

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

IL RUOLO DELL'ICT NEL CORPORATE CARBON FOOTPRINT

**Modello per la valutazione dell'impatto ambientale e percorso verso la
sostenibilità dell'ICT aziendale**

Relatore

Ch.mo Prof. Giovanni Boschetti

Correlatore

Ch.ma Prof.ssa Pamela Danese

Laureando

Pierfrancesco Bevilacqua Testa

Anno Accademico 2021-2022

Quando stai per mollare e sei sicuro di non farcela,

provaci.

E, quando avrai fallito, provaci ancora.

E ancora.

Il rimpianto pesa più del fallimento.

Indice

Sommario.....	III
1. Introduzione.....	1
1.1. Ecological e Carbon Footprint: definizioni e dati	1
1.2. As-Is inquinamento e impatto ambientale	2
1.3. ICT e Sostenibilità: quanto e come impattano il digital e la tecnologia.....	5
1.4. Consapevolezza, misure intraprese e disponibilità delle aziende.....	8
2. I data center ed il loro consumo di energia.....	17
2.1. Consumo energia data center.....	17
2.1.1. Quantificazione consumo.....	19
2.1.2. Valutazione fattori per l'aumento dell'efficienza nei data center	29
2.2. On-premises vs Cloud	48
3. L'impatto degli hardware	53
3.1. Assumptions - Contesto di studio.....	53
3.2. Ciclo vita e Carbon Footprint di Prodotto	53
3.2.1 Ciclo vita: da estrazione minerali a dismissione del prodotto.....	54
3.2.2 Life Cycle Assessment (LCA): Total Carbon Footprint	56
3.3. Soluzioni di Circular Economy	65
3.3.1. Remanufacturing	65
3.3.2. Ricondizionamento	68
3.3.3. Programmi di recupero interni	72
3.3.4. Analisi e valutazione dei fornitori di dispositivi IT	75
3.4. Applicazione di soluzioni circolari.....	77
3.4.1 Baseline scenario vs Circular Scenario	77
3.4.2 Valutazione delle soluzioni	81
4. Policy e Best Practice	83
4.1. Il ruolo del dipendente nel Sustainable IT: Employee Green Behaviour	84

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

4.2. Processi ad impatto ambientale e relative Policy	85
4.2.1. Paperless Office	86
4.2.2. Gestione mail	89
4.2.3. Condivisione di file pesanti all'interno dell'azienda.....	91
4.2.4. Comunicazione interna: app di messaggistica	94
4.2.5. Best practice di gestione energetica dei dispositivi.....	97
4.3. Il ruolo della (grande) azienda.....	98
5. Un problema globale.....	101
6. Conclusioni	105
Bibliografia.....	109

Sommario

Il tema principale sviluppato in questa tesi riguarda l'impatto ambientale dell'ICT aziendale, valutato in termini di Carbon Footprint (misura delle emissioni di gas serra [gCO₂eq]). Attraverso data center, hardware (laptop, monitor, mouse, tastiera) e processi, l'ICT aziendale è responsabile di una quantità sempre più rilevante di emissioni, contribuendo, di conseguenza, con una quota importante al Corporate Carbon Footprint dell'azienda del caso studio.

Lo scopo di questa tesi è quello di generare un modello di valutazione dell'impatto ambientale dell'ICT aziendale e di definire un percorso che possa guidare l'organizzazione nella definizione di uno stato To-Be al fine di ridurre la parte di Corporate Carbon Footprint direttamente imputabile all'ICT. Il modello si sviluppa nelle seguenti tre sezioni:

- valutazione del consumo energetico dei data center nel confronto On-Premises vs Cloud e analisi dei fattori impattanti per l'efficienza dei data center stessi
- applicazione di pratiche di circular economy finalizzate all'estensione del lifetime di hardware aziendali e alla riduzione del Carbon Footprint di Prodotto
- applicazione di policy e best practice per le attività d'ufficio più energivore.

La prima sezione definisce una guida per analizzare la situazione attuale del data center aziendale e per valutarlo in relazione alla soluzione Cloud, dimostrando come sia necessario considerare certi fattori per aumentarne l'efficienza, tra cui soprattutto località, sistemi di raffreddamento e di gestione del calore, e virtualizzazione. Nella seconda sezione, a seguito della valutazione del Carbon Footprint di Prodotto (CFP) dei singoli hardware, si dimostra come l'applicazione di pratiche di circular economy per i laptop comporti una certa riduzione delle emissioni (Baseline scenario vs Circular scenario). L'ultima sezione, infine, valuta l'impatto di processi aziendali d'ufficio (stampa, invio di mail, condivisione di file, messaggistica interna), valutando come l'applicazione di specifiche policy e best practice possa essere determinante nella riduzione delle emissioni aziendali.

Seguendo questo modello di valutazione, l'azienda ha l'opportunità di definire un percorso di miglioramento e ottimizzazione dell'ICT che può portare importanti vantaggi nella riduzione del proprio Carbon Footprint.

1. Introduzione

1.1. Ecological e Carbon Footprint: definizioni e dati

"È necessaria un'azione convinta e determinata. La trasformazione è gigantesca, e non c'è tempo, i costi che i nostri cittadini subirebbero sarebbero immensi".

Con queste parole il Presidente del Consiglio Mario Draghi, intervenuto al vertice Eumed di Atene, ha posto ulteriormente l'attenzione su quella che è la sfida più importante che ci si sia mai trovati ad affrontare nell'età contemporanea: il cambiamento climatico.

Quando si affronta questa tematica risulta necessario un approfondimento specifico in modo tale da capire quali azioni possono essere intraprese a livello individuale e collettivo.

Parlando di cambiamento climatico, è opportuno porre un particolare focus sul riscaldamento globale, ovvero un processo che prevede l'aumento, prima di tutto, della temperatura media globale e, in secondo luogo, come conseguenza, di fenomeni atmosferici estremi ad esso associati, i cui maggiori rappresentanti sono: scioglimento ghiacciai, alluvioni, tsunami, innalzamento del livello degli oceani, siccità.

La causa principale del riscaldamento globale è da ricercare nell'emissione nell'atmosfera di quantità sempre maggiori di gas serra, ovvero quei gas che riescono a trattenere una parte importante della componente nell'infrarosso della radiazione solare che colpisce la Terra ed è emessa dalla superficie terrestre, dall'atmosfera e dalle nuvole. Tutto ciò genera quello che è conosciuto oggi come effetto serra, definito come:

"Fenomeno naturale da cui dipende la temperatura della superficie terrestre, dovuto alla presenza nell'atmosfera dei cosiddetti gas serra: anidride carbonica, metano, ossido nitroso, ozono e clorofluorocarburi" (Treccani, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008))

Per affrontare le sfide del cambiamento climatico, sono stati introdotti dei parametri che permettono di valutare l'impatto ambientale di ogni singola attività svolta a livello individuale e di corporate aziendale: Impronta Ecologica (Ecological Footprint) e Impronta di Carbonio (Carbon Footprint).

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Il concetto di Ecological Footprint fu introdotto per la prima volta nel 1996 da William E. Rees e Mathis Wackernagel, che lo definiscono come:

“Indice statistico che confronta il consumo umano di risorse naturali di una certa porzione di territorio [...] con la capacità della Terra di rigenerarle, stimando l'area biologicamente produttiva (di mare e di terra) necessaria a rigenerare le risorse consumate e ad assorbirne i rifiuti” (Treccani, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008))

In altre parole, l'impronta ecologica ci dice la quantità di natura (pianeta Terra allo stato naturale) che abbiamo a disposizione e la quantità che effettivamente usiamo.

A causa della complessità, questo indice è ancora oggetto di studio e modifiche, e proprio per questo l'attenzione viene posta sul parametro che, oggi, viene maggiormente utilizzato per la valutazione dell'impatto ambientale: il *Carbon Footprint* (o *Impronta di Carbonio*). Questo permette di determinare gli impatti ambientali che le varie attività dell'uomo hanno sul cambiamento climatico e, di conseguenza, sul fenomeno del riscaldamento globale, precedentemente citato. In particolare, il Carbon Footprint definisce le emissioni in atmosfera di gas serra causate da un prodotto, da un servizio, da un'organizzazione, da un evento o da un individuo, espresse in tonnellate di CO₂ equivalente [CO₂eq] (ovvero prendendo come riferimento per tutti i gas serra l'effetto associato al principale di essi, il biossido di carbonio o anidride carbonica, che incide per circa il 75% sul totale), calcolate lungo l'intero ciclo di vita del sistema in analisi (prodotto, servizio, organizzazione, evento o individuo).

1.2. As-Is inquinamento e impatto ambientale

Come detto, il Carbon Footprint permette di stimare le emissioni in atmosfera dei gas serra causate da un'organizzazione, un prodotto, un servizio, un evento o un individuo. Tra i principali gas appartenenti a questa categoria i più impattanti sono CO₂ (anidride carbonica), N₂O (ossido di diazoto), CH₄ (metano), SF₆ (esafluoruro di zolfo), gli HFC (idrofluorocarburi), i PFC (perfluorocarburi) e H₂O (vapore d'acqua).

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Come mostra il grafico sottostante, nel 2018 le emissioni totali di gas serra a livello global stimato dalla World Bank sono state pari a 45,9 miliardi di tCO₂eq [1].

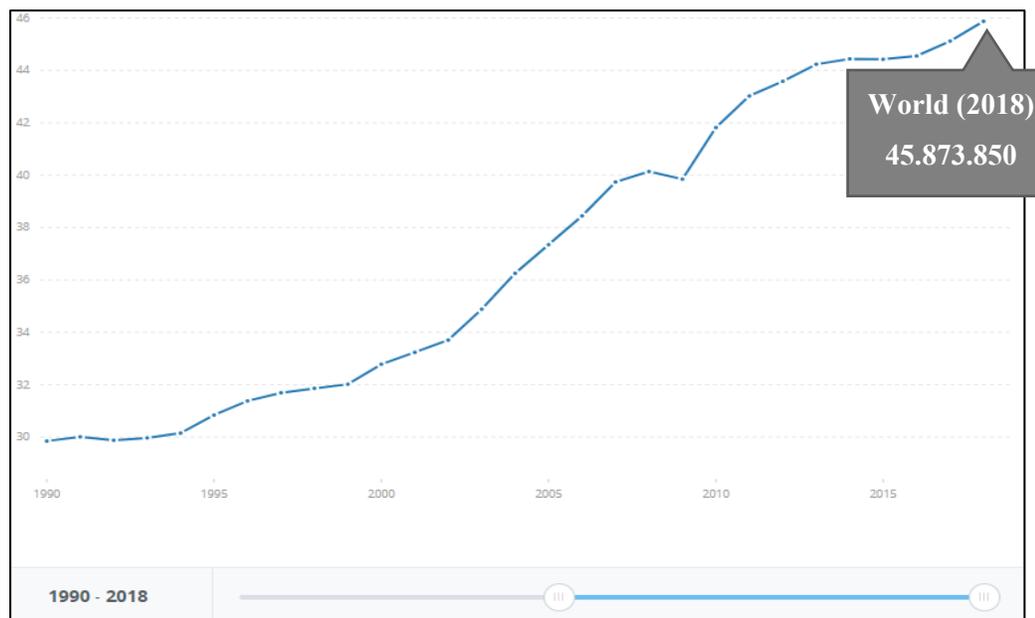


Fig. 1.1: Emissioni totali di gas serra in ktCO₂eq dal 1990 al 2018 (“The World Bank”) [1]

Si può notare un trend crescente negli anni che è continuato anche dopo il 2018, attestandosi nel 2021 ad un valore intorno ai 50 miliardi di tCO₂eq, il 40% più elevato rispetto al 1990. Di questi valori, circa il 75% è rappresentato da emissioni di anidride carbonica CO₂ (nel 2018 era pari a 34,04 miliardi tCO₂). [1]

Uno degli aspetti che riveste maggiore importanza nella lotta al cambiamento climatico e che rappresenta una delle strategie principali nel percorso verso la sostenibilità è dato dall'energia rinnovabile. Sostenere che le fonti rinnovabili non inquinano e non si esauriscono non è del tutto esatto: comparate con quelle non rinnovabili, hanno assolutamente un impatto ambientale minimo in termini di emissioni ed un'elevata capacità

[1] The World Bank, *Total greenhouse gas emissions (kt of CO₂ equivalent)*
<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

rigenerativa. Non si può, tuttavia, dire che siano inesauribili e ad emissioni zero perché anche le fonti rinnovabili determinano un impatto ambientale nella fase di produzione, in quanto secondo i principi della termodinamica tutte le trasformazioni di energia causano inquinamento. Si vedrà nel capitolo 1 come anche le fonti rinnovabili generino una certa (seppur minima) quantità di emissioni (si definirà il concetto di “Fattore di emissione”).

Le principali fonti rinnovabili sono energia solare, energia eolica, energia geotermica, energia da biomasse, energia idroelettrica ed energia marina. A livello mondiale, l'11,41% dell'energia primaria proviene dalle sei fonti rinnovabili sopra citate: tra i Paesi con le migliori prestazioni spiccano, soprattutto, Brasile e Svezia, rispettivamente con il 45,02% e il 42,24%; a livello europeo la quantità di energia primaria proveniente da fonti rinnovabili è pari in media al 16,49%, con l'Italia pienamente in linea con questo valore (16,29%) [2].

Secondo uno studio pubblicato da “Our World In Data”, la quota di produzione di elettricità proveniente da fonti rinnovabili a livello globale è pari al 28,98%. Ancora una volta i Paesi che più si distinguono a proposito di rinnovabili sono Brasile (84,23%) e Svezia (67,72%), ma anche gli stati dell'Africa centrale presentano una percentuale molto alta nella media (circa il 68%) [2]. A livello europeo, la quota di produzione di elettricità proveniente da fonti rinnovabili è pari al 38,20%, con l'Italia che si colloca sopra la media europea e mondiale con un valore di 43,17% [2].

Per capire come poter ridurre le emissioni e quali di queste possono o non possono essere eliminate con le tecnologie esistenti e nuove, è necessario prima capire da dove provengono queste emissioni che vanno poi a costituire l'impronta di carbonio.

Dallo studio condotto da Our World In Data si possono osservare i settori maggiormente impattanti dal punto di vista di emissioni di gas ad effetto serra: dal grafico riportato sotto (facente riferimento ai dati del 2016 ma comunque attuale in quanto oggi le emissioni si aggirano intorno ai 50 miliardi di tCO₂eq) si evince come il consumo di energia sia il fattore che in misura maggiore è responsabile del Carbon Footprint con un 73,2% sul totale.

[2] Our World In Data, *Renewable Energy*, <https://ourworldindata.org/renewable-energy#:~:text=Globally%20we%20see%20that%20hydropower,power%20are%20both%20growing%20rapidly>

Questo si costituisce di tre elementi principali:

- Utilizzo di energia nell'industria (24,2%)
- Trasporti (16,2%), principalmente su strada ma anche via aerea
- Utilizzo di energia negli edifici (17,5%) [3].

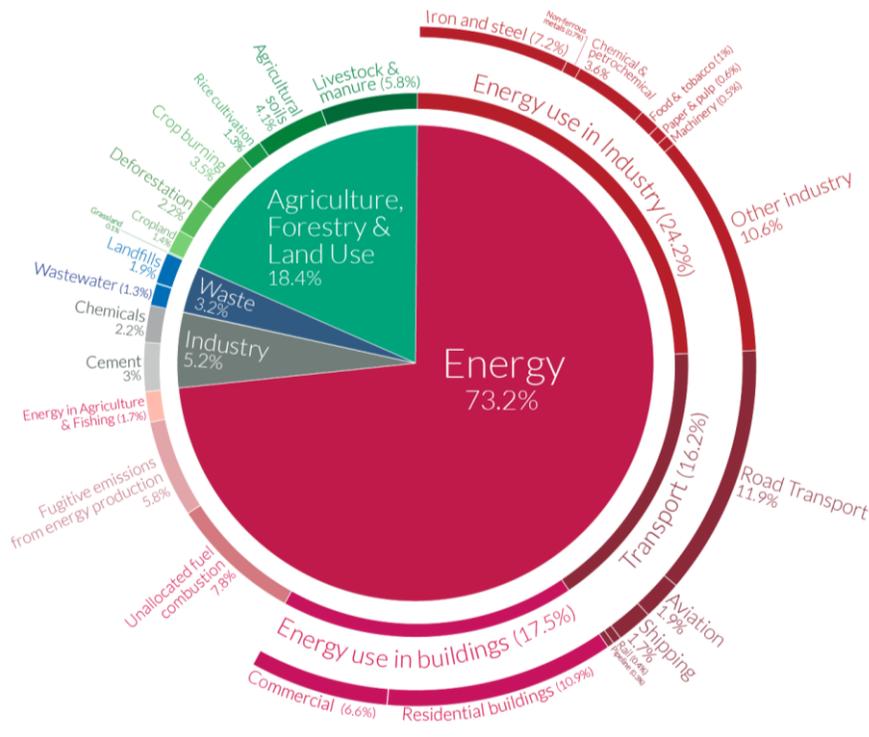


Fig. 1.2: Percentuale emissione di gas serra dei settori [3]

1.3. ICT e Sostenibilità: quanto e come impattano il digital e la tecnologia

Sustainable IT è un termine che fa riferimento ad un approccio orientato all'ambiente focalizzato su progettazione, utilizzo e dismissione di hardware e applicazioni software, e sul design dei relativi processi di business. Il termine si estende a significati anche più

[3] Our World In Data, *Emissions by sector*, <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

profondi, che vanno dall'estrazione di metalli per la produzione e lo sviluppo dei prodotti hardware fino alla conservazione dell'acqua e l'applicazione dei principi di economia circolare nel ciclo di vita della tecnologia.

Nel suo report "Sustainable IT", Capgemini ha definito quattro categorie di soluzioni di implementazione che permettono di effettuare un'analisi approfondita sulla sostenibilità del settore ICT, ovvero:

- Hardware e dispositivi elettronici, che si focalizza su acquisto di hardware e device con costo di carbon lifecycle minimo, aumento della consapevolezza degli impiegati sul loro utilizzo e sostenibilità, adeguati processi di riciclo e/o smaltimento, utilizzo di hardware efficienti, aumento del lifecycle dei dispositivi elettronici
- Network e sistemi di comunicazione: riduzione del traffico sul network e utilizzo di efficienti meccanismi per trasferimento di dati
- Applicazione e dati: progettazione di applicazioni Artificial Intelligence efficienti e sostenibili, sviluppo di architetture sostenibili per razionalizzare applicazioni, identificare e dimezzare applicazioni energivore
- Cloud computing e data center: passaggio da soluzione on premises a cloud pubblico, passaggio ad architetture cloud green, utilizzo di AI/ML per ottimizzare l'utilizzo dei data center e migliorare le soluzioni di raffreddamento [4].

La crescente domanda di potenza di calcolo e di immagazzinamento di dati ha posto una importante sfida dal punto di vista ambientale. Secondo Capgemini, si prevede che il numero di dispositivi connessi raggiungerà i 55,7 miliardi entro il 2025, 75% dei quali saranno connessi ad una piattaforma IoT. Tutto ciò porterà ad un aumento dei dati generati dai dispositivi IoT, portando con sé un aumento delle tecnologie, come l'Artificial Intelligence, che saranno sempre più critiche e centrali nella creazione di valore da enormi archivi di dati.

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Tutti questi fattori contribuiranno (e stanno già contribuendo) ad un aumento del Carbon Footprint dell'IT aziendale: attualmente l'Information Technology genera il 4% delle emissioni dei GHG (Green House Gas) a livello globale, e questo valore è previsto aumentare tre volte tanto entro il 2025 rispetto ai valori del 2010. [x]

I data center e la loro attività sono molto energivori: nel 2019 rappresentavano da soli l'1% della domanda d'energia mondiale. Alcuni dei più importanti Cloud Provider a livello internazionale hanno fatto significativi passi in avanti verso l'alimentazione dei propri data center tramite energia rinnovabile [4].

Un altro grande contributo al Carbon Footprint è dato dai dispositivi elettronici e hardware: dall'estrazione dei metalli fino allo smaltimento e alla dismissione dei dispositivi, la quantità di emissioni prodotta è notevole, per questo motivo è necessario valutare un'ottimizzazione legata ad hardware e device.

A tal fine, l'attenzione viene posta su due punti chiave: l'estensione della durata della vita dei dispositivi attraverso pratiche di circular economy e il loro appropriato smaltimento. Sempre secondo il report di Capgemini, l'89% del campione intervistato ricicla meno del 10% dei loro hardware, il che porta ad affrontare il problema che ne consegue, ovvero l'e-waste o rifiuti elettronici [4]. Con questo termine si fa riferimento a prodotti scartati, quali principalmente laptop e smartphone, ma che, potenzialmente, sono ancora funzionanti e se collegati alla corrente potrebbero essere alimentati. Nel 2019 sono state prodotte 53,6 milioni di tonnellate di e-waste a livello mondiale, ma il volume è destinato ad aumentare fino a 74 milioni entro il 2030 [4]. Il problema principale derivante da questi rifiuti elettronici è dato, innanzitutto, dalle sostanze tossiche che si liberano nella fase di smaltimento e che sono deleterie per l'ambiente e per l'uomo, e in secondo luogo dal consumo di risorse limitate quali sono i metalli necessari per la produzione dei dispositivi elettronici: non eseguendo, infatti, un adeguato processo di smaltimento e riciclo, tali metalli rari sono totalmente sprecati, e questo inevitabilmente ha un effetto a monte, dunque sulla produzione e, di conseguenza sull'estrazione ed il consumo di questi materiali.

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Una terza macro categoria che richiede una menzione a proposito di impatto in termini di emissioni è quella delle attività di office, dall'invio di mail e stampe di documenti, fino alla condivisione di file pesanti: si pensi che ogni singola mail inviata può avere un impatto anche di 19 gCO₂eq. Applicando questo valore ad un'organizzazione con centinaia o migliaia di dipendenti, il fenomeno assume dimensioni ben maggiori. Il tutto aumenta notevolmente di peso se si pensa che spesso le nostre mail contengono almeno un allegato: in questo caso il valore in termini di Carbon Footprint sale a 50 gCO₂eq [5].

Con le organizzazioni che investono sempre di più in tecnologie digitali, si prevede che l'impronta di carbonio dell'IT aziendale a livello globale cresca nei prossimi anni con un tasso sempre maggiore. Considerando le emissioni legate all'utilizzo di hardware e device e quelle dovute alla loro produzione, nel 2020 il valore totale si attestava intorno ai 1.129,8 MtCO₂eq (871 per la fase di utilizzo e 258,8 per la produzione), mentre per gli anni a seguire si attende un tasso di crescita medio annuale del 9,1%, arrivando ad un valore di emissioni pari a 1.466,7 MtCO₂eq. Secondo il report di The Shift Project ("Lean ICT – Towards digital sobriety"), il tasso di crescita dopo il 2023 è atteso ancora in aumento con un valore medio annuale del 20,5% fino al 2025, anno nel quale si prospetta una quantità di emissioni uguale a 2.129 MtCO₂eq [6].

1.4. Consapevolezza, misure intraprese e disponibilità delle aziende

Nonostante il Carbon Footprint nell'IT stia aumentando, questo non è ancora una priorità per la maggior parte delle organizzazioni, le quali non sono ancora consapevoli dell'impatto ambientale del digitale e delle infrastrutture ICT e non hanno ancora intrapreso un percorso verso la sostenibilità digitale. Tutte le interazioni digitali – email, chiamate e videochiamate, archiviazione e condivisione dei dati – presentano un costo in termini di emissioni di CO₂eq.

Secondo lo studio condotto da Capgemini infatti, tra le 1000 organizzazioni prese a campione, solo il 34% di queste sono consapevoli che la produzione di laptop e smartphone impatta di più rispetto al loro utilizzo.

[5] Berners-Lee M., How bad are bananas? The carbon footprint of everything, Profile

[6] The Shift Project, *Lean ICT, Towards digital sobriety*,

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Inoltre, la mancanza di consapevolezza si estende alla mancata conoscenza del Carbon Footprint della propria infrastruttura IT, in quanto circa il 43% ammettono di sapere il valore dell'impronta del proprio IT [4]. Il livello di consapevolezza varia da settore a settore, andando da un massimo di 52% del bancario ad un minimo del 28% del manifatturiero industriale. Il settore automotive si trova appena sopra il valore medio, con un 46% [4].

Secondo lo studio condotto da Capgemini, internamente alle organizzazioni prese a campione, la consapevolezza e l'implementazione di iniziative di sostenibilità nell'IT è differente da funzione a funzione: in particolare, quella maggiormente consapevole è, chiaramente, l'Information Technology, mentre le aree aziendali che, al contrario, sottovalutano l'importanza della sostenibilità digitale sono la funzione di Supply Chain/Logistica e le Risorse Umane [4].

La sostenibilità del digitale e dell'IT è ancora piuttosto scollegata dal programma di sostenibilità definito a livello di organizzazione complessiva. Al fine di intraprendere il percorso della sostenibilità digitale, per le aziende è molto importante capire prima di tutto come esse si posizionano rispetto alla tematica e come (e se) stanno agendo. In particolare, il posizionamento viene definito tramite la cosiddetta "Maturità delle organizzazioni", dimensione che può assumere quattro valori:

- Beginners
- Low Maturity Organizations
- Medium Maturity Organizations
- High Maturity Organizations [4].

La maturità di un'azienda viene valutata rispetto a tre fattori:

- Foundation: strategia sulla sostenibilità IT completa, definizione di target per la decarbonizzazione, trasformare la sostenibilità IT in un programma aziendale
- Governance: coinvolgimento degli stakeholder chiave, business model e strategie di marketing allineati alla sostenibilità IT, creazione di un team dedicato alla sostenibilità nell'IT

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Operationalizing: educazione di clienti e investitori, adeguato smaltimento dell'e-waste, monitoraggio ed influenza sui fornitori a riguardo dell'implementazione di un percorso di Sustainable IT [4].

Si riporta sotto la tabella definita dal Capgemini Research Institute nel report "Sustainable IT" che fornisce un supporto per l'individuazione della situazione attuale dell'azienda in termini di maturità relativamente a sostenibilità dell'IT e sue pratiche. Noto il punto di partenza è poi possibile cominciare con la definizione di un action plan e di strategie per passare ad un alto livello di maturità, che testimonia la capacità dell'azienda di affrontare adeguatamente e di essere in linea con la tematica del Sustainable IT.

