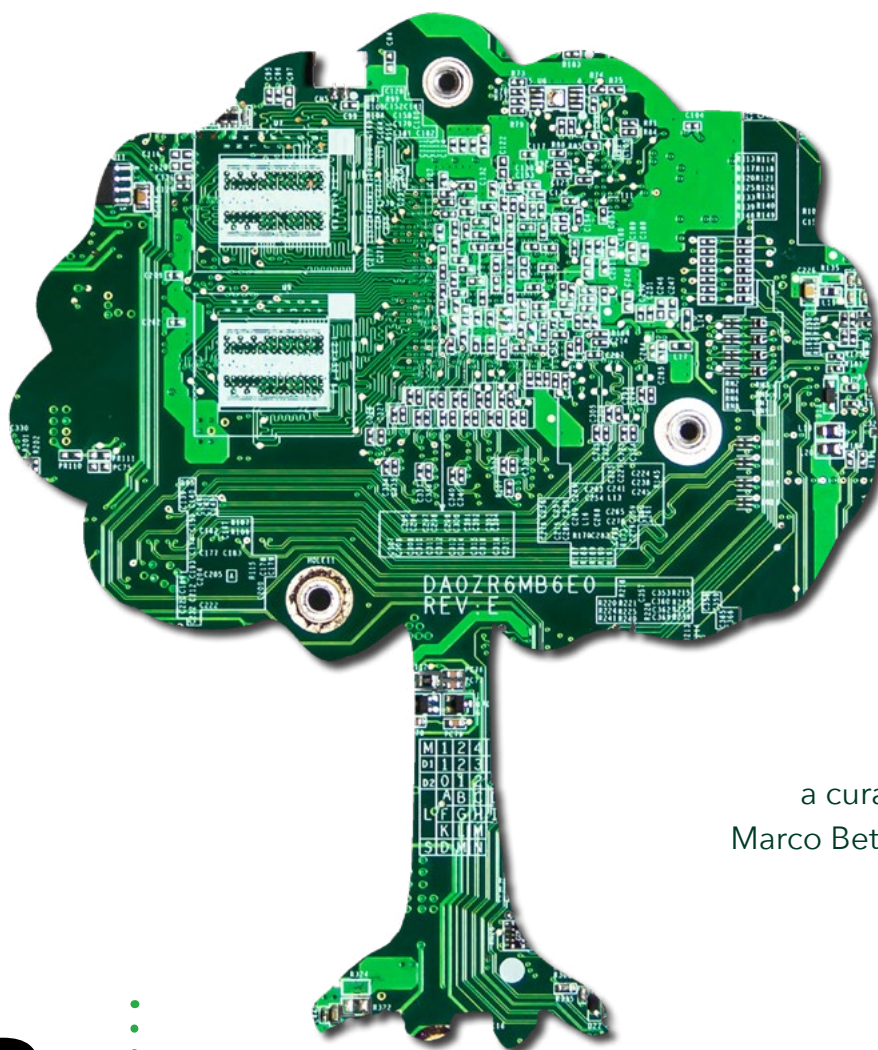


La sostenibilità ambientale del digitale: il ruolo dei data center

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

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'avere 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 & Elmeligi, 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.

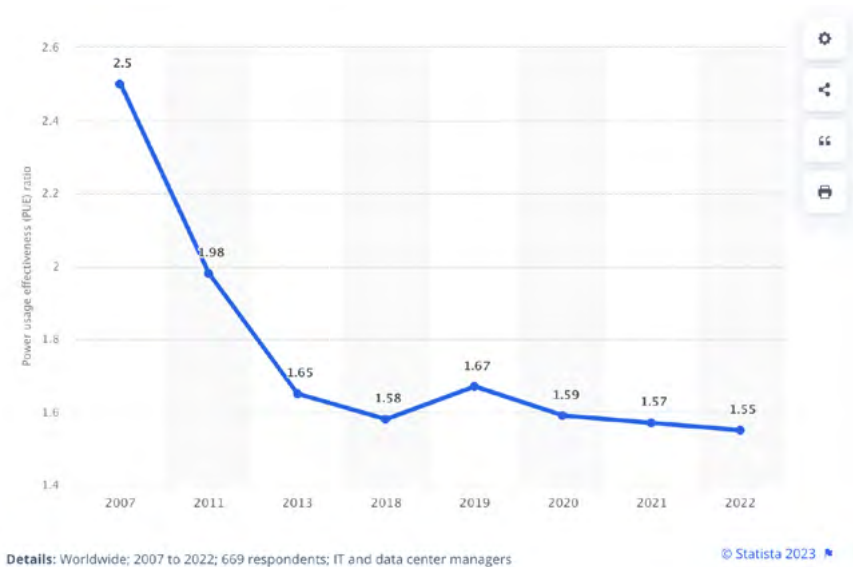
¹⁴ Non essendo lo scopo di questo testo approfondire il tema dell'edge computing, si rimanda a https://it.wikipedia.org/wiki/Edge_computing

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. Tutte 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, di 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 gestiti 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 Talebbydokti 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
<i>Tipologie di servizio offerto</i>		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	<i>Hyperscaler</i>	
Managed services	46	Sì	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 indicarci 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.

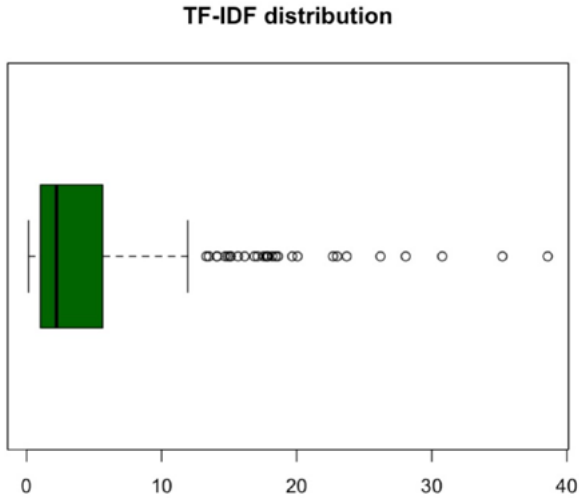
Tabella 12 – Bags of Worlds

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
				mas certified green (Materials Analytical Services) Certified
water usage				Green® certifies low VOC (volatile organic compound)
water usage effectiveness				emitting products and materials
wue - Water Usage Effectiveness				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 Heliix	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	1,96	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
<i>Note:</i>			*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>

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