 - Contenuto totale di oro e frazioni recuperate dal riciclo.



La Figura 11 presenta i risultati del recupero dei materiali quando si include la loro criticità basata sui materiali con elevata importanza economica. La Figura 12 presenta un approccio simile, ma considerando il rischio di approvvigionamento come fattore di ponderazione.

Figura 11 - Impoverimento di materiali di importanza economica e recupero in termini di peso ottenuto con il riciclo.

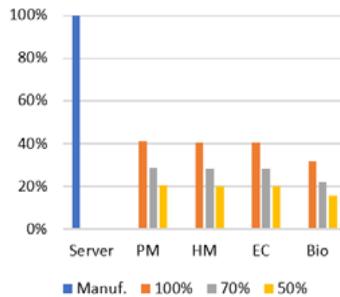
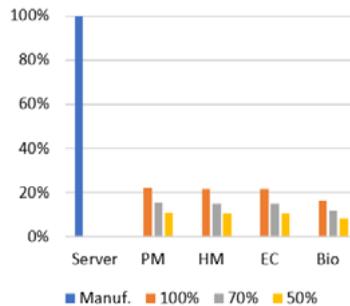
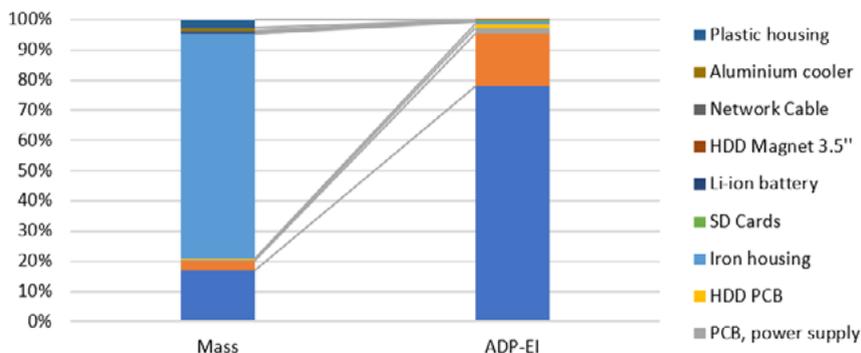


Figura 12 - Esaurimento dei materiali con rischio di approvvigionamento e recupero in termini di peso ottenuto con il riciclo .



La Figura 13 mostra che i circuiti stampati (PCB) contengono la maggior parte dei materiali responsabili dell'impoverimento dei minerali che hanno un'elevata importanza economica.

Figura 13 - Corrispondenza tra apporti di massa ed esaurimento dei materiali critici.



6. Valutazione dei risultati e discussione

L'analisi degli impatti mostra che la produzione dei circuiti stampati comporta elevati danni ambientali (GWP), un forte impoverimento energetico e un costante esaurimento dei materiali.

La Figura 5 mostra che le schede madri e gli altri circuiti integrati sono responsabili della maggior parte degli impatti relativi al potenziale di riscaldamento globale (93%) e all'esaurimento dell'energia primaria (93%). Poiché questi due indicatori dipendono fortemente dal consumo di combustibili fossili e per questo sono generalmente correlati, non mostrano appieno la rilevanza dei materiali per gli impatti ambientali.

Analizzando l'uso dei materiali, la Figura 5 mostra che i circuiti stampati contengono la maggior parte dei metalli preziosi, come l'Oro (96%) e il Tantalio (97%). Visto il loro elevato valore intrinseco, su questi materiali si concentrano le attività di riciclo.

Quando si valutano gli impatti e il recupero di questi metalli, i tre scenari sviluppati per le efficienze dei processi di pretrattamento (100%, 70% e 50%) mostrano risultati diversi in relazione ai processi di fine vita. Sebbene il 100% sia il valore ideale riportato solo in condizioni di laboratorio, il 70% è un numero più vicino agli standard industriali, mentre il 95% è più accurato quando si utilizza lo smistamento e la separazione manuali. Migliore è la preselezione, maggiore è l'efficienza del riciclo.

Uno dei punti noti è che le emissioni evitate grazie al riciclo sono solo una piccola frazione delle emissioni totali per la raccolta delle materie prime. La Figura 7 mostra che il miglior processo di riciclo può rag-

giungere il 54,7% di emissioni evitate dai prodotti recuperati, che quindi non rendono necessaria l'estrazione diretta. Queste frazioni sono simili ai risparmi evitati nel consumo di energia primaria, con valori del 44,5% di risparmio energetico grazie all'estrazione mineraria evitata (Figura 8).