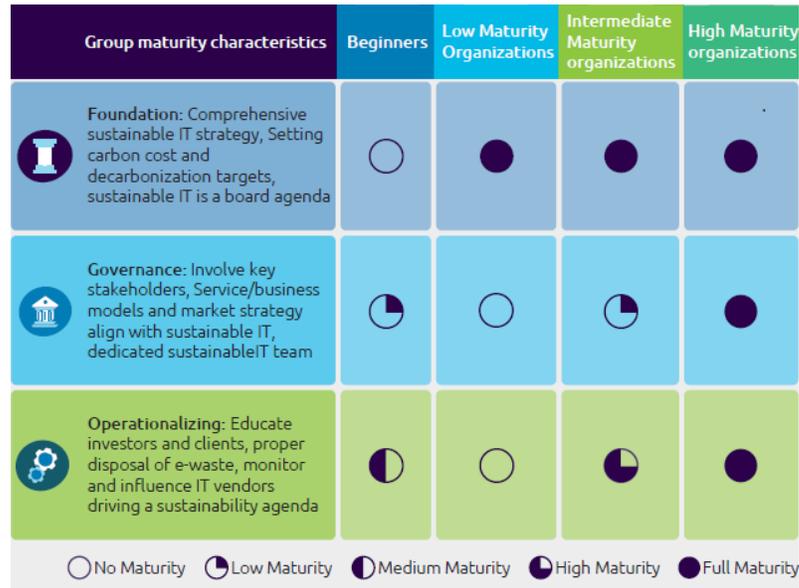


Fig. 1.3: Fattori per la valutazione del livello di maturità in materia di Sustainable IT delle aziende [4]

Dallo studio di Capgemini si riscontra che solo il 18% delle aziende afferma di avere una strategia dedicata alla sostenibilità dell'IT completa di obiettivi e milestone ben definiti,

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

mentre il 50% dice di avere una strategia sulla sostenibilità a livello di organizzazione, senza, però, specificare nulla di dettaglio relativamente alla parte IT [4].

Per molte aziende la sostenibilità dell'IT è ancora un work in progress, dato che il 62% sta ancora lavorando allo sviluppo e alla definizione di una strategia specifica non solo per l'IT ma anche per l'organizzazione nel suo complesso.

Che misure hanno intrapreso le aziende per la sostenibilità dell'IT?

Prendendo in esame le 4 categorie precedentemente definite (IT hardware/user devices, Cloud computing/virtualization, Networks and communication systems, Applications and data) si può osservare la seguente istantanea sulle azioni compiute dalle aziende in materia di Sustainable IT:

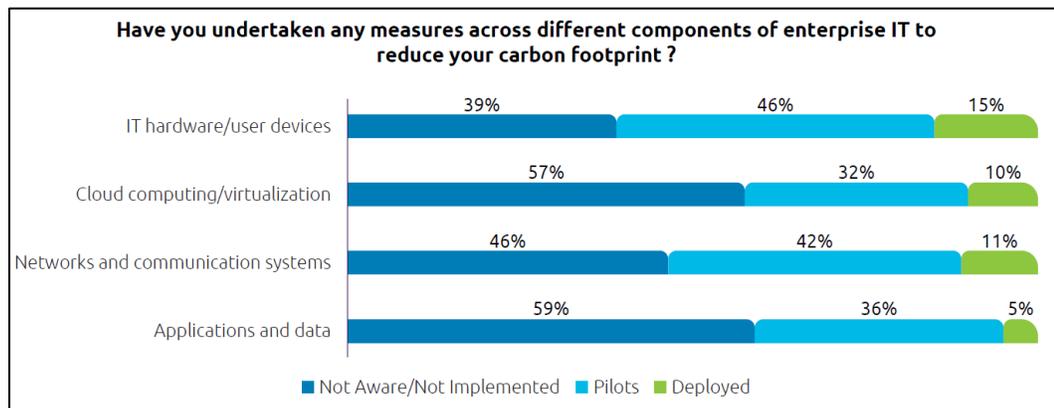


Fig. 1.4: Comportamento delle aziende rispetto alle categorie di intervento definite da Capgemini [4]

Questo diagramma va a sottolineare ulteriormente come una percentuale rilevante di aziende non sia ancora pienamente consapevole dell'importanza di intraprendere percorsi per la creazione di un modello di IT sostenibile, e come le stesse aziende pecchino nella

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

disponibilità di implementazione di strategie e misure per combattere il cambiamento climatico attraverso azioni mirate sul digitale. Nonostante dal grafico si possa osservare una presenza importante di progetti pilota tra tutte le quattro categorie, la percentuale di soluzioni sviluppate rimane comunque molto basso (nonostante un discreto valore del 15% per gli hardware e device IT).

A completare il quadro si aggiunge anche il dato rilevante secondo il quale solo un'azienda su tre ha definito delle policy che impongono la definizione e l'analisi del Carbon Footprint dell'organizzazione, in più la maggior parte delle organizzazioni non estende i requisiti di comunicazione dei valori ai propri fornitori.

Perché le organizzazioni non stanno dando priorità alla sostenibilità dell'IT?

Molte aziende trovano molto articolato misurare e valutare il proprio Carbon Footprint digitale, in particolare il 49% associa questa difficoltà alla mancanza di strumenti a disposizione per effettuare le misurazioni [4].

Più precisamente ci sono alcune motivazioni che spingono le organizzazioni a non compiere il passo verso la sfida del sustainable IT:

- Mancanza di expertise e conoscenza in materia di sostenibilità nell'IT e sue iniziative
- Elevati costi di implementazione di infrastrutture IT green
- Impatto sulla continuità del business quando si fa il passaggio dal “vecchio” sistema a quello nuovo [4].

Quali sono i benefici derivanti dall'IT sostenibile?

Oltre all'effettiva riduzione delle emissioni, le organizzazioni che presentano maturità nel percorso sulla sostenibilità IT e sulle sue iniziative vanno incontro ai seguenti benefici:

- Miglioramento nel punteggio ESG (Environmental, Social, Governance)
- Miglioramento nell'immagine del brand
- Crescita della soddisfazione del cliente

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Risparmio sulle tasse grazie alle pratiche sostenibili sostenute [4].

Il settore tecnologico e le aziende IT che lo costituiscono si trovano in una buona posizione per guidare la rivoluzione della sostenibilità, in quanto gioca un ruolo influente e rappresentante. Le aziende tech stanno compiendo rilevanti passi in avanti al fine di decarbonizzare le loro operations e i loro prodotti e servizi nel settore IT. Molte stanno attuando delle iniziative specifiche e hanno tra l'altro annunciato i loro target sul raggiungimento dell'obiettivo della carbon neutrality:

- Google è stata riconosciuta carbon neutral giù nel 2007 (secondo la BBC "*Google says its carbon footprint is now zero*", Settembre 2020) e ha compensato interamente il suo Carbon Footprint investendo in progetti di off-setting di alta qualità. Google punta ad alimentare e far funzionare i propri data center completamente tramite energia rinnovabile entro il 2030
- Microsoft sta pianificando di diventare carbon negative entro il 2030, puntando ad eliminare più carbone dall'atmosfera rispetto a quanto ne produce. Entro il 2023, la maggior parte dei data center di Microsoft funzioneranno ad energia rinnovabile
- Apple è nel proprio percorso per diventare carbon neutral entro il 2030: i data center sono alimentati da energia rinnovabile e sono raffreddati da sistemi "free cooling"
- Amazon è impegnato nel diventare carbon neutral entro il 2040 e ha recentemente investito nella generazione di 6,5 GW di energia eolica e solare al fine di alimentare i propri data center di AWS e i centri logistici [4].

Una menzione particolare va fatta per le aziende produttrici di tutti quegli hardware senza i quali sarebbe impossibile parlare di sustainable IT, e addirittura in generale di IT:

- HP programma di utilizzare energia rinnovabile per il 100% nel prossimo futuro. Uno dei loro maggior obiettivi è quello di aumentare il contenuto di plastica riciclata del 30% entro il 2030

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Dell possiede già due fabbriche certificate ISO 50001, inoltre incoraggia e spinge fortemente i propri partner a conseguire la stessa certificazione al fine di ridurre il Carbon Footprint dei vari prodotti. Attualmente Dell è nel proprio percorso verso la riduzione delle emissioni di gas serra del 40% [4].

Può essere interessante effettuare un confronto tra il product carbon footprint di HP e quello di Dell.

Si consideri il prodotto HP 17 Laptop PC: il suo impatto stimato in termini di emissioni varia tra un range di 180-670 kgCO₂eq, con un valore medio pari a 310 kgCO₂eq. Tale valore è rappresentativo dell'intero lifecycle del prodotto e può essere rappresentato nelle sue varie componenti dal grafico sottostante [7].

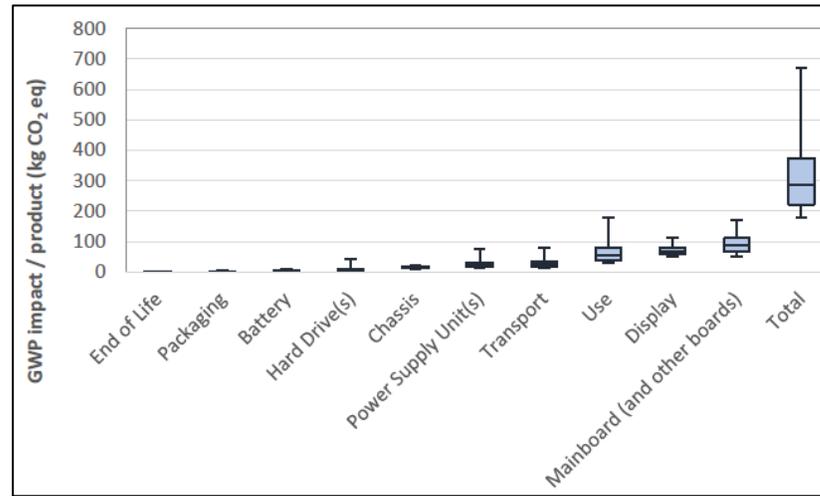


Fig. 1.5: Dettaglio Carbon Footprint di Prodotto HP 17 Laptop PC [7]

La stessa analisi può essere effettuata per Dell. In particolare, si consideri il prodotto Dell Precision 7760, il suo Carbon Footprint stimato dall'azienda è pari a 533 kgCO₂eq +/- 120 kgCO₂eq. Tale valore può essere rappresentato dal grafico sotto [8].

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

[7] HP Development Company LP, *Product carbon footprint, HP 17 Laptop PC*

[8] Dell, *Estimation product carbon footprint, Dell Precision 7760*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

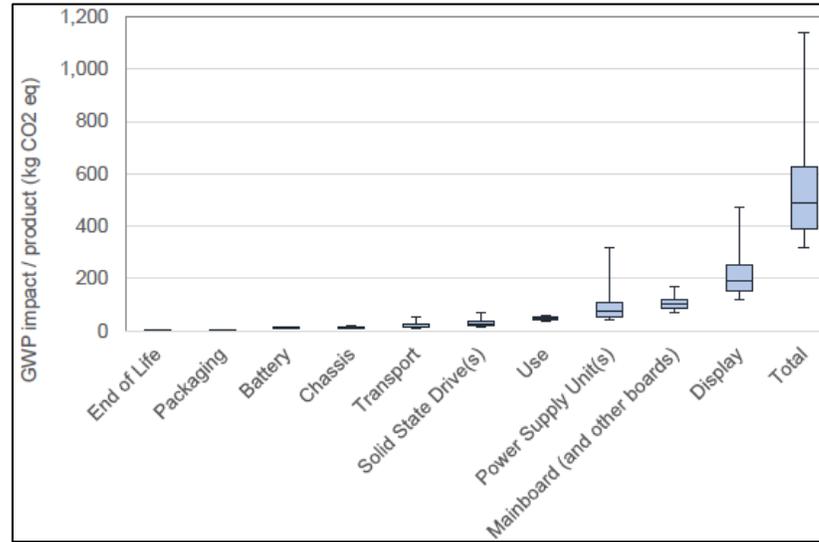


Fig. 1.6: Dettaglio Carbon Footprint di Prodotto componenti Dell Precision 7760 [8]

Definito il contesto della ricerca, questa tesi ha come obiettivo la creazione di un modello di valutazione dell'impatto ambientale delle infrastrutture digitali e di implementazione di soluzioni green di sustainable IT per un'azienda italiana tramite l'analisi di tre macro categorie:

1. Consumo di energia dei data center, ottimizzazione e valutazione della soluzione con il minor impatto ambientale tra on-premises e cloud
2. Utilizzo di hardware e dispositivi elettronici, e valutazione dell'estensione del loro lifecycle al fine di ridurre il Carbon Footprint
3. Implementazione di soluzioni e policies per l'ottimizzazione dei processi di office al fine di ridurre l'impatto delle varie attività.

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

2. I data center ed il loro consumo di energia

Un data center è una struttura fisica che raggruppa tutte le apparecchiature e tecnologie usate dalle aziende per conservare applicazioni e dati importanti, e che permette il funzionamento di sistemi, processi e servizi che svolgono una funzione di supporto alle attività aziendali.

Si vanno a distinguere due principali categorie di data center:

- Data center aziendali: questa soluzione prevede che il CED (Centro di Elaborazione Dati) sia realizzato, gestito e, cosa più importante, di proprietà dell'azienda che li utilizza e li ottimizza mettendoli a disposizione degli utenti finali. Questa soluzione è anche nota come On-premises, ovvero on-site (e per questo motivo detto anche “in-house”), ad indicare che il data center è ospitato fisicamente nelle strutture aziendali
- Cloud data center: la soluzione cloud prevede che dati e applicazioni siano gestiti dai cosiddetti Cloud Service Provider (CSP), ovvero fornitori che offrono alle aziende le proprie risorse in condivisione tra molteplici individui o aziende. Si possono individuare due sottocategorie di questa soluzione: da un lato quelli che successivamente verranno nominati semplicemente “Cloud” (di dimensione più ridotta) e dall'altro lato i cosiddetti “Cloud Hyperscale”, caratterizzati da ottime performance e bassi consumi (appartengono a questa categoria i grandi Cloud Service Provider tra cui Amazon Web Services, Microsoft Azure e Google).

Si può pensare al data center come il cervello che garantisce l'operatività dell'azienda: hanno il ruolo di elaborare, immagazzinare, comunicare e rendere disponibili tutti i dati che si trovano dietro i servizi su cui le aziende fanno affidamento e su cui basano le proprie attività, da calcolo e progettazione a mail e comunicazione interna.

2.1. Consumo energia data center

Per fornire i servizi, i data center utilizzano diversi dispositivi di Information Technology, che sono alimentati da energia elettrica, risultando, di conseguenza, da un lato

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

in elevati costi operativi, e dall'altro in altrettanto importanti emissioni di gas serra nell'ambiente. Attualmente, l'utilizzo di elettricità da parte dei data center a livello globale è stimato essere attorno all'1-1,5% del totale a livello globale. Gli elementi principali che vanno a costituire il data center, e che dunque sono interessati dal consumo di energia, sono:

- Server, responsabile dei processi di calcolo ed elaborazione
- Dispositivi di archiviazione (storage devices), i cosiddetti dischi all'interno dei quali viene immagazzinata la grande quantità di dati necessari per ogni azienda
- Dispositivi di rete (network devices), che permettono la connessione tra i vari server, fondamentale per il funzionamento del data center.

Oltre agli elementi responsabili di garantire direttamente l'operatività dell'azienda, c'è anche un insieme di componenti del data center il cui consumo di energia non è direttamente causato dall'elaborazione dei server, dall'archiviazione e delle attività di network, bensì fanno parte dell'infrastruttura fisica che contiene e supporta il data center e tutti i suoi dispositivi correlati. I principali elementi di questa infrastruttura sono:

- Sistema di raffreddamento
- Sistema di distribuzione della potenza, in particolare i gruppi di continuità (detti anche UPS, Uninterruptible Power Supply)
- Illuminazione
- Sistemi di sicurezza (antincendio)
- Materiali di costruzione.

Sebbene non sia presente una evidente certezza accettata da tutta la comunità scientifica, il consumo globale di energia complessivo da parte dei data center registrato nel 2018 è stato stimato pari a 205 TWh, e se si confronta con quello del 2010 pari a 194 TWh, nonostante un notevole incremento dei dati prodotti e gestiti, e delle capacità di calcolo dei data center, si osserva che c'è stato un aumento solo del 6% in 8 anni, spiegabile da un aumento dell'efficienza energetica dei processi di elaborazione dei dati e delle infrastrutture

dei data center (principalmente sistemi di raffreddamento più efficienti e località strategiche di collocazione) [9].

2.1.1. Quantificazione consumo

Per poter effettuare un'analisi e definire un modello del consumo di energia, è necessario scomporre il modello del data center di alto livello nelle sue componenti principali e procedere con una descrizione di ciascuna di queste.

Ad oggi non esistono ancora valori e statistiche ufficiali sul consumo e sull'utilizzo di energia da parte dei data center a livello nazionale o globale.

La quantificazione del consumo sarà definita sulla base del lavoro di Koot et al., i quali hanno valutato ciascuno degli elementi in relazione a tre alternative:

- On-premises: nel testo viene indicato come “Traditional” a riferimento del fatto che è la soluzione che prevede che un'azienda abbia un data center gestito autonomamente in-house
- Cloud: soluzione secondo cui i data center sono gestiti dai provider, ma hanno una dimensione fisica limitata (un esempio può essere Aruba)
- Hyperscale: data center di larga scala estremamente performanti (elevata velocità, ottime prestazioni e ridotti consumi) gestiti dai grandi Cloud Service Provider quali Amazon, Google, Microsoft [10].

L'analisi condotta da Koot et al. considera un orizzonte temporale che va dal 2016 al 2030: per questa tesi si definiranno uno scenario passato (2016), uno scenario presente (2021) e uno scenario futuro (2030) sulla base dei CAGR (Compound Annual Growth Rate) proposti da Koot e Wijnhoven.

[9] Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J., Recalibrating global data center energy-use estimates, *Science*, vol. 367, pp. 984-986

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, *Applied Energy*, vol. 291

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Server

Il principale elemento del data center è il server, il cui consumo viene analizzato in relazione ai workload: il fabbisogno di elettricità dei server è causato proprio dal volume di workload che il data center processa e dal numero di server necessari per elaborarli.

I dati maggiormente rilevanti ai fini di un'analisi dei consumi del data center sono la produttività del server e la potenza media consumata: in Tabella 2.1 si osservano i valori definiti per gli anni 2016, 2021, 2030.

Si analizzi, prima di tutto, la produttività del server espressa in workload/server: il data center on-premises si caratterizza per un valore pari a 2,4, il quale si prevede aumenterà fino a 3,8 nel 2021 e 8,7 nel 2030. Per le soluzioni cloud hyperscale e non, invece, si ha nel 2016 un valore pari a 8,8 workload/server, variando fino a 13,2 nel 2021 e 27,2 nel 2030 [10]. Si ricava, dunque, che entrambe le soluzioni cloud sono più efficienti rispetto al data center tradizionale sia oggi sia nel futuro prossimo (maggior workload per singolo server).

Il secondo parametro associato al server è la potenza media di un singolo server definito come W/server. Per l'on-premises è stato calcolato un consumo medio nel 2016 di 229,84 W/server, valore destinato ad aumentare fino a 274,3 nel 2021 e 377,1 nel 2030. Per il cloud tradizionale si parte da 302,75 W/server nel 2016, arrivando nel 2021 e nel 2030 rispettivamente a 275,06 e 231,45 W/server. Infine, considerando la soluzione hyperscale, avremo anche in questo caso una riduzione partendo da 253,49 W/server nel 2016 fino a 242,29 nel 2021 e 236,6 nel 2030 [10].

Parametri server		2016	2021	2030
Produttività server [workload/server]	On-premises	2,4	3,8	8,7
	Cloud	8,8	13,2	27,2
	Hyperscale	8,8	13,2	27,2
Potenza media server [W/server]	On-premises	229,84	274,3	377,11
	Cloud	302,75	275,06	231,45
	Hyperscale	243,49	242,29	236,6

Tabella 2.1: Produttività e Potenza media dei server rispetto alla tipologia di data center [10]

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Storage

Il consumo di energia dei data center è direttamente influenzato dai dati che devono essere gestiti, e dal momento che la quantità di dati generati aumenta di anno in anno, il consumo è destinato a crescere, anche perché tutti questi dati devono essere archiviati ed immagazzinati all'interno di dischi. La potenza per disco assorbita da questa componente varia sulla base del tipo di drive considerato: si distinguono da un lato i Solid State Drive (SSD) e dall'altro gli Hard Disk Drive (HDD): la soluzione SSD presenta un consumo pari a 6 W nel 2016, a cui è associata una riduzione annua che risulta in un valore di 5,34 W nel 2021 e di 4,33 W nel 2030 [10]. Per quanto riguarda, invece, l'Hard Disk Drive, il consumo definito nel 2016 è di 8,1 W, e con un tasso annuo di decrescita, passa rispettivamente a 6,17 W nel 2021 e 3,78 W nel 2030 [10].

Parametri storage		2016	2021	2030
Potenza driver [W]	SSD	6,0	5,34	4,33
	HDD	8,1	6,17	3,78

Tabella 2.2: Potenza driver (W) ripartito tra SSD e HDD [10]

Network

Il terzo componente principale del consumo di energia per un data center è il network. Questo concetto di rete si rende necessario perché c'è un traffico di dati che necessita di essere gestito, dato dalla combinazione di traffico tra data center ed utenti, tra data center diversi, e all'interno di un data center (ovvero connessione tra server).

Il consumo di energia della componente network è legato all'utilizzo dei dispositivi di rete (hub, switch, router, gateway ed altri) i quali, anche a causa della loro bassa efficienza (si stima che operino tra il 5% e il 25% del loro potenziale, rimanendo inutilizzati per il

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

70%), consumano una certa quantità di energia [10]. Per questo assume un ruolo rilevante la cosiddetta topologia del network, ovvero il modello geometrico che rappresenta le connessioni (fisiche o logiche) tra gli elementi della rete. Ci sono diverse forme di topologie, sta poi alle aziende individuare quella che risulta più efficiente per lo specifico caso. In questa tesi, si considera esclusivamente il network interno. In Tabella 2.3 si possono osservare i dati sulla potenza media assorbita da una porta per le soluzioni on-premises, cloud e hyperscale per gli anni 2016, 2021 e 2030:

Parametri network		2016	2021	2030
Potenza media per porta [W/porta]	On-premises	1,71	1,26	0,73
	Cloud	2,58	1,57	0,64
	Hyperscale	3,19	2,28	1,25

Tabella 2.3: Potenza media per porta (W/porta) in base alla tipologia di data center [10]

Infrastruttura

Oltre agli elementi responsabili direttamente del consumo energetico, l'edificio del data center consiste anche dell'infrastruttura di supporto per server, dischi per l'archiviazione e dispositivi network: impianti di raffreddamento, distribuzione di potenza, illuminazione, sistemi di sicurezza (antincendio) e materiali di costruzione. Il fabbisogno dell'infrastruttura consiste di tutti i consumi di energia del data center che non sono direttamente causati dalle attività di elaborazione, archiviazione o rete (networking).

Secondo Koot et al. il consumo energetico associato all'infrastruttura, in particolare ai sistemi di raffreddamento, rappresenta circa il 30% del fabbisogno energetico totale [10].

Per una valutazione della performance dell'infrastruttura, una misura molto utilizzata è il Power Usage Effectiveness (PUE), definito come l'energia totale consumata dal data center rispetto a quella utilizzata dall'attrezzatura IT del data center stesso. Il valore di

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

questa metrica dipende da molteplici fattori: tipologia, design e dimensioni del data center, tecnologia adottata, temperatura esterna, tasso di occupazione. Pertanto, è evidente, come si osserva in Tabella 2.4, come data center on-premises, cloud e hyperscale possano avere valori differenti. Il valore medio assoluto a livello industriale del PUE varia tra valori minimi vicini a 1,1 (hyperscale cloud data center) a valori massimi anche di 2,0 [11] [12].

Il PUE, come si approfondirà in seguito, non è, però, una metrica perfetta: è possibile, infatti, introdurre e considerare altri parametri che permettono di effettuare una valutazione più completa come il Water Use Effectiveness.

PUE medio	2016	2021	2030
On-premises	2,10	2,00	1,82
Cloud	1,66	1,59	1,44
Hyperscale	1,21	1,18	1,18

Tabella 2.4: Power Usage Effectiveness in base alla tipologia di data center [10]

Data center

Koot et al. hanno simulato il consumo di energia dei data centers per il periodo 2016-2030, assumendo che i trend tecnologici e comportamentali futuri rimangano costanti. Si passa ora ad analizzare nello specifico i consumi negli anni 2016, 2021 e 2030 suddivisi tra server, storage, network, infrastructure prima, e i consumi associati alle tre categorie di data center esaminati in questa tesi (on-premises, cloud, hyperscale), al fine di evidenziare la situazione passata e attuale, ma soprattutto osservare quello che sarà il trend futuro sia dei consumi, che del mercato, ovvero su quali soluzioni punteranno le aziende [10].

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

[11] Lawrence A., *Is PUE actually going UP?*, Uptime Institute, <https://journal.uptimeinstitute.com/is-pue-actually-going-up/>, 2019

[12] Shehabi A., Smith S., Sartor D., Brown R., Herllin M., Koomey J., Masanet E., Horner N., Azevedo I., Lintner W., *United States Data Center Energy Usage Report*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, pp. 32

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

In Fig. 2.1 si osservano i valori % del consumo di energia associati a ciascuno dei quattro componenti principali del data center, che sono stati stimati da Koot et al. pari a [10]:

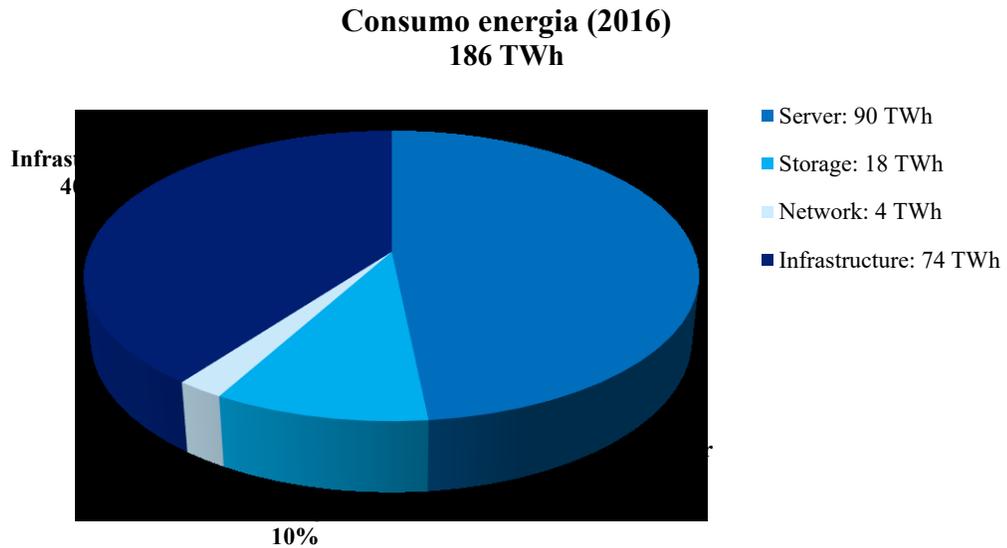


Fig. 2.1: Consumo di energia [TWh] ripartito tra Server, Storage, Network, Infrastructure nel 2016 [10]

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Per l'anno 2021, i consumi e la loro distribuzione % iniziano già ad osservare dei cambiamenti, in particolare si osserva che la componente server aumenta ulteriormente la propria quota, a discapito dell'infrastruttura. I dati del consumo stimati nel 2021 sono [10]:

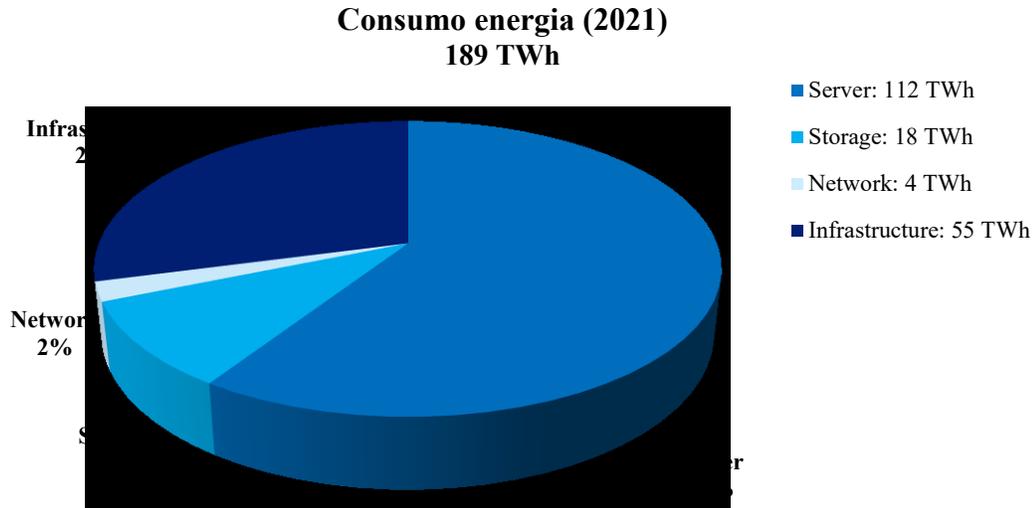


Fig. 2.2: Consumo di energia [TWh] ripartito tra Server, Storage, Network, Infrastructure nel 2021 [10]

Seguendo il trend, anche nel 2030 il fabbisogno energetico dei data center è previsto in crescita, raggiungendo i 288,19 TWh, con le varie componenti e rispettivi consumi [10]:

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

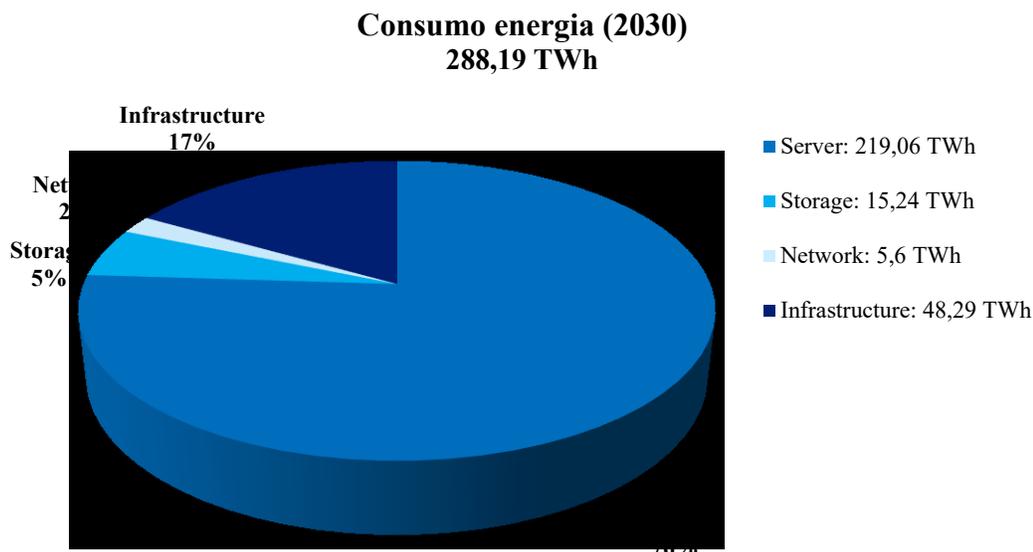


Fig. 2.3: Consumo di energia [TWh] previsto ripartito tra Server, Storage, Network, Infrastructure nel 2030 [10]

La riduzione della componente infrastruttura è un dato molto significativo, perché dimostra come si stiano facendo molti sforzi per l'aumento dell'efficienza dei sistemi di raffreddamento.

Un altro dato rilevante che si ricava è l'evoluzione del consumo dei server negli anni 2016 – 2030 ripartito tra On-premises, Cloud ed Hyperscale Tabella 2.5.

Consumo Server [TWh]	2016	2030
On-premises	35,48 TWh	9,18 TWh
Cloud	25,21 TWh	32,29 TWh
Hyperscale	29,25 TWh	177,59 TWh

Tabella 2.5: Consumo di energia [TWh] nel 2016 e nel 2030 (forecast) in base alla tipologia di data center [10]

Fig. 2.4 riporta la situazione complessiva con l'evoluzione dei consumi che avranno ciascuno dei componenti finora analizzati. L'aumento dell'energia richiesta per soddisfare il fabbisogno dei data center è fortemente influenzato dalla crescita dei consumi della

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

componente server, che dal 2016 al 2030 è supposta aumentare di circa il 140%, da 90 TWh a 219 TWh. Questo aumento è in parte bilanciato dalla riduzione che riguarda, soprattutto, la parte di infrastruttura, che sarà quella maggiormente investita nel miglioramento dell'efficienza energetica.

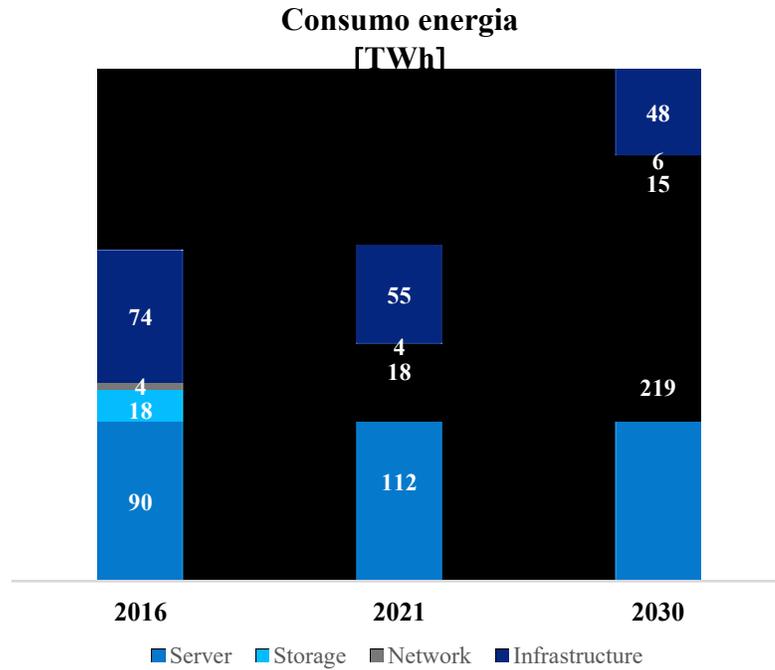


Fig. 2.4: Riepilogo consumo di energia [TWh] nei 3 anni considerati suddivisi per categoria (Server, Storage, Network, Infrastruttura) [10]

Questi dati sono confermati anche da altri studi, tra tutti Masanet et al. secondo cui, nel 2018, il consumo di energia lato data center a livello globale è stato pari a 205 TWh suddivisi in 51% consumati dalla parte server, 10% dallo storage, 2% dal network e il restante 37% dalla componente infrastrutturale [9].

Si riporta in Fig. 2.5 la distribuzione dei consumi di energia tra le varie di categorie di data center. Partendo dai dati del 2016, i 186 TWh (185,77 TWh) risultano suddivisi in

[9] Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J., Recalibrating global data center energy-use estimates, Science, vol. 367, pp. 984-986

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

83,73 TWh consumati dai data center on-premises, 53,98 TWh dal cloud tradizionale e, infine, 48,06 TWh dal cloud hyperscale [10]. Dunque, nel 2016, le aziende erano prevalentemente orientate a gestire i data center autonomamente presso il proprio stabilimento. Tuttavia, le aziende si stanno orientando di più verso soluzioni off-site: si stima che il consumo di energia che impegnerà i data center nel 2030 sarà pari a 288.19 TWh. Di questi 288,19 TWh, 17,16 TWh saranno impegnati da soluzioni on-premises, 50,71 TWh dai cloud tradizionali e, infine, 220,32 TWh dai data center hyperscale [10]. Ciò è dettato dal fatto che, grazie alle ottime performance e ai bassi consumi degli hyperscale, è possibile raggiungere una riduzione di consumi energetici ed emissioni (carbon footprint), e dei costi associati a tali consumi.

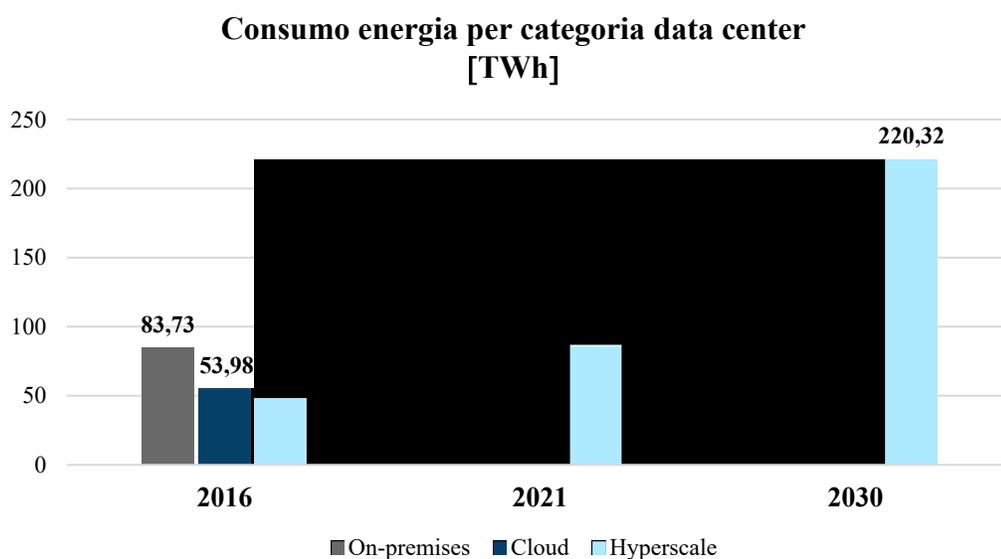


Fig. 2.5: Ripartizione del consumo di energia nei 3 anni di riferimento rispetto alla tipologia di data center [10]

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

2.1.2. Valutazione fattori per l'aumento dell'efficienza nei data center

Dall'analisi appena condotta, e dall'ultimo grafico di Fig. 2.5, si osserva che la quota di energia consumata maggiore appartiene alla categoria di cloud hyperscale.

Ma questo significa che questa soluzione è effettivamente la più energivora?

Avendo scomposto il consumo nelle sue componenti, si può osservare come la situazione è diversa da come sembra dal grafico di Fig. 2.5. In particolare, gli hyperscale saranno già nei prossimi anni la categoria che comporta il maggior consumo energetico perché sempre più aziende si rivolgeranno ai CPS (Cloud Service Provider) per la gestione dei propri servizi IT.

Per un'organizzazione che si trova di fronte alla sfida di ridurre il proprio Corporate Carbon Footprint e che deve valutare la convenienza ambientale tra le alternative on-premises (situazione attuale) e cloud hyperscale, è importante approfondire una serie di aspetti che vanno ad influire sull'efficienza del data center.

2.1.2.1. Località data center

La potenzialità di molte misure orientate al miglioramento dell'efficienza energetica è strettamente collegata alle condizioni climatiche e allo sfruttamento di fonti rinnovabili, dunque la località del data center impatta in maniera importante sul consumo energetico e, conseguentemente, sul Carbon Footprint. La differenza principale tra on-premises e cloud è che il data center privato di un'azienda viene collocato in corrispondenza del luogo fisico dell'azienda stessa, dunque la potenzialità risulta limitata alla località dell'organizzazione. Affidandosi ad un Cloud Service Provider, invece, si ha la possibilità che i data center siano collocati in luoghi strategici dal punto di vista del clima e delle fonti rinnovabili.

Sfruttando energia proveniente da molteplici fonti ogni azienda avrà un proprio energy source mix che dipende dalla località in cui l'organizzazione, con il proprio data center, è collocata. Un primo fattore che si va ad analizzare nella valutazione della località è la disponibilità di fonti rinnovabili. Ognuna di queste è caratterizzata da un fattore di emissione dei gas serra, ovvero la quantità di CO₂eq generata per kWh prodotto

[gCO₂eq/kWh] Fig. 2.6 illustra i fattori di emissione delle fonti energetiche del 2020 secondo l'UNECE [13].

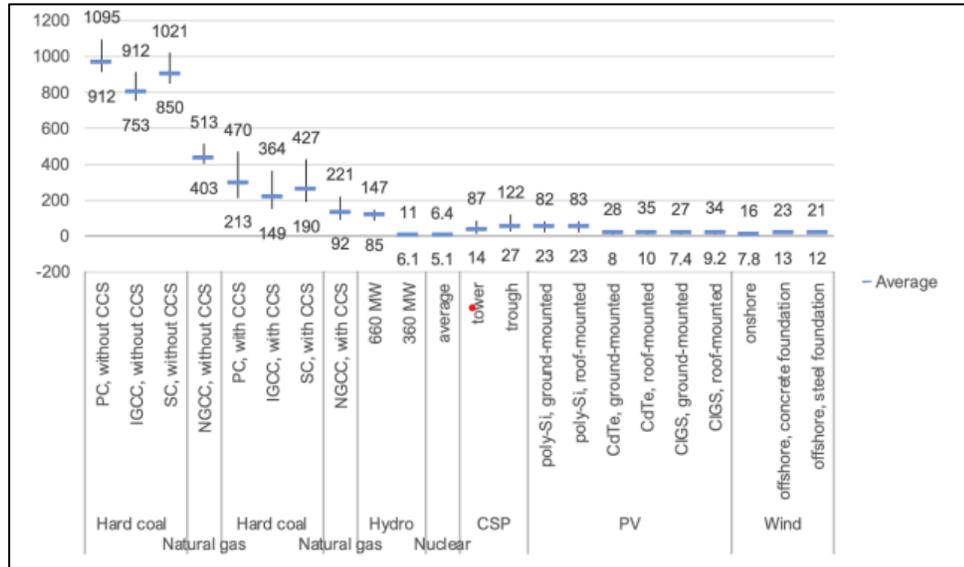


Fig. 2.6: Fattore di emissione [gCO₂eq/kWh] per fonte energetica nel 2020 [13]

Un'azienda che effettua una valutazione della località deve valutare qual è il fattore di emissione complessivo di quella determinata area. Si riportano in Fig. 2.7 i valori relativi ad alcuni stati europei [14]. Un esempio rappresentativo dello sfruttamento delle caratteristiche ambientali e della disponibilità di energia da fonti rinnovabili è Facebook: a Lulea, in Svezia, è stato installato un data center che da un lato ottimizza il raffreddamento grazie alle rigide temperature, e dall'altro viene alimentato da energia proveniente da centrali idroelettriche.

[13] United Nations Economic Commission for Europe, *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*, pp. 8

[14] European Environment Agency, *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*, Figure 2 - Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country, <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

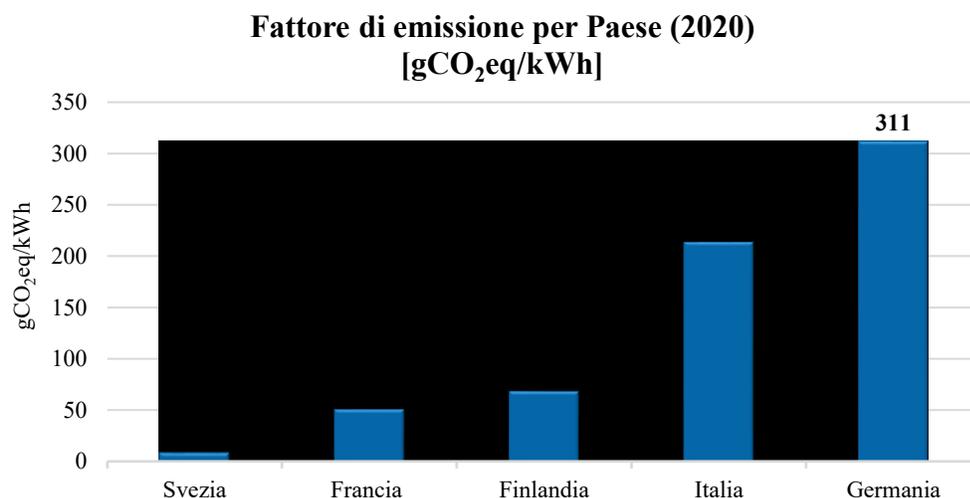


Fig. 2.7: Fattore di emissione medio per Paese [gCO₂eq/kWh] definito nel 2020 [14]

Si riportano in Tabella 2.6 gli energy source mix di alcuni tra i Paesi rappresentativi d'Europa e in Tabella 2.7 i valori di alcune grandi città italiane: confrontando queste con Stoccolma, si osserva che in Italia il ricorso ai combustibili fossili è ancora oggi piuttosto elevato, e rappresenta la percentuale maggiore comparata con le fonti rinnovabili. In Svezia, invece, e in altri stati con condizioni climatiche similari, è possibile usufruire di una maggior disponibilità di fonti rinnovabili, su tutte l'idroelettrico (57,9%) [15].

[15] Carbon Disclosure Project, *2021 Cities Energy Mix*, <https://data.cdp.net/Renewable-Energy/2021-Cities-Energy-Mix/n62b-wt5j>

Energy mix città europee (2021)

Energy mix (%)	Petrolio	Carbone	Gas naturale	Biomassa	Idroelettrico	Nucleare	Solare	Eolico	N.A.
Stoccolma	0	2	2	8	53	22	0	11	2
Londra	2,9	5,1	39,5	0	1,7	19,5	3,9	17,1	10,3
Helsinki	0,3	7,5	5,9	18,1	18,6	34,7	0,3	9,1	5,5
Parigi	0,4	0,3	7,2	1,8	11,2	70,6	2,2	6,3	0

Tabella 2.6: Energy mix città europee definito come % rispetto alle principali fonti energetiche [15]

Energy mix città italiane (2021)

Energy mix (%)	Petrolio	Carbone	Gas naturale	Biomassa	Geotermico	Idroelettrico	Nucleare	Solare	Eolico	N.A.
Ferrara	1,5	23,7	33,1	5	1	20	4,2	8	4	0
Torino	0,5	8,5	43	4,5	2	18	3,5	9	8	3
Milano	3,5	6,5	48,7	6,7	2,1	16,5	0	8,1	6,9	1
Padova	1,4	14,2	47,7	6,5	2,1	12,7	0	8,1	5,9	1,4

Tabella 2.7: Energy mix città europee definito come % rispetto alle principali fonti energetiche [15]

Il mix e la disponibilità di rinnovabile possono variare anche nel giro di pochi km, tuttavia la situazione complessiva rimane quella definita da Fig. 2.7 e Fig. 2.9. Sulla base di queste informazioni, un'azienda deve, innanzitutto, definire quello che è il proprio energy mix sulla base della località fisica in cui l'azienda stessa, con il suo data center, è collocata e delle fonti rinnovabili presenti sul territorio. Dunque, un primo passo è quello di fare un assessment dello stato attuale dal punto di vista della fornitura di energia. L'analisi va condotta analogamente per i Cloud Service Provider. Si può a questo punto effettuare un confronto tra quello che è l'attuale energy source mix dell'azienda e quello che sarebbe il potenziale mix offerto dal Cloud Provider nel territorio dove questo colloca i propri data center. Questa prima valutazione consente all'azienda fin da subito di capire se

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

effettivamente la soluzione cloud possa portare alla riduzione del Carbon Footprint: qualora la località messa a disposizione dal provider presentasse un energy source mix e fattori di emissione più elevati rispetto all'on-premises aziendale, la soluzione cloud difficilmente garantirebbe un upgrade sotto l'aspetto ambientale.

Una domanda che un'azienda che sta esaminando le alternative on-premises e cloud dovrebbe farsi è

“Riusciremo ad alimentare il nostro data center tramite il 100% di energia rinnovabile?”

Questo è un passaggio chiave perché i grandi Cloud Service Provider (AWS, Google, Microsoft) hanno definito dei percorsi sostenibili secondo i quali riusciranno ad alimentare i data center al 100% con energia rinnovabile nel futuro prossimo.

2.1.2.2. Sistemi di raffreddamento

Il consumo di energia proveniente dai sistemi di raffreddamento è legato alla necessità di fornire ai server aria di raffreddamento ad una certa temperatura al fine di evitare un surriscaldamento che sarebbe dannoso. Un dato interessante fornito da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) è che è possibile considerare un range di temperature più ampio per l'aria in ingresso ai server che va dai 18°C ai 27°C [16]. Questo range di temperature ampio è un vantaggio importante per molte aziende italiane, in quanto per buona parte dell'anno è possibile sfruttare la potenzialità del free cooling. Nonostante ciò, molte aziende continuano a tenere un range ben più stretto, compreso tra i 22°C e i 24°C, cosa che comporta un consumo di energia molto maggiore in quanto i sistemi di raffreddamento (meccanici) sono continuamente sollecitati nel raffreddare l'aria al fine di fornire una temperatura compresa nel range. Per questo motivo i data center aziendali sono ancora fortemente basati su sistemi di raffreddamento meccanici: tra le tecniche maggiormente utilizzate c'è quella del corridoio freddo/corridoio caldo (Cold Aisle/Hot Aisle Design) con il supporto del contenimento.

[16] Data aire, *How to use ASHRAE Data Center Cooling Standards*, 4 Maggio 2021. <https://www.dataaire.com/how-to-use-ashrae-data-center-cooling-standards/>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Un'organizzazione deve individuare le possibilità per aumentare l'efficienza del proprio sistema di raffreddamento. A tal proposito ci sono molte best practice che possono essere eseguite. Può risultare importante intervenire sulla temperatura interna alla data room, per esempio aumentandola di qualche grado, oppure altri interventi possono riguardare il miglioramento della circolazione e l'ottimizzazione della produzione di aria fresca. Esempi di misure specifiche orientate alla riduzione del consumo di energia sono le seguenti:

- Eliminare le unità CRAC non necessarie
- Aumentare la temperatura dell'aria di ritorno all'unità CRAC
- Introdurre il contenimento per corridoi freddi o caldi (in base alla necessità)
- Implementare delle soluzioni di free cooling [17].

Il luogo dove il data center viene collocato influisce in maniera importante sull'efficienza dei sistemi di raffreddamento, in quanto è possibile sfruttare le caratteristiche climatiche. Gli elementi della location che vanno considerati in relazione al raffreddamento sono la temperatura esterna e l'umidità. Dunque, un'analisi complementare a quella precedentemente condotta sulla disponibilità di fonti rinnovabili e sul fattore di emissione [gCO₂eq/kWh], è quella relativa a temperatura esterna e umidità di ciascuna località.

Per aumentare l'efficienza del data center e ridurre il consumo di energia, è possibile affiancare ai sistemi meccanici delle tecniche di free cooling, che è una delle strategie di efficienza energetica più utilizzate, e si caratterizza per diverse applicazioni: direct air free cooling, water-based free cooling, rotating wheel heat exchanger e altri. Il free cooling prevede che si sfruttino le caratteristiche ambientali della località in cui il data center è inserito al fine da avere un raffreddamento a spesa energetica praticamente nulla. Secondo Depoorter et al. l'utilizzo della strategia di free cooling è provato dare benefici in qualsiasi località, riducendo il consumo di energia totale del data center tra il 5,4% e il 7,9% (in base a dove il data center è collocato) [18]. L'utilizzo del free cooling deve essere regolato da un

[17] Cho J., Kim Y., *Improving energy efficiency of dedicated cooling system and its contribution towards meeting an energy-optimized data center*, Applied Energy, vol. 165, pp. 967- 982

[18] Orò E., Depoorter V., Pflugradt N., Salom J., *Overview of direct air free cooling and thermal energy storage potential energy savings in data centres*, Applied Thermal Engineering, vol. 85, pp. 100-110

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

modello che consideri la temperatura esterna (analizzata rispetto a quella interna nelle data room) e l'umidità: quando sono rispettati determinati requisiti e condizioni di temperatura e umidità per l'aria in ingresso, allora il sistema di free cooling sarà attivato, mentre il raffreddamento meccanico viene interrotto.

I risultati dello studio di Lee e Chen hanno mostrato che la strategia di free cooling ha un potenziale importante, oltre che nelle regioni con clima freddo, in località con un livello medio di umidità e zone marine, mentre in zone molto fredde e molto secche, con punto di rugiada molto basso sarebbe necessario un importante quantitativo di potenza e acqua per il processo di umidificazione [19]. Dunque, la tecnica di free cooling va integrata, sia con il sistema meccanico di raffreddamento del data center, che con sistemi di (de)umidificazione e sistemi di filtraggio (per evitare inquinamento delle data room tramite polveri o altri contaminanti).

Un caso che sfrutta le condizioni climatiche dell'ambiente in cui è inserito è il Project Natick di Microsoft: questo progetto ha visto un data center con 864 server venire collocato a 35 m di profondità nel Mare del Nord. Questa soluzione ha permesso, innanzitutto, di sfruttare l'acqua e la temperatura del fondale per raffreddare e mantenere fresco il data center, e in più è stato possibile evitare la corrosione dovuta all'ossigeno e all'umidità, dunque rispetto alla terraferma permette un vantaggio in quanto non si necessita né del chiller né del sistema di umidificazione. Il data center è stato, inoltre, alimentato da 100% di energia rinnovabile (eolico e solare). L'impatto ambientale della struttura in acqua è stato minimo: Microsoft ha affermato che il calore prodotto si mischiava rapidamente con l'acqua fredda e si disperdeva grazie alla presenza delle correnti.

Per poter mettere in atto delle tecniche di miglioramento dell'efficienza per il sistema di raffreddamento è necessario raccogliere svariati dati tra cui

- Potenza assorbita dall'attrezzatura IT
- Posizionamento dell'attrezzatura IT

[19] Lee K., Chen H., *Analysis of energy saving potential of air-side free cooling for datacenters in worldwide climate zones*, Energy and Buildings, vol. 64, pp. 103-112

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Condizioni fisiche: materiali di costruzione, dimensioni della data room attuali e ideali, dimensione dei componenti, layout
- Variabili termodinamiche interne: temperatura e umidità attuali, e compararli con quelli ideali (valori consigliati da ASHRAE e Uptime Institute)
- Variabili termodinamiche esterne: temperatura e umidità.

Per un'azienda può essere importante valutare la distribuzione della temperatura nel corso dell'anno. Fig. 2.8 rappresenta la temperatura nelle ore dell'anno a Madrid: si possono identificare delle fasce di temperatura a cui si possono associare delle tecniche di raffreddamento (in figura: FC = Free cooling, AD FC = Adiabatic Free Cooling, DX = Direct Expansion/mechanical cooling) [20]. Ogni località avrà una certa distribuzione della temperatura nel corso dell'anno, e sulla base di uno studio può valutare la possibilità e la potenzialità dell'applicazione del free cooling nel data center.