Se si prendono in considerazione le efficienze legate al recupero dei materiali, i risultati presentati in Figura 10 mostrano che la via pirometallurgica ha efficienze di circa il 95,8% sul recupero del materiale, i processi idrometallurgici ed elettrochimici hanno tassi di circa il 93,4%, mentre i metodi di biolisciviazione raggiungono solo il 73%. Poiché il recupero del Tantalio è un processo a parte, si assume che il recupero sia uguale al 98%.

Se si considera la criticità dei materiali recuperati, gli indicatori mostrano che il riciclo, quanto si usa la pirometallurgia, può recuperare fino al 41% dei materiali critici sulla base dei fattori di ponderazione e degli indicatori di importanza economica (Figura 11). Se si utilizzano gli indicatori di ponderazione del rischio di approvvigionamento, il recupero dei materiali ad alto rischio di approvvigionamento produce circa il 22% dei risparmi (Figura 12). Le discrepanze tra queste percentuali e le frazioni di recupero sono dovute al mancato recupero di una parte dei metalli (come alcuni elementi delle terre rare) e a frazioni di recupero inferiori per alcuni altri materiali, come l'Alluminio e il Ferro.

7. Conclusioni e prospettive future

In questo capitolo, abbiamo presentato i risultati dell'analisi che abbiamo condotto attraverso l'applicazione di indicatori basati sulla criticità per valutare i vantaggi e i limiti del riciclo dei componenti dei data center. Nel valutare i vantaggi del riciclo per la sostenibilità ambientale, è importante tenere in considerazione il tema della criticità dei materiali, oltre a quelli relativi al riscaldamento globale. L'inclusione di questi indicatori può aiutare a sviluppare strategie per avere catene di fornitura più sostenibili.

Quando abbiamo valutato il riciclo come possibile elemento di mitigazione degli impatti ambientali, abbiamo scoperto che le emissioni evitate ottenute grazie al riciclo sono limitate. Si rileva in particolare una corrispondenza con il contributo agli impatti ambientali dell'estrazione delle materie prime necessarie per ciclo di vita dei componenti ICT, che si aggira intorno al 10%. La maggior parte delle emissioni a effetto serra deriva dall'energia necessaria per la produzione di questi componenti, che non è recuperabile attraverso il riciclo. Tuttavia, l'ammontare dell'in-

vestimento energetico per il riciclo dei minerali è inferiore a quello richiesto per la raccolta delle materie prime. Visti i vantaggi dal punto di vista ambientale, il riciclo potrebbe aprire degli scenari interessanti di recupero dei materiali vicino ai luoghi d'uso delle componenti ICT, quelle che vengono definite metaforicamente come le “miniere urbane”.

I processi di riciclo e le normative che lo regolano si basano a tutt'oggi solo sulla quantità di materiale recuperato, non valutando in modo corretto tutti i potenziali vantaggi e svantaggi del recupero. La Direttiva Europea sui Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (EC, 2012) indica le quantità che devono essere recuperate e avviate al riciclo, senza tenere nella giusta considerazione la criticità del materiale oppure gli impatti evitati sulla catena di fornitura. Noi crediamo che questo approccio debba essere cambiato. Temiamo, infatti, che ci sia un elevato rischio che la pressione sui cosiddetti metalli high-tech aumenti drasticamente nel prossimo futuro.

I processi di riciclo tendono a privilegiare i componenti di maggior valore economico quali Rame e Oro. A causa della complessa composizione dei dispositivi elettronici, in particolare delle schede a circuito stampato, il recupero di materiali presenti in piccole quantità è ancora molto difficile. Queste difficoltà sono principalmente dovute alla mancanza di una tecnologia adeguata al recupero di piccole quantità di minerali. Ad esempio, il recupero delle terre rare è solo agli inizi.

Gli indicatori di impatto basati sulla criticità dei materiali utilizzati in questo studio possono servire a sviluppare nuove strategie di riutilizzo e a evitare un'accentuata dipendenza dai materiali provenienti da territori non appartenenti all'Unione Europea. In termini di sviluppo futuro, riteniamo che siano necessarie nuove ricerche volte ad analizzare come l'applicazione di questi indicatori alle strategie di gestione dei data center possa massimizzare il recupero dei materiali critici.