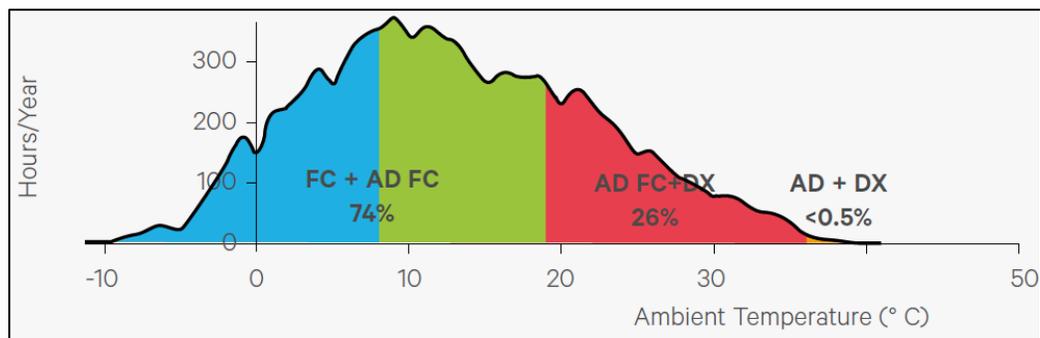


Fig. 2.8: Tecniche di raffreddamento applicabili nei data center in base alle fasce di temperatura [20]

Tra gli aspetti che differenziano i data center tradizionali e gli hyperscale ci sono anche le tecniche e i sistemi di raffreddamento. I CSP hanno definito delle politiche per la riduzione del consumo di acqua, e tra gli interventi previsti vi è l'utilizzo di tecniche di raffreddamento ulteriormente ottimizzate rispetto ai data center on-premises: spesso i Cloud

[20] Zafarana W., *Freecooling, evaporative and adiabatic cooling technologies in data center*, Vertiv

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Service Provider optano per installare i propri data center in aree caratterizzate da basse temperature e dal giusto valore di umidità, cosa che porta ad ulteriori vantaggi.

Nonostante il raffreddamento ad aria sia stato per molto tempo la soluzione più utilizzata, dal momento che i data center stanno diventando sempre più compatti e le attrezzature a densità sempre maggiore, si sta diffondendo una tecnica di raffreddamento relativamente nuova: il liquid cooling, che sfrutta un liquido termicamente conduttivo (refrigerante dielettrico) per raffreddare l'infrastruttura IT. Rispetto all'aria, il liquido:

- È più conduttivo nei confronti del calore: un liquido a temperatura ambiente può raffreddare più efficacemente dell'aria fredda. Alcuni liquidi specializzati hanno una capacità di rimozione del calore dalle 50 alle 1000 volte superiore all'aria
- Può lavorare ad una temperatura più bassa rispetto ai sistemi di raffreddamento ad aria
- Funge da barriera a polvere e particelle che sono un problema nei data center.

Si identificano due principali tecniche di raffreddamento liquido:

- Diretto o Immersion cooling, prevede che un liquido non conduttivo venga in diretto contatto con l'attrezzatura del data center. Ciò permette di avere un'elevata densità dell'infrastruttura, dettata dal fatto che anziché progettare gli spazi in modo tale da far passare l'aria, è possibile compattare tutto
- Indiretto o direct-to chip, al contrario del precedente il raffreddamento non avviene per contatto, ma tramite una matrice che funge da scambiatore di calore.

Proprio l'aumento della densità dei rack, dunque la presenza di molteplici server ad elevata performance in poco spazio, rende i sistemi di raffreddamento ad aria non più sufficienti per fornire una capacità di raffreddamento adeguata, anche con il contenimento.

Tutto ciò impatta i data center ed il loro design, per i quali ci sono diverse possibilità:

- Nuovi data center progettati per contare esclusivamente sul raffreddamento liquido, andando a realizzare così strutture più piccole e più efficienti
- Data center progettati con sistemi di raffreddamento ad aria ma che includono già anche infrastrutture per il liquid cooling (per favorire una futura transizione a sistemi 100% liquidi)

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Data center esistenti progettati con tecniche di raffreddamento ad aria, in cui si integra il liquid cooling.

Un'azienda con data center costituiti da sistema di raffreddamento corridoio caldo/freddo con contenimento, qualora optasse per un miglioramento del data center in-house, può analizzare due direzioni alternative:

- Realizzazione dell'infrastruttura del proprio data center che sfrutta esclusivamente tecniche di raffreddamento liquido
- Integrazione degli attuali sistemi ad aria (hot/cold aisle containment) con quelli di raffreddamento liquido: l'obiettivo è quello di individuare ed applicare quelle tecniche che permettono di avviare una transizione nel modo più semplice verso il raffreddamento liquido totale.

I vantaggi offerti dal liquid cooling possono essere:

- Aumento dell'efficienza energetica, con una riduzione del consumo di energia
- Aumento della performance
- Riduzione del PUE a valori vicini a 1,0
- Maggior sfruttamento del calore di scarto (per esempio per il teleriscaldamento)
- Massimizzazione utilizzo dello spazio (maggior densità e strutture di minori dimensioni)
- Minor Total Cost of Ownership
- Riduzione del consumo di acqua [21].

Soluzioni interessanti sono offerte da Submer, azienda specializzata nella fornitura di applicazioni di immersion cooling single-phase (il fluido refrigerante non cambia mai di stato) per il raffreddamento dei server dei data center. La soluzione di single-phase

[21] *Understanding Data Center Liquid Cooling Options and Infrastructure Requirements*, White paper Vertiv

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

immersion cooling è ritenuta dall'azienda quella maggiormente in linea con i principi di sostenibilità ambientale per molteplici ragioni:

- È una soluzione modulare e scalabile
- Permette una riduzione delle emissioni: il liquid cooling, in particolare quello ad immersione, richiede molta meno potenza per funzionare e per raffreddare i server e l'intera attrezzatura, e questo si traduce in una riduzione del CO₂eq associato
- Si utilizza un liquido biodegradabile, non tossico, non infiammabile e non corrosivo, ma soprattutto con una durata superiore alla vita media di molti data center chiamato Smart Coolant, che può durare anche per 15 anni [22].

Una delle soluzioni sviluppate da Submer è SmartPod, una tecnologia di immersion cooling che, comparata con tecniche di raffreddamento tradizionali, permette

- PUE inferiore ad 1,03
- Riduzione dello spazio utilizzato (maggiore densità e strutture di dimensioni ridotte): si può raggiungere una riduzione dello spazio dal 55% al 97%
- Aumento della durata degli hardware (server su tutti) del 30%
- Eliminazione dello spreco di acqua
- Riduzione costi: 95% per i costi di raffreddamento, 50% per le Capex degli edifici, 20-40% per il Total Cost of Ownership [22].

Una delle soluzioni di raffreddamento maggiormente utilizzate dai Cloud Provider, tra cui AWS e Microsoft, è quella del raffreddamento evaporativo (evaporative cooling). Questa soluzione, rispetto alle tecniche tipicamente adottate a livello aziendale, non necessita di unità CRAC o CRAH, aumentando così l'efficienza dell'impianto. L'evaporative cooling utilizza l'acqua come mezzo di raffreddamento, riducendo la temperatura del fluido raffreddato (aria o acqua di circolazione) direttamente o indirettamente, senza il bisogno di un compressore, attraverso la naturale caratteristica di assorbimento di calore per evaporazione quando l'acqua (mezzo di raffreddamento) entra

[22] Submer, Immersion Cooling, 2022, <https://submer.com/immersion-cooling/>

in contatto con l'aria (o acqua di circolazione). L'evaporative cooling è una tecnica efficiente che permette di trarre vantaggi dalla costruzione di data center di larga scala: dal momento che questi vengono collocati in regioni con basse temperature, tali località sono particolarmente adatte all'applicazione di tale tecnica durante tutto l'anno.

Un elemento importante introdotto a supporto dei sistemi di raffreddamento al fine di aumentare l'efficienza complessiva dei data center è il Machine Learning. Kumar et al. hanno dimostrato che l'effetto dei parametri di raffreddamento è stato ottimizzato in differenti località attraverso delle tecniche di Machine Learning. L'ottimizzazione energetica dei sistemi di raffreddamento richiede la misurazione ed il controllo di molte variabili ed è proprio qui che interviene il Machine Learning. Se, infatti, con i metodi convenzionali il controllo si basava su assunzioni e calcoli basati su formule, le tecniche di machine learning, al contrario, collezionano una grande quantità di dati storici sul consumo di energia e le sue variabili (temperatura, umidità, flusso dell'aria, ...) e lo stato del sistema, e da questi dati apprendono il comportamento del sistema. Il Machine Learning si basa su una serie di algoritmi che rappresentano uno strumento importante per previsione e ottimizzazione in molte applicazioni, tra cui il raffreddamento dei data center [23].

Tramite l'applicazione di algoritmi di machine learning e lo sfruttamento di dati provenienti da di sensori già esistenti, Google è riuscito a ridurre del 40% il consumo dell'energia di raffreddamento, e questo si è tradotto in una riduzione del 15% del PUE complessivo.

2.1.2.3. Heat management

Un aspetto connesso ai sistemi di raffreddamento è la gestione del calore, in particolare quello di scarto. All'interno dei data center, il 90% della potenza elettrica è fondamentalmente convertito in calore di scarto e questo implica una importante possibilità di recupero e riutilizzo di tale calore per altre varie applicazioni:

[23] Kumar R., Khatri S. K., Divan M. J., *Effect of Cooling Systems on the Energy Efficiency of Data Centers: Machine Learning Optimisation*, 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), pp. 596 - 600

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- per il raffreddamento ad assorbimento o per il teleriscaldamento
- può essere convertito in potenza elettrica (ciclo Rankine) [24].

Luo et al. hanno definito un modello per l'identificazione e la valutazione di calore di scarto nei data center al fine di fornire un meccanismo di supporto alle decisioni sugli investimenti sulle tecnologie da adottare per recuperare e sfruttare tale calore. I passi principali di tale modello sono:

1. Raccolta di dati sul calore di scarto: identificazione delle fonti di calore di scarto e potenziali riutilizzi, e raccolta di dati su temperature dei flussi d'aria
2. Valutazione del calore di scarto: si effettuano delle valutazioni quantitative e qualitative nelle quali si analizzano gli effetti derivanti dalle combinazioni di fonti di calore di scarto con i potenziali utilizzi. Si classificano sulla base di alcuni indici (Recovery Index e Waste Index) andando poi a selezionare la combinazione che permette di massimizzare l'efficienza del recupero del calore
3. Valutazione e selezione della soluzione di miglioramento adeguata: questo step prevede la definizione dei criteri per valutare le opzioni tecniche compatibili con le valutazioni quantitative e qualitative dello step precedente.
4. Supporto decisionale: è importante per i data center manager poter valutare e visualizzare l'impatto delle potenziali scelte. Il modello offre quattro categorie rispetto a cui valutare tale impatto: volume occupato, costo, payback, risparmio energetico delle varie soluzioni prese in considerazione [24].

Il modello proposto è stato applicato ad un caso studio, e i risultati hanno dimostrato un recupero del 68% del calore di scarto proveniente dall'infrastruttura IT. L'implementazione delle tecniche per il recupero ha portato ad un miglioramento del 10% del PUE del data center dell'azienda del caso studio.

[24] Luo Y., Andresen J., Clarke H., Rajendra M., Maroto-Valer M., *A decision support system for waste heat recovery and energy efficiency improvement in data centres*, Applied Energy, vol. 250, pp. 1217-1224

2.1.2.4. Ottimizzazione lato server: produttività, consolidamento e virtualizzazione

Un'azienda che sta valutando on-premises e cloud deve analizzare, prima di tutto, la presenza di server ad alta efficienza all'interno del proprio data center, progettati per essere ottimali dal punto di vista del consumo. Questo è un primo passo da compiere. Da una prospettiva cloud, i maggiori CSP garantiscono che all'interno dei propri data center vengano utilizzati server ad elevate prestazioni di ultima generazione, che utilizzano meno energia possibile. Nel caso di Google, si parla anche di server progettati su misura per il cliente. Secondo gli studi, dunque, dal punto di vista della componentistica hardware, i cloud provider riescono ad offrire dei server maggiormente efficienti. Si richiama, a supporto di questa tesi, lo studio di Koot et al. con la Tabella 2.8 riportante la produttività e il consumo dei server distinti per le categorie on-premises, cloud ed hyperscale [10].

Parametri server		2016	2021	2030
Produttività server [workload/server]	On-premises	2,4	3,8	8,7
	Cloud	8,8	13,2	27,2
	Hyperscale	8,8	13,2	27,2
Potenza media server [W/server]	On-premises	229,84	274,3	377,11
	Cloud	302,75	275,06	231,45
	Hyperscale	243,49	242,29	236,6

Tabella 2.8: Produttività e Potenza media dei server per tipologia di data center [10]

Google ha affermato che un tipico gruppo di server è utilizzato in media tra il 10% ed il 50% [25]. Un intervento per aumentare utilizzo ed efficienza dei server, e dunque dei data center, è il consolidamento dei server (server consolidation): si tratta di un processo di spostamento di applicazioni e servizi network da più macchine verso una singola macchina. Il consolidamento del server si riferisce all'uso di un server fisico per ospitare una o più

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

[25] Barroso L.A., Hoelzle U., Ranganathan P., *The Datacenter as a Computer: Designing Warehouse-Scale Machines*, Morgan & Claypool Publishers, Third Edition, pp. 108

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

applicazioni server e consente di condividere le risorse di elaborazione di un server tra più applicazioni e servizi contemporaneamente. Gli obiettivi sono svariati: oltre all' aumento dell'utilizzo dei server, si hanno la riduzione del numero di server, e dunque la minimizzazione del consumo di energia e delle conseguenti emissioni. La server consolidation sfrutta la virtualizzazione, che consente il consolidamento di più sistemi, sessioni utente o applicazioni all' interno della singola risorsa di computing. La virtualizzazione consente di installare in una singola macchina fisica più macchine virtuali (si parla più comunemente di Virtual Machine, VM), concedendo ad ognuna di queste una parte delle proprie risorse hardware, così da eseguire contemporaneamente più sistemi operativi in maniera indipendente.

Shehabi et al. hanno pubblicato un report sul consumo di energia dei data center negli Stati Uniti. All'interno del loro studio hanno condotto anche un'analisi sulle opportunità di risparmio energetico, definendo tre scenari:

- Improved Management scenario (IM): rimozione dei server inutilizzati e miglioramento del PUE (soluzioni corridoi caldi/freddi)
- Best Practice scenario (BP): ulteriore miglioramento del PUE tramite l'utilizzo di componenti infrastrutturali più efficienti, consolidamento di server e network, ed altri interventi volti all'aumento dell'efficienza
- Hyperscale Shift scenario (HS): passaggio da On-prem a Cloud Service Provider, con consolidamento dell'80% dei server in un data center hyperscale [12].

Si tralascia lo scenario IM, assumendo che questo rappresenti oggi il punto di partenza per l'azienda che si trova nel mezzo della valutazione tra on-premises e cloud. Si parte dallo scenario BP, costruito sui miglioramenti dello scenario IM. Il consolidamento dei server comporta la sostituzione di più server funzionanti a basso utilizzo con un singolo server che caratterizzato da un utilizzo maggiore. Tabella 2.9 illustra la differenza di utilizzo dal pre al post consolidamento.

[12] Shehabi A., Smith S., Sartor D., Brown R., Herllin M., Koomey J., Masanet E., Horner N., Azevedo I., Lintner W., *United States Data Center Energy Usage Report*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, pp. 30-37

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Data center	% di server consolidati	Utilizzo	
		Pre-consolidamento	Post-consolidamento
On-premises	80%	10-15%	45%
Cloud	80%	20-25%	55%
Hyperscale	80%	45-50%	75%

Tabella 2.9: Variazione dell'utilizzo dei server prima e dopo il consolidamento in relazione alla tipologia di data center

I data center hyperscale si costituiscono di server che funzionano a maggiori livelli di utilizzo all'interno di spazi efficienti dal punto di vista infrastrutturale (bassi PUE) e includono piattaforme cloud che rimuovono la necessità di server di ridondanza dedicati, in modo che consolidare servizi IT da molteplici data center (on-premises) in data center hyperscale possa portare significativi risparmi di energia. In Fig. 2.9 si possono osservare i risultati delle proiezioni dello studio.

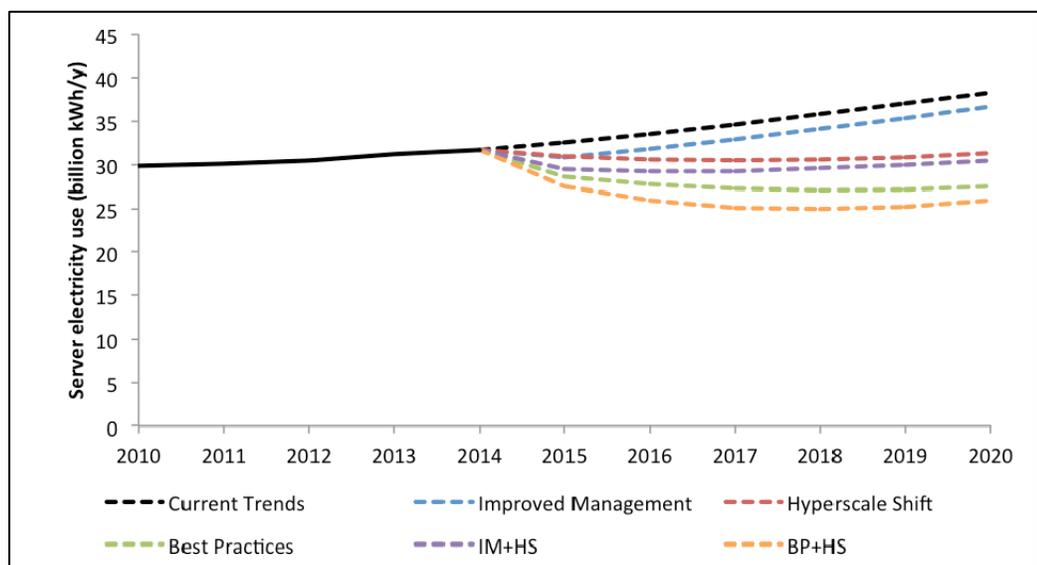


Fig. 2.9: Consumo di energia dei server [miliardi di kWh/anno] negli scenari analizzati rispetto al trend attuale [12]

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Il best case scenario è rappresentato dalla combinazione dei trend BP e HS: questo apre la strada ad una nuova possibilità che prevede da una parte l'applicazione di best practice per il data center on-site e dall'altro il passaggio di una parte dei workload in cloud pubblici. Questa soluzione è nota come modello hybrid cloud.

2.1.2.5. Virtualizzazione dell'infrastruttura

VMware, azienda leader nello sviluppo di software per la realizzazione di macchine virtuali, ha definito una soluzione per la virtualizzazione dell'infrastruttura IT andando ad analizzare l'impatto ambientale che ne consegue. Questa soluzione permette di ridurre il numero di server, dischi di archiviazione e network device nell'ambiente IT, garantendo il cosiddetto consolidamento dei server. Ciò conduce a risparmi relativi a spazio fisico nella struttura e potenza consumata dall'infrastruttura IT (soprattutto potenza dei server, ma anche quella spesa per il raffreddamento) [26].

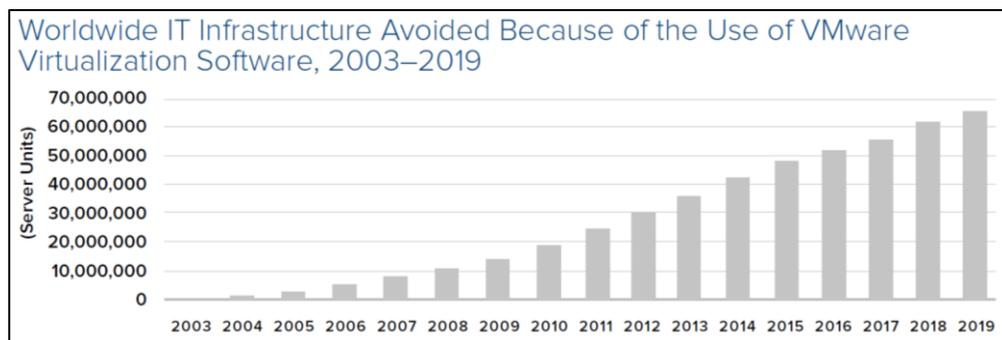


Fig. 2.10: Unità di server risparmiate tra il 2003 ed il 2019 a livello mondiale grazie all'adozione della virtualizzazione [26]

In Fig. 2.10 si osservano le unità di server, dischi e dispositivi network che sono stati risparmiati a livello globale tramite l'applicazione della virtualizzazione. La riduzione del numero di server, storage fisici e porte di rete aumenta l'efficienza complessiva e permette

[26] Subramanian S., Casemore B., *Enabling More Agile and Sustainable Business Through Carbon-Efficient Digital Transformations*, IDC White paper sponsored by VMware

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

un risparmio della potenza. Questo risparmio, secondo VMware, è direttamente proporzionale al numero di server fisici nuovi e relativi workload (e gli storage e network associati) che sono stati risparmiati in quanto implementati in macchine virtuali ospitate da un hypervisor (il software) operante su server fisici esistenti. La potenza risparmiata viene definita dalla relazione

$$P_a = N * S * H$$

dove:

- P_a è la Potenza annuale risparmiata
- N è il numero di server fisici e dischi storage risparmiati
- S è il consumo medio di Potenza per ogni server o disco [MWh]
- H è il numero medio di ore giornaliero di utilizzo per ogni server [26].

Anche le emissioni di CO₂ evitate grazie alla virtualizzazione vengono considerate come direttamente proporzionali, in questo caso, alla potenza risparmiata:

$$V_a = X * P_a$$

dove

- V_a sono le emissioni di CO₂ evitate a livello globale ogni anno [tCO₂/anno]
- X è la quantità media di CO₂ prodotta da un singolo server o disco [tCO₂].

Fig. 2.11 illustra il consumo di potenza e la quantità di emissioni di CO₂ risparmiati grazie all'adozione della virtualizzazione tramite prodotti VMware [26].

[26] Subramanian S., Casemore B., *Enabling More Agile and Sustainable Business Through Carbon-Efficient Digital Transformations*, IDC White paper sponsored by VMware

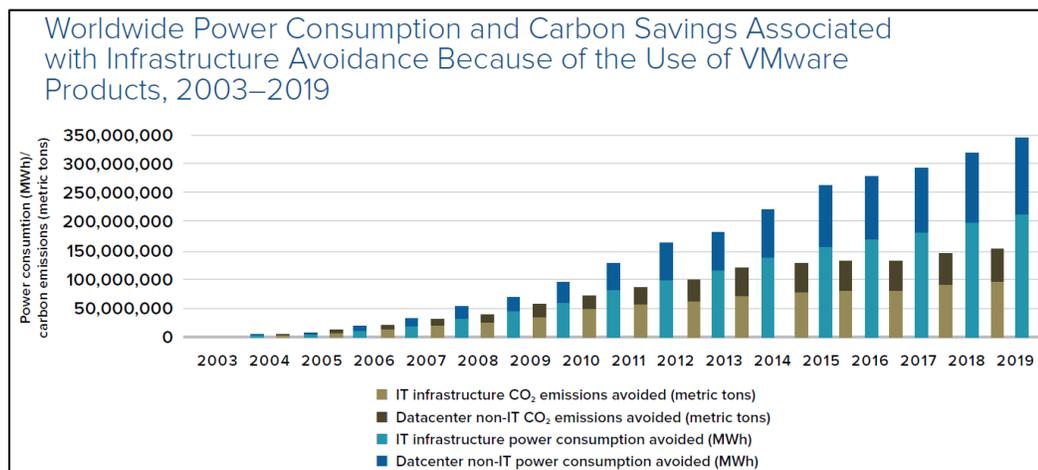


Fig. 2.11: Risparmio del consumo di Potenza [MWh] e di Emissioni [tCO₂eq] associati all'adozione di prodotti VMware (virtualizzazione) [26]

2.1.2.6. Valutazione dell'efficienza del data center: i KPI

È fondamentale considerare degli indicatori che permettano di monitorare le caratteristiche del data center, al fine di valutare le performance.

L'indicatore maggiormente utilizzato al fine di valutare l'efficienza energetica del data center è il PUE (Power Usage Effectiveness): definito come il rapporto tra energia totale utilizzata ed energia e quella usata solo per le apparecchiature IT, valuta l'efficienza energetica del data center. Questo dato varia in base alla tipologia di data center, design tasso di occupazione e altri fattori. Tuttavia, va detto che il PUE non è una logica perfetta, e va integrata con altre metriche che permettono di effettuare un'analisi più approfondita dell'impatto ambientale del data center aziendale, anche in ottica di un confronto tra le soluzioni on-premises e cloud.

Come già evidenziato in precedenza, il raffreddamento rappresenta uno dei maggiori contributi al consumo di energia dei data center, e di conseguenza è necessario considerare una serie di indicatori ai fini dell'analisi:

- Efficienza del sistema di raffreddamento del data center
- Energy Efficiency Ratio (EER): necessario valutare il calore rimosso dal sistema di raffreddamento rispetto alla potenza elettrica usata dal sistema stesso.

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- CUE (Carbon Usage Effectiveness): questo fattore viene valutato sulla base delle emissioni di CO₂ derivanti dall'energia totale del data center e dell'energia spesa per l'infrastruttura IT
- Water Usage Effectiveness (WUE): definito come il rapporto tra consumo totale di acqua e l'energia utilizzata dall'infrastruttura IT [27].

2.2. On-premises vs Cloud

Sono stati analizzati tutti i fattori che possono influenzare le scelte aziendali nella valutazione tra on-premises e cloud dal punto di vista ambientale: in questa tesi ci si limita solo ad analizzare le possibilità che ha un'azienda per ridurre il proprio Carbon Footprint lato IT, tuttavia ciò dovrà essere parte integrante di una valutazione più completa che si amplia anche al campo economico (costo attuale della gestione dei data center in house vs tariffe offerte dai Cloud Service Provider) e tecnico (scalabilità della capacità, privacy e protezione dei dati, personalizzazione). Quest'ultimo aspetto è strettamente legato a caratteristiche e necessità delle aziende, dunque il risultato dell'analisi è fortemente influenzato e differisce molto di realtà in realtà.

Nel corso del paragrafo 1.1 sono stati presentati i fattori maggiormente coinvolti nel miglioramento dell'efficienza dei data center e alcune tecniche adottate principalmente dai cloud provider. Un'azienda che mira a ridurre il proprio carbon footprint può trovarsi a valutare e implementare soluzioni relativamente agli elementi sopra definiti per migliorare il data center on-premises, oppure, sulla base degli stessi parametri, valutare di affidarsi ad un provider di servizi cloud.

Cosa può fare, dunque, un'azienda nel mezzo della valutazione on-premises vs cloud?

Prima di tutto, un'azienda che ha già definito una strategia di Sustainable IT deve provvedere a definire il proprio Carbon Footprint legato IT in particolare le emissioni

[27] Emad O., Aiello M., *Data Center Simulator for Sustainable Data Center*, Master thesis Computer Science – STE

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

associate all'alimentazione e all'attività del data center. Si va a completare, in seguito, la definizione dello stato As-Is, ovvero

- località dove si trova il data center, con il preciso fattore di emissione, l'energy mix della località e, dunque, la percentuale delle fonti rinnovabili sfruttate per la generazione di energia elettrica
- tecniche di raffreddamento attualmente in uso
- sfruttamento del calore di scarto: come viene riutilizzato e in quale percentuale
- consolidamento dei server
- parametri di valutazione dell'efficienza: PUE, WUE, EER, CUE calcolati per il data center attuale in-house dell'azienda.

Valutato e definito tutto questo, l'analisi si sposta dall'As-Is al To-Be, con due alternative al vaglio:

- Mantenimento del data center in-house
- Passaggio a soluzioni cloud affidandosi ad un CSP.

La soluzione on-premises può essere sviluppata lungo due direttrici:

- Rinnovamento del data center: stessa locazione e stessi spazi, introduzione di nuove innovative soluzioni di raffreddamento (liquid cooling) e sfruttamento del calore di scarto
- Sviluppo di un nuovo data center (in sostituzione di quello attuale) con scelte incentrate su località (considerando fattore di emissione, energy mix e % di rinnovabili), ridefinizione degli spazi, tecniche di raffreddamento, recupero calore di scarto,

entrambe finalizzate all'aumento dell'efficienza e, dunque, al miglioramento dei principali indicatori valutati: PUE, WUE, CUE, EER.

Conclusa l'analisi del possibile To-Be della soluzione on-premises, è necessario svolgere uno studio dei possibili effetti ambientali che conseguirebbero al passaggio a soluzioni cloud. Tuttavia, il confronto e la successiva scelta in termini di impatto ambientale (e, dunque, di carbon footprint) tra on-premises e cloud non è facile, e la valutazione può avvenire soprattutto in termini qualitativi, dal momento che l'azienda, se da un lato per la

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

soluzione in-house è in possesso di tutti gli elementi caratteristici del proprio data center ai fini del calcolo dell'impatto, dall'altro non dispone dei dati relativi ai cloud provider necessari per calcolare l'impronta ambientale dei propri servizi ospitati su cloud pubblico.

Un elemento da tenere in considerazione è il cosiddetto Climate Neutral Data Center Pact, ovvero un patto a cui hanno aderito 27 aziende (tra cui le big tech Amazon, Microsoft, Google) e 17 associazioni, che funge come strumento di autoregolamentazione per i firmatari, che sono impegnati nel percorso di transizione ecologica. Questo patto nasce come impegno al Green deal europeo, che prevede tra i suoi 8 punti quello di rendere i data center e le infrastrutture IT a impatto zero entro il 2030, soprattutto tramite aumento dell'efficienza e di un maggior utilizzo delle fonti rinnovabili. Il Climate Neutral Data Center Pact si costituisce di 6 punti principali.

Il primo elemento è l'efficienza energetica, in particolare data center e server room devono raggiungere elevati standard, valutati tramite l'indicatore PUE:

- Entro il 2025 i nuovi data center dovranno raggiungere un PUE target pari al massimo a 1,3 se situati in località fredde, a 1,4 se situati in aree geografiche calde
- Data center esistenti raggiungeranno questi target entro il 2030.

Il secondo elemento è l'utilizzo di energia pulita:

- La domanda elettrica dei data center dovrà essere soddisfatta per il 75% da energia rinnovabile entro il 31 Dicembre 2025, e per il 100% entro il 31 Dicembre 2030.

Un altro punto importante con un notevole impatto ambientale è il consumo d'acqua, per il quale sono stati posti dei target di conservazione:

- Entro la fine del 2022 gli operatori dei data center devono fissare dei target annuali per l'indicatore WUE (o un'altra metrica su conservazione dell'acqua), che dovranno essere raggiunti dai nuovi data center entro il 2025, e da quelli esistenti entro il 2030.

Il quarto elemento fa riferimento ad una tematica che sarà affrontata nel prossimo capitolo, ovvero le pratiche di economia circolare. Mentre nel capitolo 2 queste saranno applicate alla parte office dell'azienda, il Climate Neutral Data Center Pact definisce dei target relativi ai data center:

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Valutazione di riuso, riparazione e riciclo del 100% delle apparecchiature server usate
- Gli operatori aumenteranno la quantità di materiali di server riparati o riutilizzati, in più fisseranno un target % di riutilizzo e riciclo da raggiungere entro il 2025.

Il quinto elemento riguarda, invece, il riutilizzo del calore di scarto dei data center, che, come detto in precedenza, rappresenta un'opportunità importante. Tramite il Climate Neutral Data Center Pact gli operatori si impegneranno nell'esplorare eventuali possibilità di utilizzo del calore (per esempio per teleriscaldamento), valutando se le opportunità di riutilizzo del calore catturato dai nuovi data center sono effettivamente attuabili, sostenibili e permettono risparmi in termini di costi.

L'ultimo punto del patto riguarda, infine, la Governance:

- Da gennaio 2021, i rappresentanti del Climate Neutral Data Center Pact e la Commissione Europea si incontreranno due volte l'anno per gli aggiornamenti sullo stato di avanzamento dell'iniziativa
- Il primo periodo di misurazione andrà dal 1° Gennaio 2022 fino al 31 Dicembre 2022: dopo la prima certificazione, l'adesione sarà riportata ogni 4 anni.

Questo strumento è una dimostrazione di come gli operatori dei data center stiano effettivamente concentrando molti sforzi sul tema della sostenibilità attraverso azioni mirate alla riduzione delle emissioni. Dunque, quello che può fare un'azienda è misurare sé stessa rispetto agli elementi e i relativi target che fissati nel Climate Neutral Data Center Pact. Tuttavia, la problematica è che questo è uno strumento di autoregolamentazione, che non porta alla ribalta i dati specifici delle varie aziende e, dunque, dei Cloud Service Provider: questo riconduce, dunque, al fatto che un'azienda che sta valutando le alternative on-premises e cloud non dispone delle informazioni e dei dati relativi ai provider necessari per calcolare l'impronta ambientale dei propri servizi ospitati su cloud pubblico [28].

[28] *Climate Neutral Data Center Pact – Self Regulatory Initiative*, White paper

3. L'impatto degli hardware

Analizzato il confronto tra On-premises e Cloud dal punto di vista energetico, si passa al monitoraggio e la valutazione dei principali hardware da ufficio e del loro impatto ambientale lungo il ciclo di vita. È necessario, prima di tutto, valutare lo stato As-Is della gestione degli hardware internamente all'azienda e, successivamente, attraverso l'applicazione di specifiche politiche circolari, sviluppare uno scenario green orientato ad una riduzione dell'impatto in termini di CO₂eq.

3.1. Assumptions - Contesto di studio

Per poter valutare il Corporate Carbon Footprint di un'azienda si deve considerare, oltre all'aspetto energetico e di alimentazione, che è sicuramente quello maggiormente rilevante, anche quello degli hardware e del loro impatto lungo l'intero ciclo vita. È necessario definire quali sono gli hardware presenti all'interno dell'organizzazione, quali impattano maggiormente, il numero complessivo internamente alla realtà aziendale, la durata media della vita di ciascuno di essi ed il loro impatto nel corso del lifecycle lungo tutte le sue fasi.

Si supponga di considerare un'azienda di 1400 dipendenti, dei quali 800 sono impiegati e lavorano ognuno su una propria postazione costituita da un laptop, uno (o due monitor) e relativi device (un mouse ed una tastiera). In questa tesi si valuteranno due scenari alternativi analizzando l'effetto delle politiche di circular economy applicate principalmente ai laptop. L'azienda del caso studio considera una durata del ciclo vita pari a 4 anni per ciascuno dei dispositivi considerati.

3.2. Ciclo vita e Carbon Footprint di Prodotto

Per ciascun hardware di rilievo all'interno dell'azienda è necessario prima di tutto definire il suo ciclo di vita e le fasi in cui impatta del punto di vista ambientale tramite emissioni di gas serra. Al fine di ridurre il Corporate Carbon Footprint, è necessario definire come vengono attualmente gestiti in azienda gli hardware, qual è il Carbon Footprint di Prodotto e quali le componenti sotto diretta responsabilità dell'azienda. Definito l'As-Is,

sarà poi possibile valutare delle azioni migliorative che permettano di migliorare l'impatto associato al singolo prodotto. Date le assumptions sopra definite, quando l'azienda avrà valutato il Carbon Footprint di Prodotto unitario di ciascun hardware (soprattutto laptop), sarà poi in grado di definire la componente di Corporate Carbon Footprint complessiva della parte hardware.

3.2.1 Ciclo vita: da estrazione minerali a dismissione del prodotto

Ogni prodotto è caratterizzato da un proprio ciclo vita costituito da diverse fasi, ciascuna delle quali sarà responsabile di una maggiore o minore generazione di gas serra: si parla di Carbon Footprint di Prodotto (CFP), e considera tutte le fasi del prodotto, dall'estrazione dei minerali fino alla dismissione dello stesso. Un'azienda deve, prima di tutto, capire quali sono le fasi del ciclo di cui è responsabile, e queste sono quelle su cui, con determinate politiche e azioni migliorative, si può intervenire andando a ridurre il Carbon Footprint di Prodotto. Dall'altro lato, la riduzione delle emissioni di un determinato prodotto può avere degli effetti indiretti su altre componenti del ciclo vita, ovvero produzione, trasporto e dismissione.

Per l'azienda del caso studio si analizzano laptop, monitor, smartphone, mouse e tastiera. L'obiettivo è quello di definire l'impatto di questi dispositivi IT, che insieme definiscono il Carbon Footprint della parte hardware aziendale.

Le fasi principali del ciclo di vita sono:

- Estrazione delle materie prime: questa fase differisce molto tra i vari hardware sulla base dei minerali necessari per la produzione. Dal momento che sono risorse esauribili, questa fase è molto critica e le politiche di circular economy possono fornire un supporto importante
- Produzione: estratti i minerali, questi passano attraverso diversi processi per essere trasformati nei componenti prima, e nel prodotto finale poi
- Packaging: al fine di proteggere il prodotto, sono usati materiali come plastica, polistirolo e cartone, che partecipano all'impatto del Carbon Footprint di Prodotto

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Trasporto: i prodotti (e i loro componenti) devono essere spediti, e i trasporti sono basati sull'utilizzo di combustibili fossili, con conseguente importante generazione di gas serra
- Utilizzo: una volta arrivati in azienda, i prodotti per essere utilizzati richiedono elettricità per funzionare, e questa può provenire da fonti come carbone, petrolio e gas naturale, fortemente impattanti in termini di emissioni
- End of Life: questa fase può essere sviluppata in due modi ovvero da un lato si ha la dismissione e lo smaltimento del prodotto, mentre dall'altro possono essere applicate logiche di riciclo e riutilizzo. Quest'ultima possibilità permette di ridurre le emissioni legate alle prime fasi del ciclo di vita (estrazione, produzione, packaging, trasporto) attraverso programmi di recupero. Con certe politiche è possibile estendere il lifetime dei prodotti, tuttavia questa alternativa va attentamente valutata perché un'estensione della vita del prodotto potrebbe avere una ripercussione negativa sulla fase di utilizzo in termini di CO₂eq [29].

Nel caso dell'azienda, le fasi del ciclo di vita del prodotto sotto la diretta responsabilità sono: Utilizzo ed End of Life. Se l'azienda riesce ad ottimizzare queste fasi, dunque ridurre le emissioni associate ad esse tramite varie politiche, è possibile indurre un effetto di miglioramento anche nelle fasi a monte, ovvero estrazione dei minerali, produzione, packaging e trasporto. Dall'altro lato, però, è possibile affermare anche che una volta che l'azienda acquista i vari hardware, l'intero Carbon Footprint di Prodotto di ciascuno dei prodotti ricade sotto la responsabilità dell'azienda, in quanto ogni dispositivo viene

- Prodotto per l'azienda
- Imballato e trasportato per l'azienda

Dunque, le azioni di economia circolare di una singola azienda si ripercuotono su tutta la catena delle fasi del lifecycle in termini di emissioni di un certo prodotto: considerando

[29] University of Michigan, *Life Cycle of a Computer*, <https://sustainablecomputing.umich.edu/knowledge/life-cycle.php>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

l'estensione del lifetime, ad esempio, di un laptop, questo genera un effetto a monte, in quanto, riciclando e riutilizzando i prodotti, si riduce la domanda e, di conseguenza, si riducono le attività di estrazione, produzione, packaging e trasporto. L'effetto è visibile anche a valle dal momento che le pratiche di circular economy possono portare ad una riduzione dell'e-waste.

Sono poche le aziende che ad oggi hanno una strategia di riutilizzo, riciclo e gestione dei rifiuti: la maggior parte delle aziende ha ancora una bassa consapevolezza sulla gestione dell'e-waste, e questo è causa di emissioni e di spreco di risorse (i metalli rari) che potrebbero essere riciclati.

3.2.2 Life Cycle Assessment (LCA): Total Carbon Footprint

Definito il ciclo vita dei prodotti si introduce il concetto di Life Cycle Assessment, una tecnica di valutazione dell'aspetto e dell'impatto ambientale associati ad uno specifico prodotto lungo l'intero arco della vita. Le applicazioni più importanti del LCA sono:

- Analisi del contributo delle fasi del ciclo vita all'impatto ambientale, con l'obiettivo di definire interventi e miglioramenti di prodotti o processi
- Confronti tra vari prodotti per uso interno [30].

I prodotti che si vanno a considerare nella prossima analisi del contesto aziendale sono laptop, monitor, smartphone, mouse e tastiera, focalizzando l'attenzione in particolare sul primo, in quanto è l'hardware maggiormente impattante e per il quale è possibile applicare il maggior numero di politiche di circular economy.

[30] Rete clima, *LCA – Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita)*, <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>

3.2.2.1. Laptop

Si parte dall'analisi dell'hardware responsabile della maggior generazione di emissioni lungo il ciclo di vita: il laptop computer. Circular Computing ha condotto un'analisi su 230 laptop per determinare il valore medio di emissioni in kgCO₂eq. I valori possono variare in un certo range sulla base del produttore, della tipologia di prodotto e di utilizzo; le stesse aziende produttrici quando indicano il Carbon Footprint di un certo prodotto esprimono il valore con un livello di errore pari a circa il 15% - 20% a causa dell'incertezza che caratterizza i calcoli. Ciò è stato osservato nel paragrafo 1.4 "Consapevolezza, misure intraprese e disponibilità delle aziende" con l'esempio di Dell Precision 7760 [8].

Le ipotesi principali dello studio sono:

- Le fasi del ciclo vita impattanti nel Carbon Footprint di Prodotto sono produzione, trasporto, utilizzo, end of life
- Si considera una vita di 4 anni per il laptop
- L'utilizzo del prodotto viene stimato pari a 8 ore al giorno [31].

Soddisfatte tali ipotesi, è stato ricavato un Carbon Footprint di Prodotto uguale a circa 422,5 kgCO₂eq [31]. Si tratta, come detto, di un valore medio in quanto le emissioni possono variare molto tra diversi tipi di laptop. Questi 422,5 kgCO₂eq sono così ripartiti:

- Produzione: questa è la fase maggiormente inquinante, variando circa tra il 75% e l'85% del CFP. Secondo Circular Computing, le emissioni generate nella fase produttiva di un nuovo laptop sono pari a 331 kgCO₂eq (78,2%). I componenti più impattanti sono la scheda madre, l'SSD e il display
- Trasporto: le emissioni sono legate all'utilizzo di vettori di trasporto alimentati tramite combustibili fossili (aerei e autotrasportatori). La maggior parte dei

[8] Dell, *Estimation product carbon footprint, Dell Precision 7760*

[31] Circular Computing, *What is the carbon footprint of a laptop?*, <https://circularcomputing.com/news/carbon-footprint-laptop/>

produttori stimano la componente trasporto tra il 6% ed il 12%. Nel caso in analisi, si ha un valore medio pari a 30 kgCO₂eq (7,1%)

- Utilizzo: questo valore può variare molto da computer a computer. Circular Computing ha stimato il valore medio di emissioni derivanti dall'utilizzo di un laptop in 61,5 kgCO₂eq (14,5%)
- End of Life: l'impatto diretto di questa fase è minimo, in quanto viene stimato dai produttori inferiore a 1 kgCO₂eq. L'impatto potenziale che può derivare da questa fase è legato, in realtà, alla serie di politiche di riutilizzo e riciclo, che potrebbero portare ad una riduzione del Carbon Footprint di Prodotto. Questa parte verrà approfondita più avanti [31].

Fig. 3.1 illustra il Carbon Footprint di un laptop medio suddiviso nelle sue componenti principali.

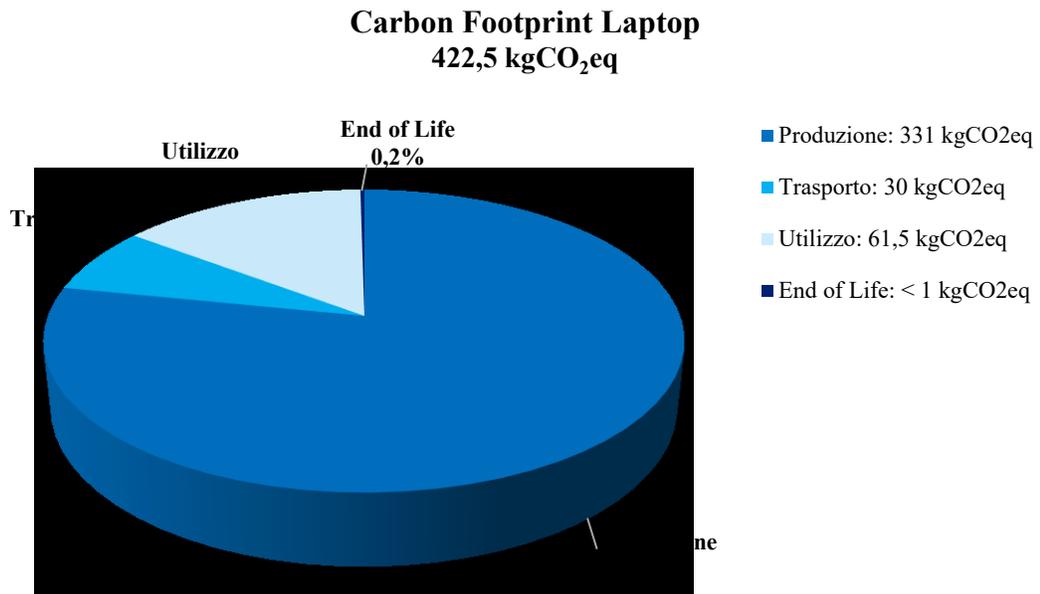


Fig. 3.1: Carbon Footprint Laptop suddiviso in % tra le principali fasi del Ciclo Vita

[31] Circular Computing, *What is the carbon footprint of a laptop?*, <https://circularcomputing.com/news/carbon-footprint-laptop/>

3.2.2.2. Monitor

Un altro dispositivo impattante in termini di emissioni è il monitor. Si considera che nelle postazioni di lavoro siano installati dei Lenovo ThinkVision T24i-10/P24i -10, ricordando, come detto in precedenza, che alcune postazioni di lavoro possono essere caratterizzate da due monitor. Secondo il report ufficiale dello specifico prodotto ThinkVision T24i-10/P24i -10, Lenovo ha stimato un valore medio del Carbon Footprint pari a 364 +/- 191 kgCO₂eq [32]. Questa stima è caratterizzata da incertezza in quanto è complesso definire con precisione le emissioni dei prodotti, in particolare quello dei dispositivi IT, il cui valore è fortemente influenzato dal livello di utilizzo degli stessi. Si vanno a calcolare i contributi del Carbon Footprint sul valore medio di 364 kgCO₂eq senza considerare la deviazione standard (191 kgCO₂eq). Le componenti che contribuiscono alle emissioni sono:

- Produzione: questa fase impatta con 163,8 kgCO₂eq (45%) e prevede la realizzazione dei diversi componenti
- Packaging: consiste nella realizzazione dell'imballo e del confezionamento del prodotto ed influisce con 14,56 kgCO₂eq (4%)
- Trasporto: Lenovo afferma che tale prodotto viene movimentato con mezzi su ruota all'interno di ciascuno stato mentre via nave tra Paesi diversi. Questa fase impatta con 10,92 kgCO₂eq (3%)
- Utilizzo: questo valore è fortemente influenzato dal livello di utilizzo quindi può variare. Questo è il fattore maggiormente impattante con 167,44 kgCO₂eq (46%)
- End of Life: come per il laptop, l'impatto diretto di questa fase è ridotto, pari a circa 7,28 kgCO₂eq (2%). Anche per il monitor l'impatto maggiore di questa fase

[32] Lenovo, *Lenovo Product Carbon Footprint (PCF) Information Sheet ThinkVision T24i-10/P24i -10*, White paper

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

può derivare da politiche di riutilizzo e riciclo, che potrebbero portare ad una riduzione delle emissioni [32].

Fig. 3.2 illustra il Carbon Footprint di un laptop come definito da Circular Computing.

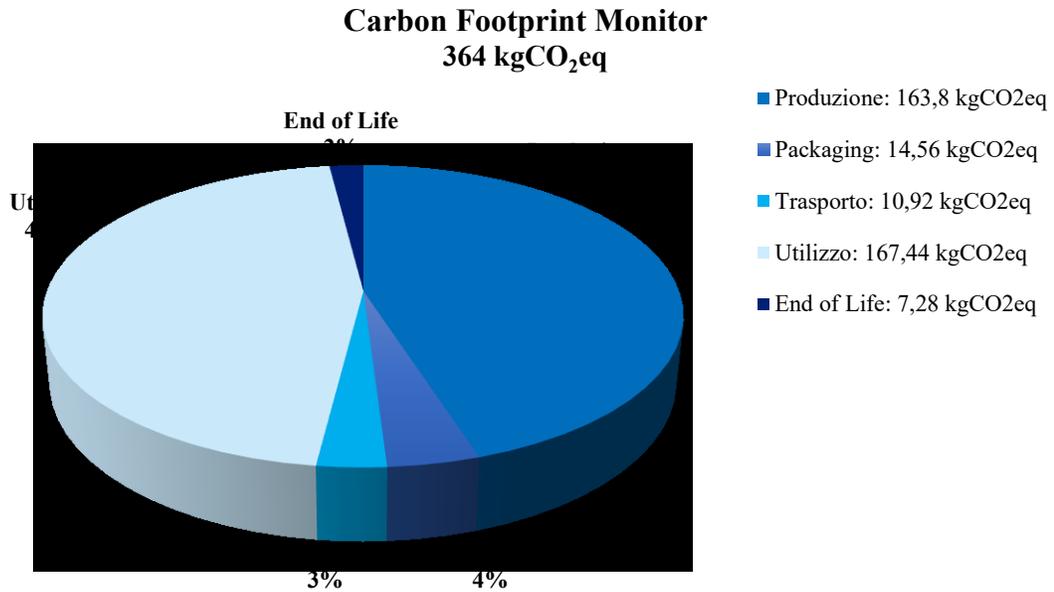


Fig. 3.2: Carbon Footprint monitor Lenovo ThinkVision T24i-10/P24i -10 suddiviso in % tra le principali fasi del Ciclo Vita

3.2.2.3. Smartphone

Un altro elemento che contribuisce alle emissioni aziendali è lo smartphone aziendale. Questo va tenuto in considerazione nella valutazione del Corporate Carbon Footprint in quanto è possibile applicarvi logiche e politiche di circular economy che possono essere impattanti ai fini della riduzione delle emissioni aziendali. Si ipotizzi di considerare come smartphone aziendale un iPhone 11 da 64 GB per cui si considera una durata del ciclo vita

[32] Lenovo, *Lenovo Product Carbon Footprint (PCF) Information Sheet ThinkVision T24i-10/P24i -10*, White paper

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

pari a 3 anni [33]. Questo prodotto, secondo le stime fornite dal produttore Apple, presenta un CFP pari a 72 kgCO₂eq così suddivisi:

- Produzione: responsabile per il 79% delle emissioni, quindi 56,88 kgCO₂eq
- Trasporto: 3% delle emissioni, pari a circa 2,16 kgCO₂eq
- Utilizzo: considerando una vita di 3 anni, le emissioni stimate per la fase di utilizzo sono 12,24 kgCO₂eq (17%)
- End of Life: valgono le stesse considerazioni fatte per laptop e monitor. Per lo smartphone, la parte di fine vita è responsabile meno dell'1%, dunque approssimativamente 0,72 kgCO₂eq [33].

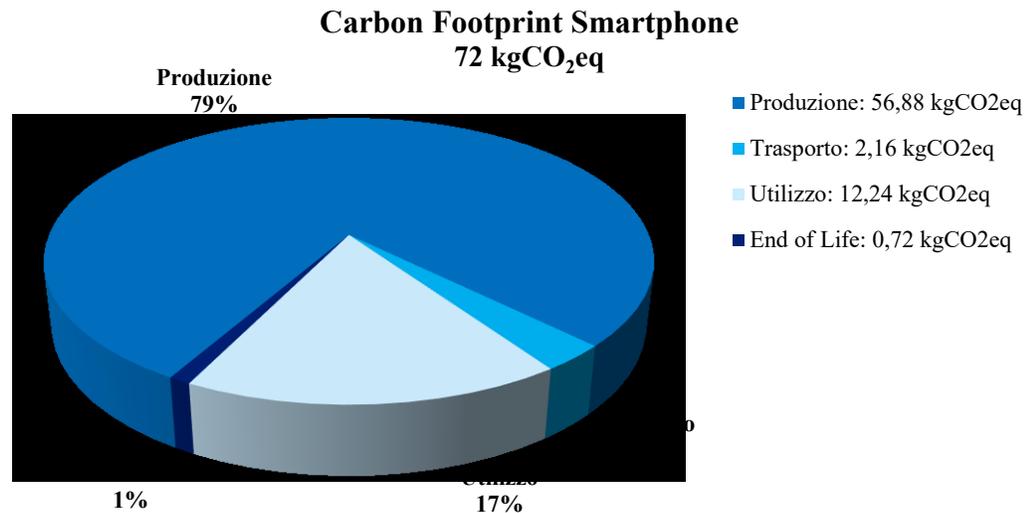


Fig. 3.3: Carbon Footprint iPhone 11 64 GB suddiviso in % tra le principali fasi del Ciclo Vita

Sebbene lo smartphone sia responsabile di una quantità di emissioni non trascurabile, si tratta, in realtà, di un benefit che caratterizza una percentuale ridotta della popolazione aziendale, di conseguenza l'analisi di questo dispositivo viene limitata alla definizione dell'impatto di uno smartphone lungo il suo ciclo vita.

[33] Apple, *Product Environmental Report iPhone 11*, White paper

È importante, però, sottolineare che anche lo smartphone, come gli altri device, può essere associato a politiche di economia circolare, tra cui il ricondizionamento e il riutilizzo di smartphone usati (senza alcun intervento esterno), al fine di estendere il suo lifetime.