Bibliografia

- Alvarenga, R., Oliveira, I., & de Almeida, J. (2016). Evaluation of Abiotic Resource LCIA Methods. *Resources*, 5(13). <https://doi.org/10.3390/resources5010013>
- Bakas, I. et al. (2014). Present and potential future recycling of critical metals in WEEE. Copenhagen Resource Institute.
- Bastin, F., Janssen, A., Lolivier, Y., Masalskas, M., van Rechem, A., & D'Ans, P. (2020). Exploration of alternative routes for recycling criti-

- cal metals from waste PCB and tantalum capacitors. *Procedia CIRP*, 90, 437–442. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.112>
- Bigum, M., Brogaard, L., & Christensen, T. (2012). Metal recovery from high-grade WEEE: A life cycle assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.001>
- Binnemans, K., Jones, P. T., Blanpain, B., van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., & Buchert, M. (2013). Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.037>
- BITKOM. (2013). Betriebssicheres Rechenzentrum. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2013/Leitfaden/Betriebssicheres-Rechenzentrum/LF-Betriebssicheres-Rechenzentrum.zip>
- Charles, R. G., Douglas, P., Dowling, M., Liversage, G., & Davies, M. L. (2020). Towards Increased Recovery of Critical Raw Materials from WEEE– evaluation of CRMs at a component level and pre-processing methods for interface optimisation with recovery processes. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104923. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104923>
- Charles, R. G., Douglas, P., Hallin, I. L., Matthews, I., & Liversage, G. (2017). An investigation of trends in precious metal and copper content of RAM modules in WEEE: Implications for long term recycling potential. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 60, 505–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.018>
- Debnath, B., Chowdhury, R., & Ghosh, S. K. (2018). Sustainability of metal recovery from E-waste. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(6). <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1044-9>
- Dewulf, J., Blengini, G. A., Pennington, D., Nuss, P., & Nassar, N. T. (2016). Criticality on the international scene: Quo vadis? *Resources Policy*, 50, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.09.008>
- EC. (n.d.-a). Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. (Publications Office of the European Union, Ed.).
- EC. (n.d.-b). Study on the EU’s list of Critical Raw Materials: Final Report (Publications Office of the European Union, Ed.).
- EC. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance (First edition). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2788/38479>

- EC. (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment, WEEE. Official Journal of the European Union, 197, 38–71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>
- Fichter, K., & Hintemann, R. (2014). The Quantities of Materials Present in the Equipment of Data Centers. *Journal of Industrial Ecology*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12155/epdf>
- Garnier, C., Aggar, M., Banks, M., Dietrich, J., Shatten, B., Stutz, M., & Tong-Viet, E. (2012). Data centre life cycle assessment guidelines. The Green Grid, White Paper, 45, v2.
- Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T., & Reck, B. K. (2015). On the materials basis of modern society. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6295–6300. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312752110>
- Hagelüken, C., & Meskers, C. (2013). Recycling of technology metals. In K. Hieronymi, R. Kahhat, & E. Williams (Eds.), *E-Waste Management, From Waste to Resource* (pp. 63–64).
- Hintemann, R. (n.d.). Efficiency gains are not enough: Data center energy consumption continues to rise significantly. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/04/Borderstep-Datacenter-2018_en.pdf
- Işldar, A. (2016). Biological versus Chemical Leaching of Electronic Waste for Copper and Gold Recovery. *Université Paris-Est Marne-la-Vallée*.
- ISO. (2006a). 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines, DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Beuth Verlag, Berlin.
- ISO. (2006b). Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. ISO.
- Khaliq, A., Rhamdhani, M., Brooks, G., & Masood, S. (2014). Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective. *Resources*, 3(1), 152–179. <https://doi.org/10.3390/resources3010152>
- Koch, B., Peñaherrera, F., & Pehlken, A. (2019). Criticality and LCA – Building comparison values to show the impact of criticality on LCA. ICSD 2019: 7th International Conference on Sustainable Development.