3.2.2.4. Altri dispositivi elettronici

Per ciascuna postazione di lavoro sono sempre presenti, in più, due dispositivi necessari quali mouse e tastiera. Evidentemente, questi device presentano un impatto molto ridotto rispetto agli elementi finora analizzati in quanto sono costituiti da materiali diversi (meno pregiati) e hanno un consumo di energia minimo nella fase di utilizzo.

Si consideri inizialmente il mouse. La maggior parte di questi dispositivi sono prodotti e distribuiti da Logitech, che da poco ha iniziato a comunicare, tramite l'etichetta, informazioni sull'impatto ambientale di alcuni loro prodotti. I dati forniti da Logitech relativamente al Carbon Footprint dei suoi prodotti fa riferimento ad una durata della vita superiore ai 2 anni per entrambi i device. Il mouse preso come riferimento è il Logitech G Pro Wireless e presenta un Carbon Footprint pari a 7,84 kgCO₂eq così suddiviso:

- Produzione: dall'estrazione dei materiali alla produzione e all'assemblaggio, questa è la fase maggiormente impattante, in quanto è responsabile di 6,11 kgCO₂eq (78%)
- Trasporto e packaging: sulla base delle modalità di trasporto adottate dall'azienda e della tipologia di confezionamento (sempre più sostenibile), il contributo è stimato in 0,47 kgCO₂eq (6%)
- Utilizzo: si riferisce all'elettricità e alle batterie necessari per il funzionamento e impatta con 0,71 kgCO₂eq (9%)
- End of Life: come vengono dismessi il prodotto, le batterie e il packaging, questa fase genera emissioni pari a 0,55 kgCO₂eq (7%) [34].

[34] Logitech, *Carbon footprint pro wireless gaming mouse*, White paper

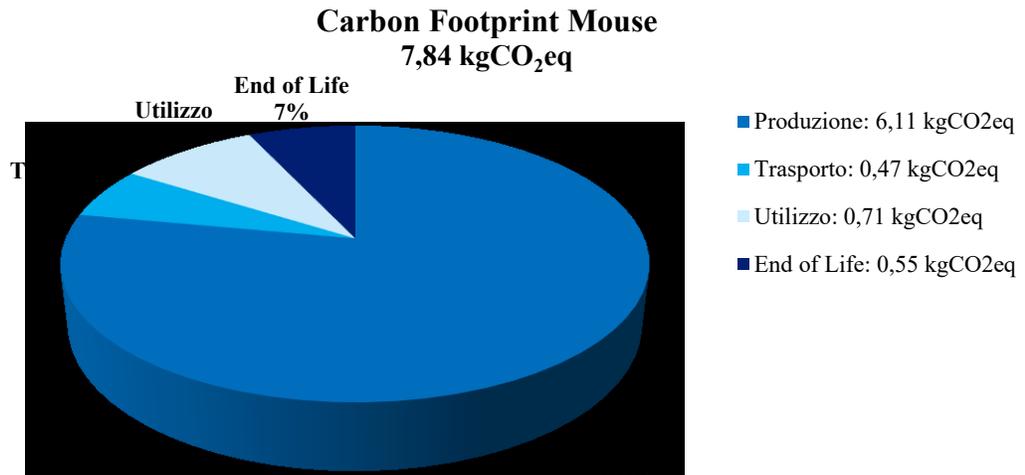


Fig. 3.4: Carbon Footprint Mouse Logitech G Pro Wireless Gaming suddiviso in % tra le principali fasi del Ciclo Vita

L'altro dispositivo che caratterizza ogni postazione di lavoro è la tastiera, il cui Carbon Footprint sarà maggiore rispetto a quello del mouse ma comunque molto minore rispetto a laptop, monitor e smartphone. Il prodotto considerato come riferimento (dal momento che è l'unico di cui sono forniti dati ufficiali) è la tastiera Logitech G213 Prodigy: questa presenta un totale di emissioni stimato lungo l'arco del ciclo vita pari a 22 kgCO₂eq, suddivisi tra le varie fasi come mostrato in Fig. 3.5 [35].

[35] Logitech, *Carbon footprint g213 prodigy rgb gaming keyboard*, White paper

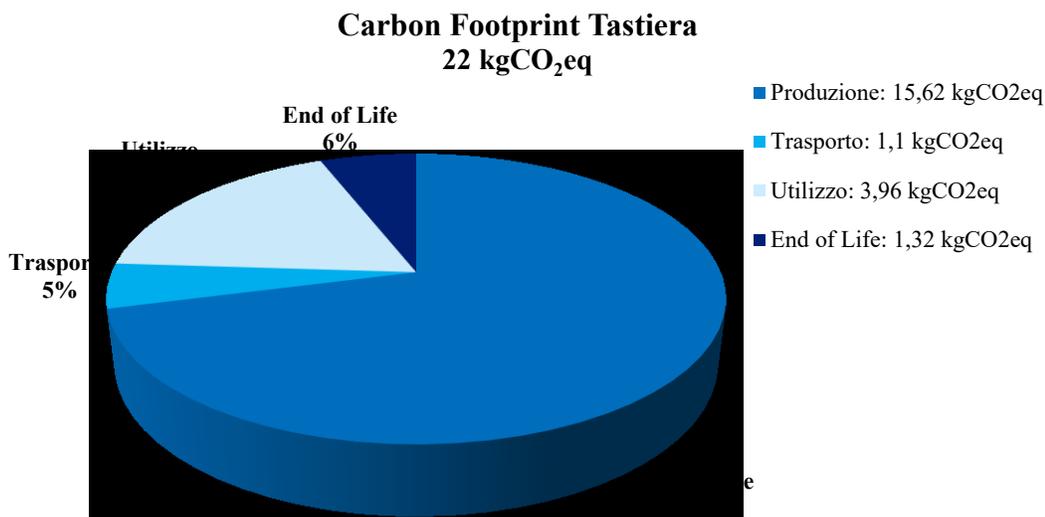


Fig. 3.5: Carbon Footprint Tastiera Logitech G213 Prodigy RGB Gaming suddiviso in % tra le principali fasi del Ciclo Vita

Il compito che ha un'azienda, al fine di determinare la componente di Carbon Footprint associata alla componente di hardware, è definire i prodotti effettivamente in utilizzo e la loro quantità all'interno dell'azienda. Stimato il Carbon Footprint unitario legato a ciascuno, si può andare a determinare quello complessivo, che sarà una parte importante del Corporate Carbon Footprint, e che va attentamente analizzato al fine di ridurlo.

Nella definizione e valutazione degli scenari saranno considerate le seguenti ipotesi:

- Valori di Carbon Footprint dei vari dispositivi pari a quelli medi definiti sopra
- Lifetime medio considerato per gli hardware pari a 4 anni.

Sulla base di queste ipotesi, i valori di emissioni unitari in kgCO₂eq delle postazioni con 1 monitor e di quella con 2 monitor nell'orizzonte di 4 anni è definito nella seguente Tabella 3.1.

Postazione	Carbon Footprint
1 monitor	816,34 kgCO ₂ eq
2 monitor	1180,34 kgCO ₂ eq

Tabella 3.1: Emissioni associate alle postazioni di lavoro con 1 e 2 monitor [kgCO₂eq]

3.3. Soluzioni di Circular Economy

Per l'azienda è importante individuare e valutare quali sono le opportunità per ridurre il proprio Carbon Footprint della parte hardware: queste possibilità possono essere sia soluzioni e politiche interne all'organizzazione, sia policy definite dai produttori dei rispettivi device.

3.3.1. Remanufacturing

Tra le soluzioni di circular economy che possono essere utilizzate, quella del remanufacturing (in italiano, rifabbricazione) si sta affermando sempre di più nel panorama della sostenibilità. Il remanufacturing si presenta a tutti gli effetti come un nuovo mercato collocato nel mezzo tra quello dei prodotti nuovi e quello dei prodotti ricondizionati, affermandosi nella circular economy come la soluzione maggiormente sostenibile. Questa pratica è stata brevettata da Circular Computing, ottenendo la certificazione Kitemark™.

Questa soluzione prevede che ogni laptop sia sottoposto allo stesso Processo di Circular Manufacturing (in accordo con gli standard BS 8887) in modo da generare un prodotto molto vicino a quello nuovo. Il processo prevede le seguenti fasi:

1. Ispezione iniziale
2. Disassemblaggio e smontaggio del laptop
3. Ispezione dei componenti
4. Riparazione dei componenti
5. Riparazione estetica
6. Sostituzione e upgrade dei componenti
7. Riasssemblaggio e test funzionali
8. Stress test del laptop finale
9. Ispezione visiva e controllo qualità

10. Processo per certificazione BSI Kitemark [36].

Il remanufacturing è una forma di recupero prodotti che permette che un laptop possa essere riutilizzato senza essere totalmente distrutto e convertito in qualcos'altro. Molti prodotti hanno la potenzialità per poter essere rifabbricati, in modo tale da incrementare la sostenibilità del loro ciclo vita, in quanto non vengono semplicemente sottoposti al processo di ricondizionamento ma vengono rinnovati con componenti esistenti e nuovi. Ciò che distingue un prodotto ricondizionato da uno remanufactured è il fatto che quest'ultimo raggiunge elevati livelli di valore sia estetico che di performance, avvicinandosi moltissimo ad un prodotto nuovo, sfruttando una combinazione di riutilizzo, riparazione e nuovi componenti. Quello che caratterizza principalmente questa tecnica è la sua completezza, legata al fatto che il prodotto rifabbricato deve corrispondere l'aspettativa del cliente di avere un laptop praticamente identico ad uno nuovo.

Analizzando l'impatto di un laptop rifabbricato, comparato con quello di uno nuovo si può notare che il processo di remanufacturing permette di ridurre le emissioni di 316 kgCO₂eq come affermato da Circular Computing [37]. Infatti, se da un lato si evita tutta la filiera produttiva che va dall'estrazione dei minerali alla fabbricazione dei prodotti (331 kgCO₂eq), dall'altro vanno considerate le emissioni legate al processo di remanufacturing, valutate pari a 15 kgCO₂eq [37]. L'analisi si basa sulle seguenti considerazioni:

- Un laptop rifabbricato presenta una performance tra il 93% ed il 97% rispetto allo stesso prodotto nuovo [37]
- Si assume che fasi di Utilizzo ed End of Life di un laptop remanufactured generino emissioni pari a quelle di un laptop nuovo
- Il processo di remanufacturing viene svolto presso un'azienda terza esterna, dunque si considera l'impatto del trasporto pari a quello di un laptop nuovo

[36] Circular Computing, *The circular remanufacturing process*, <https://circularcomputing.com/remanufacturing-process/>

[37] Circular Computing, *What is sustainable IT? Understanding sustainable information technology*, <https://circularcomputing.com/what-is-sustainable-it/>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Si considera una durata della vita del laptop rifabbricato pari a 4 anni (lifespan pari a quello dello stesso prodotto nuovo).

Di fronte a queste ipotesi, le fasi del ciclo vita responsabili del Carbon Footprint di Prodotto sono:

- Remanufacturing: l'insieme delle attività necessari per trasformare l'input in un laptop rifabbricato genera emissioni pari a 15 kgCO₂eq [37]
- Trasporto, Utilizzo ed End of Life: si suppone abbiano gli stessi valori di un prodotto nuovo, dunque rispettivamente 30 kgCO₂eq, 61,5 kgCO₂eq e meno di 1 kgCO₂eq.

Fig. 3.6 riporta le emissioni di CO₂eq associate a ciascuna delle fasi del ciclo vita di un laptop remanufactured, che insieme danno un totale di 106,5 kgCO₂eq.

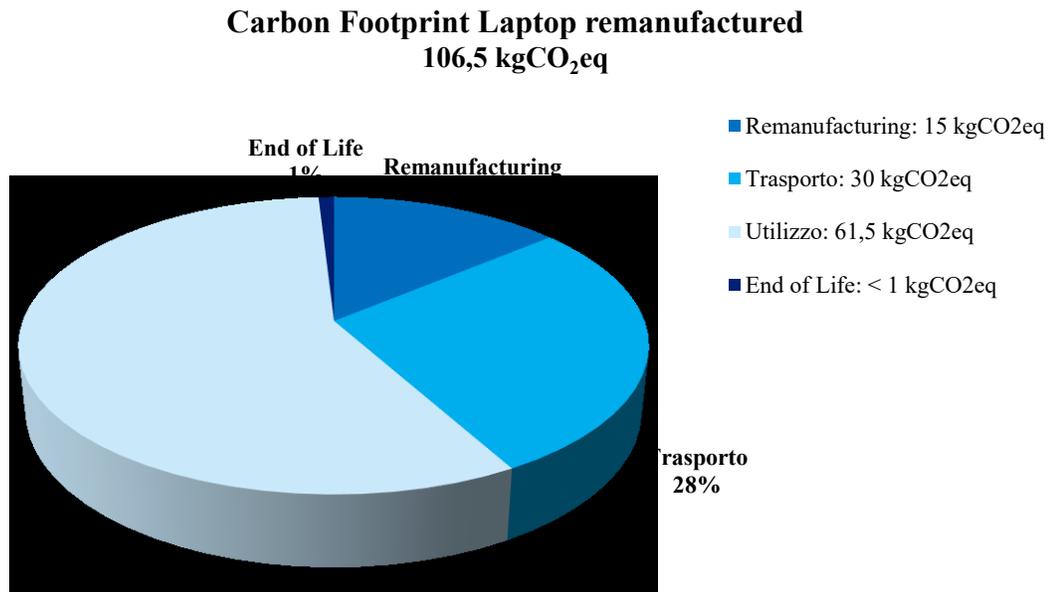


Fig. 3.6: Emissioni associate al processo di Remanufacturing di un Laptop [kgCO₂eq]

[37] Circular Computing, *What is sustainable IT? Understanding sustainable information technology*, <https://circularcomputing.com/what-is-sustainable-it/>

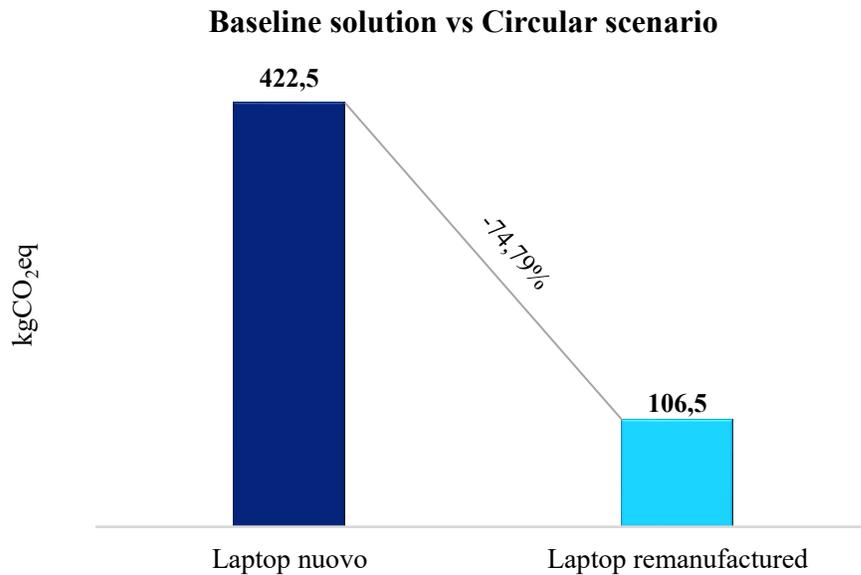


Fig. 3.7: Emissioni Laptop nuovo vs Laptop remanufactured [kgCO₂eq]

3.3.2. Ricondizionamento

Spesso, i laptop ricondizionati vengono confusi con quelli usati, ma in realtà sono due concetti nettamente diversi: da un lato i prodotti usati vengono venduti con lo stato di usura in cui si presentano, dunque non subiscono interventi né estetici né tantomeno funzionali al fine di rinnovarne qualità estetica e prestazionale; dall'altro lato i prodotti ricondizionati sono sottoposti ad un processo che prevede un rimodernamento al fine di rimetterli sul mercato con caratteristiche il più possibile vicine a quelle dello stesso prodotto nuovo.

Il processo di ricondizionamento prevede alcune fasi principali che sono:

- Smontaggio delle varie componenti del prodotto e ispezione dei danni
- Pulizia e sanificazione del prodotto e delle sue componenti
- Pulizia dei dati dal prodotto
- Riparazione, sostituzione e successivo riassetto

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Test e verifiche funzionali del prodotto [38].

Una volta pronto, il laptop viene etichettato come ricondizionato e viene classificato sulla base delle sue caratteristiche finali: può essere di grado A se è in ottime condizioni, di grado B se presenta qualche lieve graffio e via così.

Il ricondizionamento può essere eseguito dal reparto IT dell'organizzazione utilizzatrice dei prodotti, dal produttore oppure da aziende specializzate in questo processo.

Si va ad analizzare ora l'impatto che può avere a livello di Carbon Footprint di Prodotto l'adozione di questa pratica di circular economy. Un laptop con una vita di 4 anni è responsabile della generazione di 422,5 kgCO₂eq [31]. A questo punto un passo importante per valutare la sostenibilità di questa tecnica è definire le emissioni di un computer ricondizionato, per il quale si considerano le seguenti considerazioni:

- La fase di produzione, con il suo impatto, è nulla, e viene sostituita dal processo di ricondizionamento con le relative emissioni
- Si considera un'estensione del lifetime del laptop pari ad altri 4 anni, dunque pari alla durata che viene considerata per uno nuovo
- Si ipotizza il ricondizionamento eseguito da un'azienda terza specializzata, dunque si considerano anche le emissioni del trasporto (qualora i laptop vengano ricondizionati internamente all'azienda utilizzatrice allora questa voce sarà nulla)
- Per la definizione dell'impatto di un laptop ricondizionato si considera il modello definito da Foxway, applicato al caso studio in analisi [39].

Oltre a Utilizzo ed EoL, che sono supposte essere uguali tra nuovo e ricondizionato, le fasi principali considerate da Foxway per il calcolo dell'impatto di un laptop ricondizionato sono:

[31] Circular Computing, *What is the carbon footprint of a laptop?*, <https://circularcomputing.com/news/carbon-footprint-laptop/>

[38] Pcexchange, *Computer Refurbishing Process: A Complete Overview*, <https://www.pcexchange.com/blog/computer-refurbishing-process-a-complete-overview/>

[39] Foxway, *Giving new life to old laptops: Estimating the positive impact of Foxway using the handprint approach*, Foxway Handprint report 2021

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Trasporto (in uscita): dipende dalla distanza tra l'azienda utilizzatrice del laptop e quella responsabile del processo di ricondizionamento. Foxway ha stimato questo valore pari a 0,19 kgCO₂eq
- Elettricità e calore: questa fase genera 0,22 kgCO₂eq dovuti all'energia necessaria nella fabbrica per poter ricondizionare il prodotto
- Produzione di componenti sostitutivi: le emissioni sono causate dall'intero processo produttivo dei nuovi componenti che vanno a sostituire quelli danneggiati. Questa è la fase più impattante, con 5,54 kgCO₂eq
- Trasporto (in entrata): il laptop ritorna in azienda e questo generando 0,70 kgCO₂eq [39].

Questi dati sono definiti da Foxway per un laptop caratterizzato da un Carbon Footprint di Prodotto pari a 312 kgCO₂eq, mentre il laptop preso a riferimento in questa tesi genera 422,5 kgCO₂eq nel corso del suo ciclo vita, dunque con una semplice proporzione si va ad applicare i valori definiti da Foxway al caso studio:

- Trasporto in uscita: 0,26 kgCO₂eq
- Elettricità e calore: 0,30 kgCO₂eq
- Produzione componenti sostitutivi: 7,50 kgCO₂eq
- Trasporto in ingresso 0,95 kgCO₂eq.

L'insieme di queste fasi genera 9,01 kgCO₂eq, ed insieme a quelle di utilizzo (61,5 kgCO₂eq) e di EoL (< 1 kgCO₂eq), produce un Carbon Footprint pari a 70,51 kgCO₂eq. Si presentano i dettagli nelle figure successive.

[39] Foxway, *Giving new life to old laptops: Estimating the positive impact of Foxway using the handprint approach*, Foxway Handprint report 2021

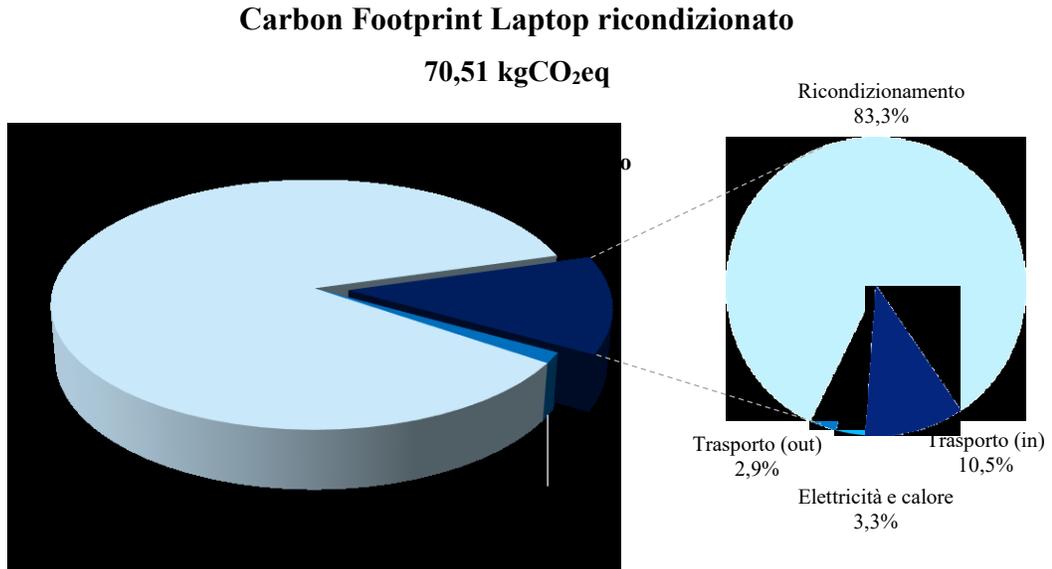


Fig. 3.8: Emissioni associate al processo di Ricondizionamento di un Laptop [kgCO₂eq]

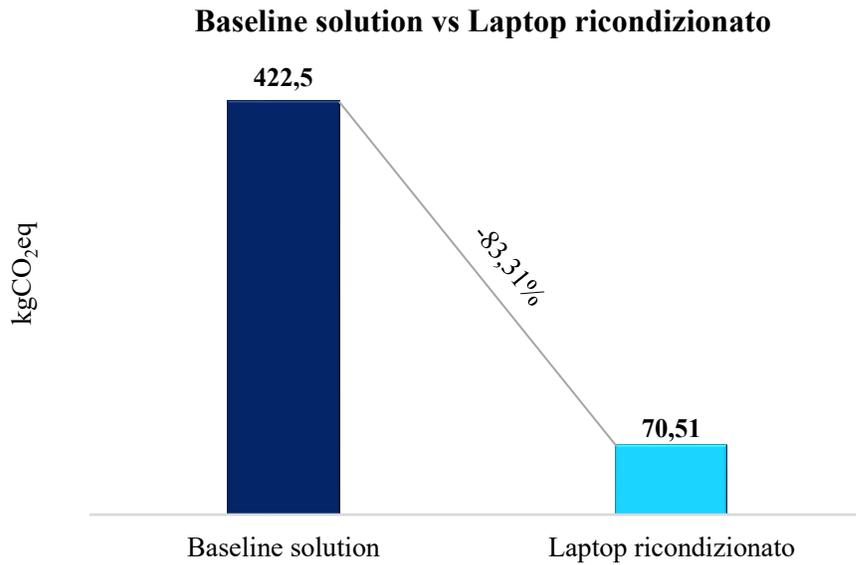


Fig. 3.9: Emissioni Laptop nuovo vs Laptop riconditionato [kgCO₂eq]

3.3.3. Programmi di recupero interni

All'interno di questa categoria va citato prima di tutto il ricorso all'usato, dunque il riutilizzo di prodotti che sono giunti al termine del loro ciclo di vita previsto. A differenza delle soluzioni finora analizzate, questa pratica prevede interventi diretti sul prodotto minimi che possono essere considerati trascurabili rispetto alle operazioni di ricondizionamento o remanufacturing. I prodotti second-hand vengono messi a disposizione dei dipendenti, in particolare quelli che non necessitano di hardware particolarmente performanti.

Come per le tecniche di remanufacturing e ricondizionamento, anche in questo caso la voce "Produzione" ha un impatto nullo, in più, trattandosi di una tecnica interna all'azienda, non c'è alcuna necessità di trasporto, dunque le emissioni legate alle movimentazioni dei prodotti sono nulle. Le fasi del ciclo vita che caratterizzeranno particolarmente il carbon footprint del prodotto usato saranno End of Life (per lo smaltimento del prodotto al termine del ciclo vita) e, soprattutto, quella di Utilizzo: va tenuto in considerazione che, dato un certo livello di utilizzo nel tempo, il prodotto non avrà la stessa performance di uno nuovo e, in particolare considerando un laptop, a causa dell'usura, la batteria richiederà una maggior frequenza di alimentazione, andando ad incidere pesantemente sul consumo energetico associato all'utilizzo del prodotto usato.

I nuovi laptop presentano un'efficienza superiore del 10% rispetto a quelli usati, dunque può essere assunta come ipotesi il fatto che i prodotti usati consumino il 10% di energia in più rispetto agli stessi dispositivi nuovi. Questo può essere poi tradotto in un 10% in più di emissioni di CO₂eq nella fase di utilizzo. Di conseguenza, l'incidenza delle fasi nel Carbon Footprint di un laptop è così definita:

- Utilizzo: 67,65 kgCO₂eq, dato dal valore relativo di un laptop nuovo (61,5 kgCO₂eq) più il suo 10% (6,15 kgCO₂eq)
- End of Life: considerato pari a quello di un laptop nuovo (inferiore a 1 kgCO₂eq).

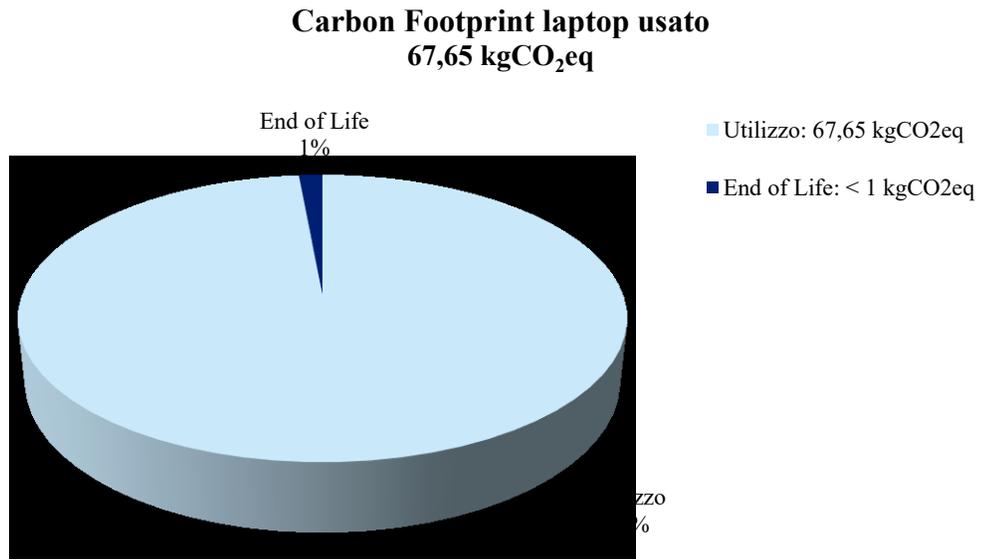


Fig. 3.10: Emissioni generate da un Laptop usato [kgCO₂eq]

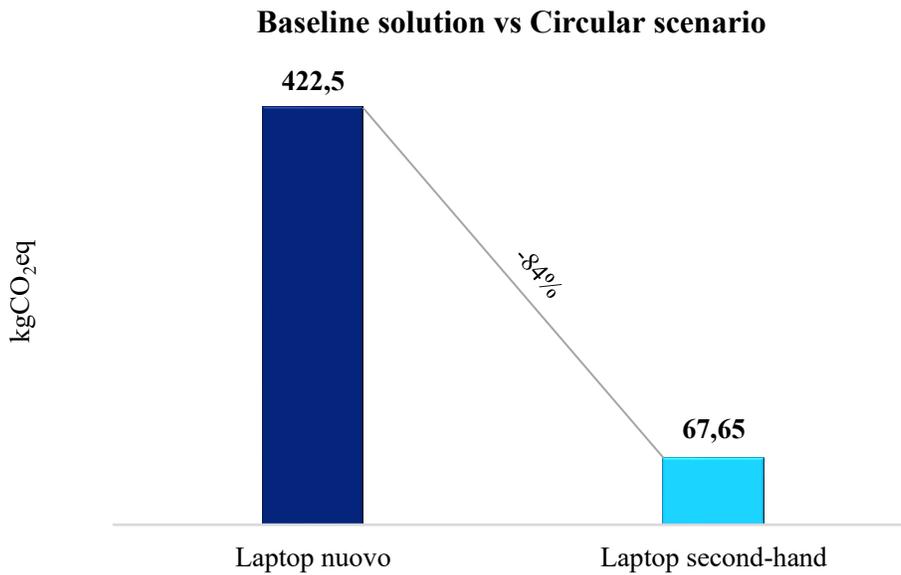


Fig. 3.11: Emissioni Laptop nuovo vs Laptop usato [kgCO₂eq]

È possibile individuare altre applicazioni dell'usato che non riguardano il perimetro dell'azienda. In particolare l'azienda con dei laptop a fine vita può adottare le seguenti politiche di circular economy:

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Cedere i prodotti usati ai dipendenti per uso personale (dunque il laptop non è più da considerare come computer di lavoro)
- Immettere i prodotti nel mercato, cedendoli ad aziende che si occuperanno poi della loro (ri)commercializzazione.

Queste ultime pratiche descritte, tuttavia, non influiscono direttamente sul Carbon Footprint dell'azienda, in quanto i prodotti usati escono dal perimetro dell'organizzazione, la quale non ne è più proprietaria e non è più responsabile delle emissioni. Queste politiche hanno, comunque, un impatto sulle emissioni a livello globale e in particolare su tutta la catena che dai consumatori va ai produttori: cedendo prodotti usati, l'azienda permette di ridurre l'immissione nel mercato di prodotti nuovi.

In Fig. 3.12 si osserva il confronto del Carbon Footprint delle soluzioni laptop finora analizzate nell'orizzonte temporale definito $T = 4$ anni: è evidente come ciascuna delle politiche di circular economy consentano un risparmio notevole in termini di emissioni di CO_2eq . Dal punto di vista dell'impatto ambientale è chiaramente preferibile l'adozione di prodotti remanufactured, ricondizionati o usati, tuttavia questa analisi va combinata con una relativa alle prestazioni degli stessi hardware, che devono essere conformi con le necessità dell'azienda. Si tratta di definire un trade off impatto-prestazioni: non tutti i dipendenti dell'azienda necessiteranno di computer con le stesse prestazioni, dunque è importante individuare quanti necessitano di laptop sempre performanti e di ultima generazione (nuovi o remanufactured), quanti possono utilizzare laptop ricondizionati e quanti possono essere dotati di laptop usati.

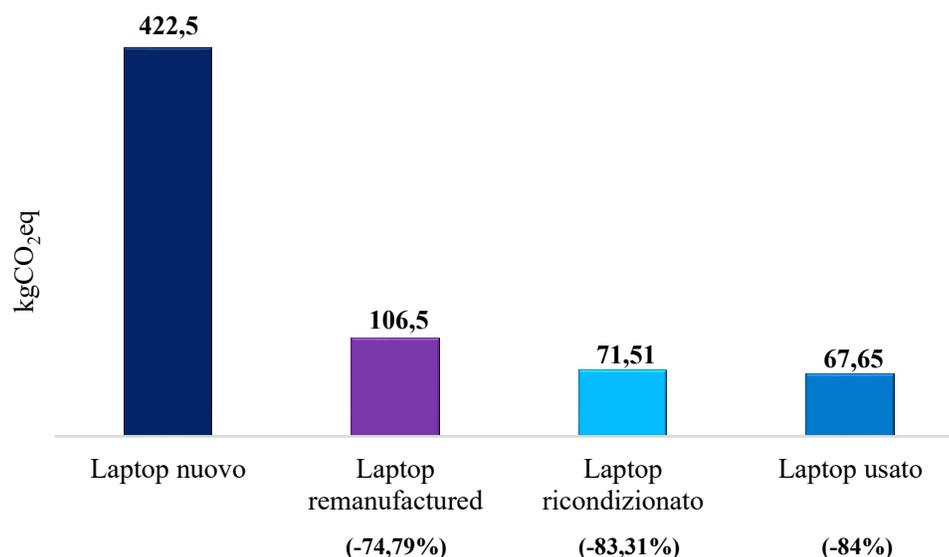


Fig. 3.12: Confronto tra scenari in termini di emissioni [kgCO₂eq] e Δ delle politiche di economia circolare rispetto al Laptop nuovo

3.3.4. Analisi e valutazione dei fornitori di dispositivi IT

Dal momento che il Carbon Footprint dei prodotti sopra definiti è costituito non solo dalla fase di utilizzo, ma anche da produzione, packaging, trasporto ed end of life, è importante estendere l'analisi anche sul lato fornitori: questi hanno un ruolo fondamentale nella riduzione dell'impatto ambientale della componente prodotto di un'azienda, in quanto possono applicare delle politiche di riciclo e smaltimento al fine di massimizzare il riutilizzo di determinati componenti e materiali provenienti da prodotti in dismissione. Dal report di Capgemini, solo il 43% considerano critico l'impatto ambientale nella selezione dei fornitori IT [4]. Questo ha un impatto notevole a monte, visto l'elevato volume di prodotti IT e servizi acquistati dalle aziende.

Un primo aspetto da osservare per verificare l'impegno di un produttore alla causa è verificare se questo presenta una strategia di sostenibilità IT, con target e metodi per il

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

calcolo del Carbon Footprint di Prodotto per i vari hardware. Molte aziende quali Lenovo, Dell, HP e Logitech pubblicano sul proprio sito documenti che riportano l'impatto ambientale lungo il ciclo vita di ciascun prodotto [7] [8] [32] [34] [35].

Logitech per certi prodotti ha definito una particolare etichetta integrata nel packaging che specifica il Carbon Footprint del prodotto, e che questo è carbon neutral, in quanto le sue emissioni sono state compensate con determinate attività (offsetting) [40].

Un altro elemento rilevante al fine di ridurre il Carbon Footprint di Prodotto è il packaging: le principali aziende produttrici dei dispositivi IT stanno allocando molte risorse e sforzi sulla tematica dell'imballaggio, che partecipa in una certa misura al Carbon Footprint di Prodotto. L'obiettivo che deve contraddistinguere i fornitori è dotare i prodotti di sistemi di imballaggio più efficienti attraverso il ripensamento del design degli imballi e la riduzione (fino ad arrivare all'eliminazione totale) di plastica monouso. Attraverso una riduzione di dimensione, peso e utilizzo di materiali, e un ripensamento del design del packaging, nel 2021 Logitech ha evitato l'utilizzo di 462 tonnellate di carta e più di 1,76 tonnellate di CO₂eq [40].

Come specificato nei report dei vari prodotti, la produzione è la componente che impatta maggiormente in termini di emissioni, dunque per i fornitori è fondamentale mettere in atto delle misure atte a ridurre gli sprechi di materiali, il consumo di energia e di acqua nelle attività produttive.

Dal momento che i metalli rari usati per la produzione dei dispositivi IT sono risorse limitate e che il processo di estrazione ha grande impatto ambientale, il riciclaggio dei dispositivi elettronici è fondamentale. Il riciclo diventa ancora più importante se si pensa

[7] HP Development Company LP, *Product carbon footprint, HP 17 Laptop PC*

[8] Dell, *Estimation product carbon footprint, Dell Precision 7760*

[32] Lenovo, *Lenovo Product Carbon Footprint (PCF) Information Sheet ThinkVision T24i-10/P24i -10*, White paper

[34] Logitech, *Carbon footprint pro wireless gaming mouse*, White paper

[35] Logitech, *Carbon footprint g213 prodigy rgb gaming keyboard*, White paper

[40] Logitech, *Sustainable Report Full Year 2021*, pp. 27, pp. 32-33
<https://www.logitech.com/content/dam/logitech/en/sustainability/pdf/resources/sustainability-report-fy21-aw-spreads.pdf>

che a livello internazionale, il riciclo dell'e-waste presenta livelli piuttosto bassi che si aggirano tra il 15% ed il 20% [41].

Per il riciclo è fondamentale il ruolo dei fornitori o di aziende terze specializzate, che con specifici programmi possono supportare le aziende nel rivendere, riciclare o restituire i propri prodotti (laptop e monitor su tutti) in modo tale da ridurre il Corporate Carbon Footprint. Le aziende principali come Dell hanno dei programmi specifici sul corretto smaltimento dei prodotti. Durante il processo di riciclo i componenti IT vengono scomposti in componenti principali, mentre i materiali vengono suddivisi in gruppi (metalli ferrosi, metalli preziosi e plastica). Dopo aver eseguito questa operazione, i materiali vengono inviati ai partner specializzati nel relativo smaltimento.

3.4. Applicazione di soluzioni circolari

Una volta definite le varie soluzioni con le rispettive emissioni di CO₂eq, si va ad effettuare un confronto tra scenari alternativi che valutano l'impatto ambientale dell'azienda a livello di hardware sulla base dei dispositivi a disposizione e delle politiche attuabili internamente.

Si considerano due scenari: da un lato il Baseline scenario costituito dall'adozione di prodotti nuovi al termine del ciclo vita utile (T = 4 anni) e dall'altro il Circular scenario che prevede l'applicazione di politiche precedentemente definite di economia circolare orientate all'abbattimento del Corporate Carbon Footprint.

3.4.1 Baseline scenario vs Circular Scenario

Si definiscono nel dettaglio gli scenari alternativi con le rispettive caratteristiche ed ipotesi. Si valuta l'impatto delle soluzioni per il laptop su un orizzonte temporale di 8 anni, che saranno scomposti in due periodi: si parlerà di "T° periodo" per i primi 4 anni

[41] Earth911, *What Happens to E-waste When It Gets Recycled?*, 26 Luglio 2021, <https://earth911.com/business-policy/what-happens-to-e-waste-when-it-gets-recycled/>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

dell'orizzonte temporale, e di "II° periodo" in riferimento ai secondi 4 anni. Si definiscono le seguenti assumptions per la valutazione degli scenari del caso studio:

- L'azienda si costituisce di 1400 dipendenti, dei quali 800 sono impiegati dotati ognuno di un laptop per uso lavorativo
- I prodotti considerati sono sempre gli stessi, ovvero lo stesso modello di laptop
- Ciclo vita medio pari a $T = 4$ anni

Il primo scenario che si va a definire ed analizzare è il Baseline, secondo il quale i laptop presentano un ciclo vita utile della durata di 4 anni, al termine dei quali vengono dismessi ed eliminati, venendo sostituiti da prodotti nuovi. Questo vuol dire che ogni 4 anni si ha una rotazione dei laptop che causa un ripetersi dello stesso valore di emissioni. Considerando, dunque, un orizzonte di analisi di 8 anni, il Baseline scenario genera per i laptop un Carbon Footprint totale pari a 676.000 kgCO₂eq.

Baseline scenario I° periodo	Baseline scenario II° periodo	Baseline scenario totale
338.000 kgCO ₂ eq	338.000 kgCO ₂ eq	676.000 kgCO ₂ eq

Tabella 3.2: Emissioni generate con l'applicazione del Baseline scenario [kgCO₂eq]

Internamente ad un'azienda si può definire, dall'altro lato, un Circular scenario, che si caratterizza di una combinazione delle varie tecniche di economia circolare. Come per il Baseline scenario, anche per il Circular si può ipotizzare che inizialmente vengano acquistati tutti laptop nuovi, dunque nel I° periodo il Carbon Footprint tra Baseline e Circular scenario è equivalente. Cambia, però, il comportamento aziendale una volta che si raggiunge la fine del ciclo vita: a differenza dello scenario precedente, quello Circular prevede che al termine dei 4 anni non vengano dismessi i prodotti, ma piuttosto che vengano applicate delle pratiche di circular economy che garantiscono l'estensione del lifetime.

Dal momento che abbiamo diverse pratiche per il recupero e l'estensione della durata della vita dei prodotti IT, si definiscono delle ipotesi alla fine dei primi 4 anni di utilizzo. Per quanto riguarda i laptop:

- Il 40% saranno laptop remanufactured

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Il 30% sono ricondizionati
- Il 10% sono usati senza alcun intervento significativo
- Il 20% saranno nuovi.

Tabella 3.3 mette in evidenza, prima di tutto, come il Carbon Footprint dei primi 4 anni sia equivalente con quello del Baseline scenario. Si osserva poi nell'ultima colonna il valore delle emissioni dei vari tipi di laptop con le rispettive politiche in 4 anni:

- 320 laptop remanufactured: 34.080 kgCO₂eq
- 240 laptop ricondizionati: 16.922 kgCO₂eq
- 80 laptop usati: 5.412 kgCO₂eq
- 160 laptop nuovi: 67.600 kgCO₂eq.

Al termine degli 8 anni, l'impatto ambientale generato da tali dispositivi sarà dato dalla somma degli 800 laptop nuovi assunti nel I° periodo (338.000 kgCO₂eq) più le emissioni totali del II° periodo, arrivando ad un totale di 462.014,4 kgCO₂eq generati in T = 8 anni, solo per la componente laptop internamente all'azienda.

	Numero laptop	Circular scenario I° periodo	Circular scenario II° periodo
Laptop remanufactured	320	338.000 kgCO ₂ eq	34.080 kgCO ₂ eq
Laptop ricondizionati	240		16.922 kgCO ₂ eq
Laptop usati	80		5.412 kgCO ₂ eq
Laptop nuovi	160		67.600 kgCO ₂ eq
Totale	800	338.000 kgCO₂eq	124.014,4 kgCO₂eq

Tabella 3.3: Emissioni generate con l'applicazione del Circular Scenario [kgCO₂eq]

Si pongono in confronto i due scenari per osservare in dettaglio quale può essere il risparmio in termini di emissioni del Circular rispetto al Baseline scenario: si osserva che tra i due scenari c'è una differenza importante, dal momento che tramite l'applicazione di

politiche circolari, è possibile ottenere a livello aziendale un risparmio di 213.986 kgCO₂eq solo per quanto riguarda i laptop.

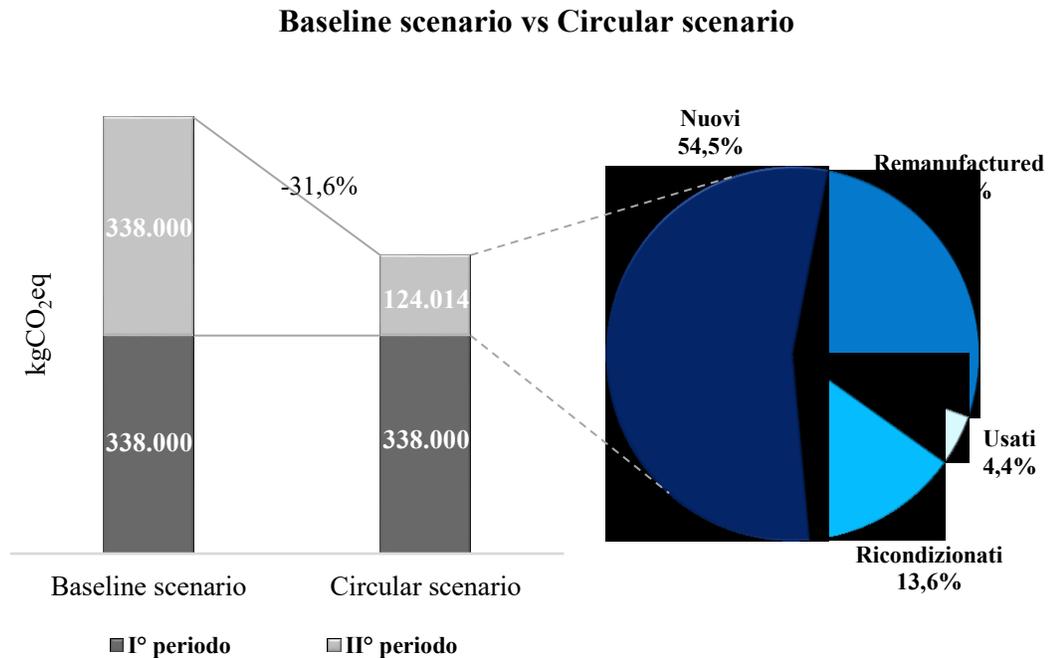


Fig. 3.13: Confronto Baseline scenario – Circular scenario e impatto delle politiche di economia circolare per i laptop nel Circular scenario

L'analisi effettuata per il laptop può essere condotta analogamente per monitor e dispositivi quali mouse e tastiera, con le rispettive politiche di circular economy (il processo di remanufacturing, ad oggi, è stato sviluppato solo per i laptop).

Definendo degli scenari Baseline e Circular anche per i dispositivi appena citati, è possibile poi condurre un'analisi complessiva a livello office inglobando insieme laptop, monitor, mouse e tastiera, andando a vedere come le pratiche di circular economy applicate a ciascuno di questi elementi possono portare l'azienda a ridurre notevolmente il proprio Carbon Footprint.

3.4.2 Valutazione delle soluzioni

Gli scenari che possono essere definiti sono molteplici e dipendono molto dalle necessità, dalle caratteristiche e dalle politiche aziendali. All'analisi dell'impatto ambientale va associata, comunque, un'analisi relativa alla possibilità di applicazione delle pratiche di circular economy e della misura in cui possono essere applicate.

Questi due scenari mostrano come l'impatto ambientale derivante dall'adozione di pratiche quali remanufacturing, ricondizionamento e ricorso all'usato possa agevolare molto la riduzione del Corporate Carbon Footprint comparato all'adozione di dispositivi nuovi: questo perché, come già espresso, spesso, quando i dispositivi arrivano al termine del ciclo vita base, in realtà il loro lifetime può essere esteso attraverso le politiche citate garantendo comunque una buona performance.

L'analisi è stata condotta esclusivamente per i laptop, tuttavia, una volta noti gli impatti degli altri dispositivi in relazione alle pratiche di circular economy, è possibile estendere l'analisi e definire l'impatto complessivo del lato office dell'azienda in termini puramente di hardware, in modo da individuare, sulla base delle caratteristiche e delle necessità dell'azienda stessa, le soluzioni che possono essere effettivamente applicate al fine di estendere la strategia di sustainable IT anche a questo aspetto.

4. Policy e Best Practice

Il percorso fatto finora ha visto prima di tutto il focus incentrato sui dati data center e l'aumento dell'efficienza, elemento che maggiormente incide nella componente IT del Corporate Carbon Footprint, dal momento che l'impatto ambientale è strettamente legato al consumo di energia che permette l'operatività dell'intera azienda.

Il secondo passaggio si è concentrato, invece, sull'analisi dell'impatto dei principali hardware nel corso del loro lifecycle e dell'applicazione di politiche di circular economy finalizzate alla riduzione del Carbon Footprint di Prodotto associato ai dispositivi.

Il terzo ed ultimo punto che verrà approfondito in questo capitolo si propone di definire delle policy e le best practice a livello office affidate a ciascun dipendente, che nel quotidiano ha un ruolo centrale strategico nell'applicazione di determinati standard volti a ridurre ulteriormente l'impatto ambientale dell'azienda.

Si può, dunque, osservare un percorso lineare che è partito, prima, dall'analisi dei data center e dell'energia necessari per garantire l'operatività dell'azienda, passando poi allo studio degli hardware che permettono l'esecuzione delle attività aziendali, concludendosi, infine, nell'ottimizzazione di alcune di queste attività - quelle più impattanti in termini di emissioni - attraverso l'applicazione di policy e best practice.

Questo ultimo capitolo, nello specifico, ha l'obiettivo di eseguire un'analisi sull'impatto delle azioni sostenibili che ogni dipendente dell'azienda può eseguire al fine di supportare l'organizzazione nella riduzione del proprio Corporate Carbon Footprint.

L'obiettivo di un'azienda che si trova in un percorso verso il sustainable IT deve essere quello di integrare la sostenibilità nel lavoro quotidiano di ogni impiegato, che ha la responsabilità di compiere azioni a costo zero ma con un importante impatto ambientale.

Tuttavia, come evidenziato nel capitolo introduttivo, molte aziende non hanno ancora piena consapevolezza dell'impatto ambientale del loro IT, e in particolare molte non hanno definito una strategia che preveda anche un ruolo attivo da parte dei propri dipendenti.

Si procede ora con l'analisi dei punti fondamentali della strategia di sustainable IT che deve coinvolgere i dipendenti dell'azienda, conferendo loro un ruolo attivo e una responsabilità ai fini della riduzione del Corporate Carbon Footprint.

4.1. Il ruolo del dipendente nel Sustainable IT: Employee Green Behaviour

Come detto, ogni dipendente può svolgere quotidianamente un ruolo attivo con il proprio comportamento e le proprie azioni ai fini della sostenibilità aziendale (e, dunque, della sostenibilità IT). A tal proposito, si introduce il concetto di Employee Green Behaviour (EGB) che esprime una serie di azioni scalabili e di comportamenti in cui l'impiegato è coinvolto che sono collegati tra loro e contribuiscono alla sostenibilità ambientale [42].

A livello aziendale risulta necessario andare ad individuare prima di tutto quali sono i comportamenti responsabili della generazione di emissioni, e andare ad associarci delle azioni (best practice e policy) che permettano di ridurre il loro impatto: si tratta di definire degli standard che devono essere mantenuti quotidianamente in una logica di continuous improvement (lean management). Questo prevede due fasi:

- Il ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), che rappresenta l'effettiva implementazione del miglioramento che permette di passare da uno stato As-Is ad uno stato To-Be
- Il ciclo SDCA (Standard-Do-Check-Act), finalizzato al mantenimento del nuovo standard definito con il ciclo PDCA [43].

Secondo questo schema si definiscono gradualmente sempre nuovi standard, in modo da realizzare all'interno dell'azienda nel lungo periodo un miglioramento importante, dato dall'unione di ciascun piccolo avanzamento.

Può risultare utile a livello complessivo aziendale definire degli strumenti a supporto dei dipendenti per l'esecuzione delle best practice eseguibili quotidianamente quali checklist, record e documentazioni che permettono di monitorare i comportamenti e l'effettiva esecuzione delle azioni finalizzate a limitare l'impatto ambientale delle attività sopra citate.

[42] Jackson S. E., Ones D. Z., Dilchert S., Kraiger K., *Managing human resources for environmental sustainability*, Chapter 5, pp. 87

[43] Panizzolo R., *La gestione del miglioramento continuo (Continuous Improvement) nei sistemi Lean*, "Slide Continuous Improvement" del corso *Gestione snella dei processi*

4.2. Processi ad impatto ambientale e relative Policy

Ogni persona all'interno dell'organizzazione esegue ogni giorno delle attività che rappresentano un contributo al Carbon Footprint aziendale, ma attraverso l'applicazione di azioni mirate ha la possibilità di generare un effetto positivo in termini di efficienza aziendale e riduzione delle emissioni. Si procede con l'analisi di tutte quelle attività cui si associa un impatto ambientale importante e che possono essere ottimizzate attraverso l'applicazione di determinate policy e best practice.

Una prima attività da valutare è la stampa di documenti: questo un processo può essere fortemente impattante se non gestito correttamente, soprattutto in un'azienda con molti dipendenti. Le problematiche principali legate ad una gestione impropria di questa attività sono:

- Stampa di file che non necessitano di essere stampati (mail o avvisi)
- Molteplici stampe dello stesso documento per persone diverse oppure dovute ad errori nella progettazione della stampa
- Stampa eseguita solo su un lato del foglio e a colori quando non necessario
- Stampa di documenti interi anziché delle pagine solo strettamente necessarie.

Un secondo elemento da valutare è quello delle mail: l'invio di mail è un'attività intensiva all'interno di un'azienda, in quanto la posta elettronica è un mezzo di comunicazione molto usato sia per inviare documenti e file, ma anche per programmare meeting in connessione con dei sistemi di video-call come Skype. Anche per questo componente ci possono essere delle situazioni di mancata efficienza, ovvero l'invio di mail non necessarie (per esempio saluti e ringraziamenti). Di questo elemento risulta necessario analizzare:

- Il numero di mail inviate da ciascun dipendente e l'effettivo valore di queste mail
- Impatto di una mail semplice (solo testo) e di una mail con allegato
- Il possibile utilizzo di piattaforme per la condivisione di file (soprattutto quelli pesanti) come alternativa all'invio di mail.

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Un terzo elemento rappresenta la messaggistica interna all'organizzazione: soprattutto nelle grandi aziende la comunicazione tra i vari dipendenti viene gestita attraverso il ricorso ad app quali Skype, Zoom o Teams, le quali partecipano alle emissioni aziendali. Va, dunque, tenuto conto del loro impatto nelle fasi di lancio, apertura conversazioni, invio di messaggi, immagini o allegati.

Il quarto è la gestione dei dispositivi elettronici nell'arco della giornata, in quanto questi sono una importante fonte di consumo energetico, come visto anche nel lifecycle assessment. L'aspetto rilevante dei dispositivi è la loro gestione quando non utilizzati:

- Al termine della giornata e della settimana lavorativa si spengono i vari dispositivi?
- Nelle pause durante la giornata si spengono i dispositivi o vengono lasciati in modalità stand-by e con lo screensaver attivo?
- Durante la giornata lavorativa il laptop è costantemente in carica?

Ciascuno di questi fattori può essere sottoposto ad attenta analisi al fine di definire dei percorsi di ottimizzazione attraverso la definizione e applicazione di specifiche best practice e policy che possono contribuire in certa misura alla riduzione del Corporate Carbon Footprint. Si procede con l'analisi dei singoli fattori.