- Li, J., & Zeng, X. (2012). Recycling printed circuit boards. In V. Goodship (Ed.), *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook* (pp. 287–311). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857096333.3.287>
- Li, Z., Diaz, L. A., Yang, Z., Jin, H., Lister, T. E., Vahidi, E., & Zhao, F. (2019). Comparative life cycle analysis for value recovery of precious metals and rare earth elements from electronic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.025>
- Mancini, L., Benini, L., & Sala, S. (2018). Characterization of raw materials based on supply risk indicators for Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(3), 726–738. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1137-2>
- Montevecchi, F., Stickler, T., Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market: Final Study Report*.
- Norgate, T. E., Jahanshahi, S., & Rankin, W. J. (2007). Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production*, 15(8–9), 838–848. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.018>
- Pehlken, A., Hintemann, R., Penaherrera, F., Gizli, V., Hurrelmann, K., Hinterholzer, S., Kuchta, K., Kosheleva, A., Kaiser, H., Chwoyka, F., Kielmann, G., Wilde, H., Leukroth, S., Frerichs, D., & Daumlechner, A. (n.d.). *Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO*. https://tempro-energy.de/images/pdfs/Tempro_Endbericht_final_2020_05_14.pdf
- Reddy, V. D., Setz, B., Rao, G. S. V. R. K., Gangadharan, G. R., & Aiello, M. (2017). Metrics for Sustainable Data Centers. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 2(3), 290–303. <https://doi.org/10.1109/TSU-SC.2017.2701883>
- Rene, E. R., Sahinkaya, E., Lewis, A., & Lens, P. N. L. (2017). *Sustainable Heavy Metal Remediation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4>
- Rubin, R. S., de Castro, M. A. S., Brandão, D., Schalch, V., & Ometto, A. R. (2014). Utilization of Life Cycle Assessment methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap. *Journal of Cleaner Production*, 64, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.051>

- Schneider, L., Berger, M., & Finkbeiner, M. (2015). Abiotic resource depletion in LCA—background and update of the anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) model. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(5), 709–721. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0864-0>
- Unger, N., Beigl, P., Höggerl, G., & Salhofer, S. (2017). The greenhouse gas benefit of recycling waste electrical and electronic equipment above the legal minimum requirement: An Austrian LCA case study. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1635–1644. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.225>
- van Oers, L., & Guinée, J. (2016). The Abiotic Depletion Potential: Background, Updates, and Future. *Resources*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.3390/resources5010016>

Seppur nascosti alla nostra vista, i data center sono infrastrutture essenziali per il funzionamento della società e dell'economia. Gran parte delle informazioni digitali che produciamo (testi, immagini, video) e dei servizi che usiamo (social media, posta elettronica, video streaming) sono accessibili grazie al cloud computing che per funzionare ha bisogno di infrastrutture dedicate: i data center appunto. Si tratta di vere e proprie fabbriche del digitale dove sono ospitati server, hard disk e tutti gli apparati necessari ad una elevata connettività. Per quanto la nuvola ci sembri leggera ed eterea, ogni bit di informazione ha bisogno di molto hardware per funzionare. E questo hardware ha un impatto ambientale. I data center sono per loro natura energivori, consumano infatti grandi quantità di energia elettrica per il funzionamento degli apparati informatici ed elettrici (server, sistemi di rete, gruppi di continuità). Tuttavia, il loro impatto ambientale è decisamente più ampio e si estende anche all'infrastruttura (l'edificio che ospita i server) e alla produzione degli apparati elettronici ed elettrici utilizzati. Finora l'attenzione degli operatori si è concentrata principalmente nella fase d'uso del data center e quindi nella riduzione dei consumi di energia elettrica. Manca ancora una prospettiva più ampia in grado di guardare al tema della sostenibilità ambientale nel suo complesso.

Per contribuire a questo cambio di prospettiva, nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dall'Università di Padova e dalla direzione ICT e Agenda Digitale della Regione Veneto, abbiamo condotto un'analisi su più livelli. Abbiamo analizzato le iniziative prese dai principali operatori di data center a livello europeo sul fronte della sostenibilità aziendale. Utilizzando la prospettiva delle Global Value Chain, abbiamo analizzato le filiere legate alla realizzazione di un data center. Abbiamo poi applicato la metodologia del Life Cycle Assessment al data center Vsix dell'Università di Padova per calcolarne l'impatto ambientale. Inoltre, abbiamo deciso di accogliere in questo volume anche la ricerca condotta da due colleghi tedeschi sulle metodologie per il recupero di materiali preziosi e delle terre rare dai rifiuti elettronici.

ISBN 978-88-6938-362-5



€ 20,00