4.2.1. Paperless Office

Per valutare questa policy, si introduce il concetto di "ufficio paperless": si tratta di un ufficio dove tutta la documentazione cartacea viene sostituita da contenuti digitali, con l'unica eccezione di documenti che sono o bozze finali o legalmente vincolanti. Si analizzano ora le caratteristiche di due scenari contrapposti [44].

Kim et al. hanno condotto uno studio in cui sono stati valutati tre scenari differenti per ciascuno dei quali è stato definito l'impatto in termini di emissioni annuali:

[44] Kim J., Kim Y., Oh S., Kim T., Lee D., *Estimation of environmental impact of paperless office based on simple model scenarios*, International journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, Vol. 12, N°1, pp. 44-60

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Lo scenario “Paper Office” prevede un utilizzo intensivo di carta nell’ufficio, principalmente carta da stampa, blocchi per appunti, cartelle e vari altri tipi di carta presente negli uffici aziendali. Da questo uso intensivo ne deriva un elevato consumo di energia di dispositivi quali stampanti, fotocopiatrici e plotter, ma allo stesso tempo un minor utilizzo di laptop e monitor, che non saranno necessari per la lettura ed analisi dei documenti che sono stati stampati
- Il secondo scenario è quello del “Paperless Office”, il quale si caratterizza per una completa eliminazione della carta da ufficio, ad eccezione, come già anticipato, di bozze finali e documenti legalmente vincolanti. A questa riduzione si associa anche l’eliminazione di stampanti, fotocopiatrici e plotter (e del consumo associato). Al contrario del paper-use scenario, però, dispositivi quali laptop e monitor vedranno un incremento nel consumo di elettricità dovuto ad un maggior uso
- Il terzo scenario è il “50% Paper (o Paperless) Office”: questo prende a riferimento lo scenario Paper Office e valuta una riduzione del 50% della carta utilizzata, nonché di stampanti e fotocopiatrici, a cui si associa una riduzione nel consumo di energia. Al contrario gli altri dispositivi da ufficio saranno usati di più [44].

Gli scenari sopra specificati sono stati analizzati considerando tre fattori:

- Carta: viene valutato l’impatto lungo tutto il ciclo vita (estrazione fibre, produzione, utilizzo ed end of life) tramite la metodologia del Life Cycle Assessment
- Equipment: produzione dei dispositivi, considerando che negli scenari 50% e paperless si vanno ad introdurre dispositivi per supportare i dipendenti nella lettura dei documenti a seguito della riduzione delle stampe
- Elettricità: il consumo di energia legato all’utilizzo dei dispositivi, che è stato assunto pari ad 8 ore al giorno (ipotesi in linea con quella nel Cap.2).

[44] Kim J., Kim Y., Oh S., Kim T., Lee D., *Estimation of environmental impact of paperless office based on simple model scenarios*, International journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, Vol. 12, N°1, pp. 44-60

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Per il caso analizzato in questa tesi si rendono necessari delle modifiche al modello proposto da Kim et al.:

- Avendo già analizzato nel Cap.2 l'impatto della fase di produzione dei dispositivi, nella valutazione degli scenari verrà escluso il fattore "Equipment"
- Nel modello di Kim et al., l'impatto dei vari scenari viene definito in relazione ad un ufficio con 150 dipendenti. Dal momento che si stanno analizzando le emissioni di un'azienda con 800 impiegati, si ipotizza un fattore correttivo pari a 5,33 (dato da 800/150).

Date le seguenti ipotesi si illustra in Tabella 4.1 l'impatto annuale per ciascuno dei tre scenari:

	Emissioni Carta	Emissioni Elettricità	Emissioni totali	Δ scenari
Paper Office	320 tCO ₂ eq	160 tCO ₂ eq	480 tCO ₂ eq	-
50% Scenario	160 tCO ₂ eq	53 tCO ₂ eq	213 tCO ₂ eq	-55,6%
Paperless Office	0 tCO ₂ eq	53 tCO ₂ eq	53 tCO ₂ eq	-89%

Tabella 4.1: Emissioni generate dai 3 scenari [tCO₂eq] e variazione rispetto al Paper Office

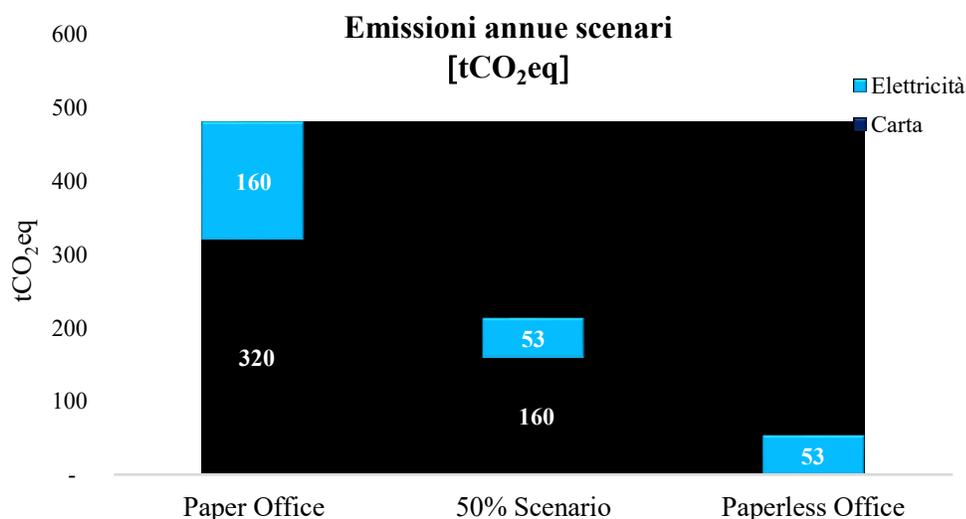


Fig. 4.1: Dettaglio emissioni generate dai 3 scenari [tCO₂eq]

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Le conclusioni che si possono trarre dall'analisi sono le seguenti:

- Il paperless è, come prevedibile, lo scenario con il miglior impatto in termini di emissioni
- Nonostante nel 50% Scenario e nel Paperless Office ci sia un uso più intensivo di dispositivi elettronici (laptop, monitor e altri device nella postazione), il Paper Office ha una componente "Elettricità" maggiore, in quanto stampanti e fotocopiatrici sono più energivore di ogni altro dispositivo elettronico da ufficio
- Nel Paperless Office l'elemento "Carta" viene indicato come nullo, ma in realtà c'è un contributo minimo dovuto alla stampa di alcuni documenti particolari.

Questa analisi dimostra come un'accorta gestione delle stampe possa avere risvolti notevoli all'interno di un'organizzazione: in questo aspetto, quotidianamente ogni persona ha la responsabilità di svolgere un ruolo attivo nell'ottimizzazione di questa attività.

Sebbene lo scenario Paperless sia attualmente difficilmente raggiungibile, è possibile definire un percorso che conduca alla realizzazione di situazioni più realistiche come, ed esempio, lo scenario intermedio 50%, con la riduzione del 50% delle stampe.

4.2.2. Gestione mail

Una delle attività più intensive che vengono svolte a livello office è l'invio e la ricezione di email: ogni mail generata richiede e usa elettricità, generando di conseguenza delle emissioni. Più precisamente, c'è un rapporto diretto con quanto analizzato nel Cap.1, dal momento che una volta che un'email viene inviata, questa passa nel network, fino ad essere immagazzinata nel data center, il quale consuma grandi quantità di elettricità, generando di conseguenza emissioni importanti. Dunque, una gestione oculata delle mail può portare degli effetti positivi in termini di consumo di energia.

Per valutare qual è l'impatto della sola attività di mailing (gestione delle mail) da parte di un'azienda si riportano i valori stimati da Mike Berners-Lee relativamente al Carbon Footprint delle mail:

- Una mail semplice, costituita da solo testo, genera emissioni per 4 gCO₂eq

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Una mail con allegato avrà un impatto sicuramente maggiore, che viene valutato pari a 50 gCO₂eq [5].

Un altro valore di riferimento è stato fornito da Ademe (Agenzia per la transizione ecologica francese), che ha stimato che una mail con un allegato di 1 MB è responsabile della generazione di 19 gCO₂eq, comprendente sia il consumo energetico del pc che quello dei server coinvolti nel traffico [45].

Considerando il numero di mail che vengono quotidianamente gestite da un singolo dipendente in una giornata di lavoro, nel corso di un anno l'impatto ambientale diventa notevole. Inoltre, dal momento che l'attività di mailing genera emissioni attraverso il consumo di energia, l'impatto dipende dalle fonti utilizzate dall'azienda per la produzione di energia: all'aumentare della presenza di rinnovabili, le emissioni generate dall'invio e traffico delle mail diminuirà. Dunque, definire il valore preciso dell'impatto di una singola email per un'azienda è piuttosto complesso, in quanto il numero di mail è variabile, così come il peso, che dipende fortemente dagli eventuali allegati presenti. È possibile, piuttosto, sfruttare dei valori di riferimento come quelli sopra specificati a cui si aggiunge un altro valore fornito sempre da Ademe che ha stimato che un dipendente, in un anno lavorativo, genera mediamente 136 kgCO₂eq attraverso l'invio quotidiano di 33 email, ciascuna con un impatto pari a 19 gCO₂eq. Questo dato, applicato ad un'azienda con 800 dipendenti che svolgono attività di mailing, può portare ad un impatto notevole, rendendo cruciale intraprendere delle azioni volte alla riduzione del numero di mail scambiate tra i membri dell'organizzazione.

Ci sono due principali policy che possono essere identificate ed attuate a livello aziendale:

- Limitare al minimo l'invio di mail a non valore aggiunto: si fa riferimento a quelle mail che possono essere evitate in quanto non presentano contenuti e informazioni

[5] Berners-Lee M., 2010, *How bad are bananas? The carbon footprint of everything*, Profile Books Ltd., London

[45] ADEME Direction Communication, Formation, Développement, *Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique*, 2011

che necessitano di essere trasferiti da una persona ad un'altra (ruolo attivo del singolo dipendente nell'esecuzione di questa best practice)

- Sfruttare l'utilizzo di piattaforme per la condivisione di file pesanti tra più persone come alternativa all'invio di mail: questo aspetto viene approfondito nel paragrafo seguente.

4.2.3. Condivisione di file pesanti all'interno dell'azienda

Le dimensioni dei documenti possono essere molto elevate, diventando così causa, attraverso il loro invio con posta elettronica, di emissioni importanti. I valori che sono stati determinati da Berners-Lee (4 gCO₂eq per mail semplici e 50 gCO₂eq per mail con allegato) e ADEME (19 gCO₂eq mail con 1 MB di allegato) sono gli unici valori di riferimento che si hanno, tuttavia, spesso, i file che vengono condivisi via mail tra i vari membri di un'azienda possono raggiungere dimensioni ben più importanti (anche 15 MB con associate emissioni) [5] [45]. Inoltre, a partecipare all'impatto ambientale associato alla condivisione di questi file si aggiunge anche l'immagazzinamento dei dati all'interno dei server, utilizzando, dunque, le risorse del data center, come analizzato nel Cap.1.

Una possibilità applicabile alla realtà aziendale che può permettere di ridurre il Corporate Carbon Footprint associato a questa attività è l'utilizzo di una piattaforma sincronizzata con un server condiviso, che permette lo scambio di documenti tra i membri interni all'organizzazione. Il vantaggio è duplice: diminuzione del numero di email inviate (con allegati) e riduzione del numero di copie del documento presenti nei server del data center aziendale.

Per valutare l'impatto della condivisione di file pesanti tramite email internamente all'azienda e degli scenari alternativi è possibile introdurre un modello definito in "Lean ICT – Towards Digital Sobriety", che introduce un caso studio secondo il quale 5 impiegati

[5] Berners-Lee M., 2010, *How bad are bananas? The carbon footprint of everything*, Profile Books Ltd., London

[45] ADEME Direction Communication, Formation, Développement, *Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique*, 2011

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

lavorano su un documento di 1 MB di dimensione, che viene condiviso tra tutte e 5 le persone in 4 versioni successive [46]. Dal momento che questo modello è stato definito nel 2018, si considera il fattore di emissione complessivo europeo più recente definito nel 2020 che è pari a 230,7 kgCO₂eq/kWh [14]. In più, a differenza del modello originario che stimava l'impatto di una mail con allegato di 1 MB pari a 0,3 gCO₂eq, si considera il valore di riferimento definito da ADEME pari a 19 gCO₂eq [45].

I dati che vengono considerati per l'analisi sono i seguenti:

- Numero di persone che lavorano sul documento: 5
- Numero di versioni del documento: 4
- Dimensione del documento: 1 Mb
- Emissioni derivanti dall'invio di una email: 19 gCO₂eq
- Emissioni dovute all'immagazzinamento di una copia del file 0,231 gCO₂eq [14].

Nel modello definito in “Lean ICT – Towards digital sobriety” sono stati individuati 3 scenari diversi:

- Scenario 1 (situazione iniziale): tutte le versioni del documento sono condivise via email. Sono inviati 20 allegati (5 persone x 4 versioni del file), ciascuno dei quali copiati e salvati nel server.
- Scenario 2 (obiettivo realistico): il 50% dei documenti sono scambiati tramite la piattaforma condivisa e il rimanente 50% via email. Dunque, 2 versioni sono trasferite via email, dunque si generano 10 copie (2 versioni x 5 persone). Le altre 2 sono, invece, trasferite mediante piattaforma ed immagazzinate al suo interno, e ciascuna di queste due versioni è copiata una volta. Dunque in totale si hanno 14 copie (10 inviate tramite mail più 4 legate alla piattaforma).

[14] European Environment Agency, *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*, Figure 2 - Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country, <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

[45] ADEME Direction Communication, Formation, Développement, *Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique*, 2011

[46] The Shift Project Working Group, Agence française de développement and the Caisse des Dépôts, *Lean ICT – Towards digital sobriety* -, The Shift Project - The carbon transition think tank, pp. 77 - 79

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Scenario 3 (caso ideale): le 4 versioni sono trasferite esclusivamente tramite piattaforma ed immagazzinate in essa, e ciascuna di queste è copiata una volta, generando in totale 8 copie salvate nel server.

Per ciascun scenario, le emissioni totali associate sono definite con la seguente relazione

$$GHG_{tot} = N_{email} * GHG_{email} + N_{doc} * n_{doc} * GHG_{byte}$$

dove:

- GHG_{tot} è l'impatto totale allo specifico scenario
- N_{email} è il numero totale di email inviate
- GHG_{email} definisce le emissioni di una singola mail (19 gCO₂eq)
- N_{doc} è il numero di copie del documento immagazzinate nel server
- n_{doc} è la dimensione di una copia del documento (1 Mb)
- GHG_{byte} è l'impatto legato all'immagazzinamento di 1 byte di dati nel server [46].

Le ipotesi considerate per questo modello sono le seguenti:

- Ogni persona condivide tutte le versioni del documento (via email o piattaforma)
- Ogni persona salva tutti gli allegati ricevuti nel proprio terminal
- Gli allegati ricevuti sono copiati e salvati una volta sola
- Per ciascun scenario si considerano le emissioni generate dall'invio della mail e dal salvataggio e immagazzinamento della copia del documento
- Lo Scenario 1 viene preso come riferimento iniziale [46].

	Documenti inviati via mail (%)	Numero mail inviate	Numero di copie salvate sul server	Emissioni totali scenario [kgCO ₂ eq]	Variazione emissioni totali
Scenario 1	100	20	20	0,385 kgCO ₂ eq	-
Scenario 2	50	10	14	0,193 kgCO ₂ eq	-49,87%
Scenario 3	0	0	8	0,00185 kgCO ₂ eq	-99,52%

Tabella 4.2: Dettaglio scenari utilizzo piattaforma per condivisione file internamente

[46] The Shift Project Working Group, Agence français de développement and the Caisse des Dépôts, *Lean ICT – Towards digital sobriety* -, The Shift Project - The carbon transition think tank, pp. 77 - 79

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Le riduzioni importanti che si ottengono tra i vari scenari sono individuabili in due contributi alle emissioni: invio di mail e loro allegati, e immagazzinamento delle copie del documento nei server. L'impatto maggiore è dato dall'invio della mail con l'allegato, dunque la riduzione del numero di mail è un elemento cruciale, tuttavia anche la fase di immagazzinamento può essere ottimizzata al fine di ridurre le emissioni, in quanto tramite l'ausilio della piattaforma il numero di copie presente nel server è più basso.

Questo modello valuta la gestione di un solo documento (definito in 4 versioni) tra 5 persone: se si pensa ad una realtà aziendale dove 800 dipendenti inviano e ricevono file pesanti, l'impatto in termini di emissioni può essere notevole, e tale può essere di conseguenza anche il saving che è possibile ottenere mediante lo sfruttamento di piattaforme interne per la condivisione e il trasferimento di file. Per quanto la posta elettronica sia uno strumento molto diffuso ed estremamente utile, si è osservato come questo non sia affatto ad impatto nullo, ma che contribuisce in una certa misura al Corporate Carbon Footprint.

4.2.4. Comunicazione interna: app di messaggistica

Un'altra fonte che contribuisce alla generazione di emissioni è lo scambio di messaggi come forma di comunicazione interna all'organizzazione, oggi più che mai fondamentale, soprattutto con l'avvento della pandemia e della diffusione del lavoro agile. Ciò ha portato ad una modifica importante nelle modalità di interazione tra i membri di un'organizzazione, che oggi sfruttano piattaforme come Skype, Zoom o Teams. Come visto e analizzato per le mail, anche i messaggi che vengono quotidianamente scambiati non sono ad impatto zero, ma generano delle emissioni, contribuendo al Corporate Carbon Footprint. Uno studio ha valutato tre principali app di messaggistica, analizzate sulla base dei gCO₂eq che producono nelle varie attività che le caratterizzano [47].

[47] Derudder K., *Digital sobriety comparison of 3 direct messaging apps for business*
<https://greenspector.com/en/direct-messaging-business-apps/>

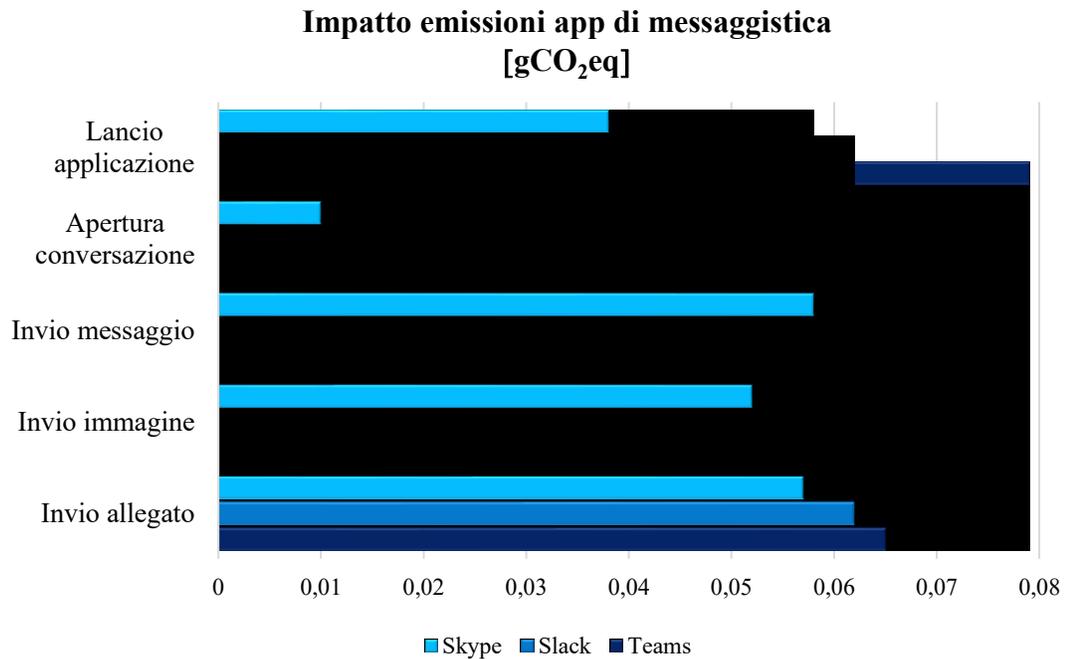


Fig. 4.2: Emissioni di Skype, Slack, Teams categorizzate per attività [gCO₂eq] [49]

Una delle applicazioni maggiormente utilizzate nelle aziende è Skype for Business: si analizzi l'impatto che può avere nell'organizzazione in analisi con 800 dipendenti che usano app di messaggistica, ipotizzando che vengano scambiati esclusivamente messaggi di testo (no immagini o allegati). I tre fattori dell'app di messaggistica Skype for Business che impattano nel corso di un anno all'interno di un'organizzazione sono, di conseguenza, lancio dell'applicazione, apertura delle conversazioni e invio messaggio.

Come caso di studio per un'azienda di 800 dipendenti si considerino le seguenti ipotesi:

- Ogni dipendente viene identificato come un FTE (Full-Time Equivalent), ovvero una risorsa disponibile a tempo pieno per un anno lavorativo quantificato in 220 giorni lavorativi, ciascuno dei quali costituito da 8 ore di lavoro
- Ogni dipendente apre, mediamente, 5 conversazioni al giorno
- Per ciascuna conversazione, ogni dipendente invia un numero medio di messaggi pari a 10.

Si vanno così a quantificare i contributi:

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Lancio dell'applicazione: 800 persone che, ogni giorno, aprono l'app Skype for Business risulta in un totale di 6,7 kgCO₂eq annuali
- L'apertura di 5 conversazioni al giorno da parte di 800 dipendenti impatta annualmente con 8,8 kgCO₂eq
- L'invio di 10 messaggi per ciascuna delle 5 conversazioni aperte, a livello complessivo aziendale genera 510,4 kgCO₂eq.

Fig. 4.3 mostra l'impatto globale dell'organizzazione in relazione all'attività di messaggistica interna, che è responsabile della generazione di 525,9 kgCO₂eq nel corso dell'anno.

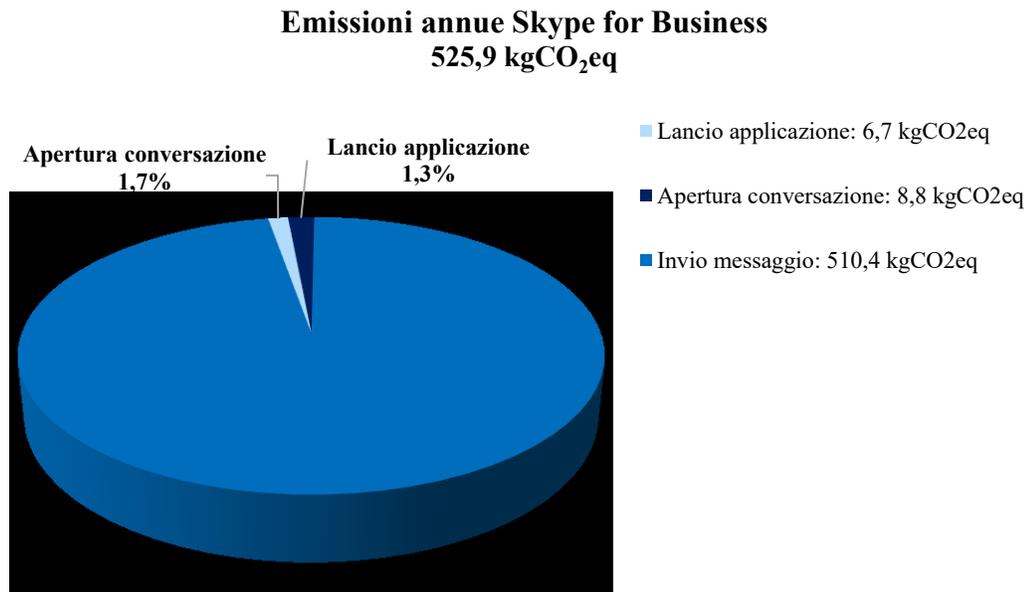


Fig. 4.3: Emissioni annue Skype for Business applicate al caso studio

In Fig. 4.4 si riportano invece i valori delle emissioni delle applicazioni di messaggistica analizzate in relazione alle componenti “Lancio applicazione”, “Apertura conversazioni” e “Invio messaggi”: si osserva che Slack è l'app che permette un maggior risparmio in termini di CO₂eq, dovuto soprattutto al minor valore unitario delle emissioni dovute all'invio di un messaggio (0,04 gCO₂eq, rispetto ai 0,058 gCO₂eq di Skype e i 0,056 gCO₂eq di Teams).

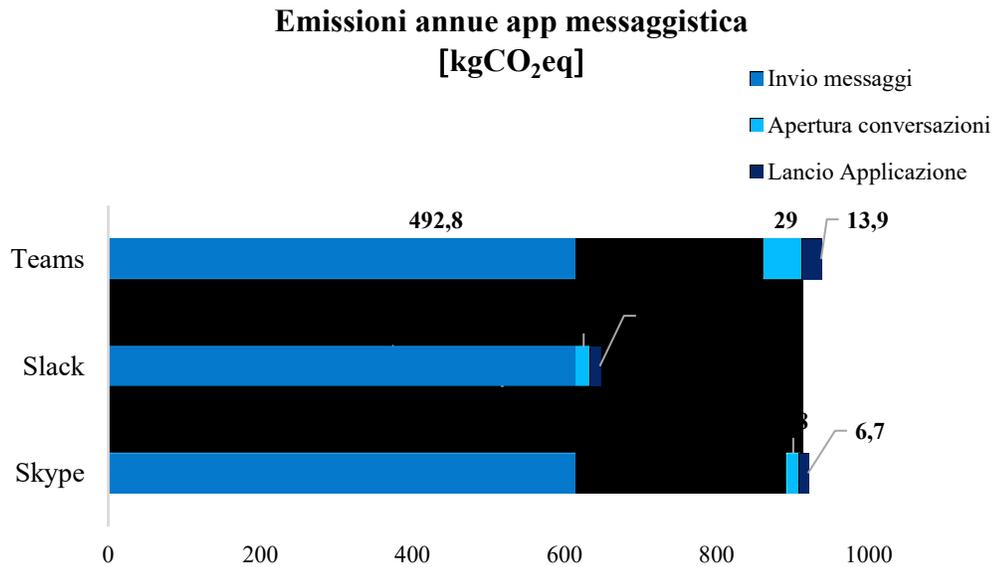


Fig. 4.4: Emissioni associate all'utilizzo delle App di messaggistica al caso studio

4.2.5. Best practice di gestione energetica dei dispositivi

L'ultimo aspetto che si va a valutare riguarda l'esecuzione di alcune best practice relative ad un'attenta gestione dei dispositivi dal punto di vista del consumo energetico.

Questo è un fattore che viene, spesso, sottovalutato ma se si vanno a sommare i potenziali contributi di ciascun singolo dipendente e delle sue azioni relativamente, ad esempio, allo spegnimento del monitor alla fine della giornata o della settimana lavorativa, allora l'effetto positivo che ne può conseguire per l'organizzazione e per l'ambiente può essere molto rilevante. È importante, dunque, che ogni membro dell'organizzazione abbia consapevolezza dell'importanza e dell'impatto che azioni a costo zero possono avere se inserite in un contesto ampio come quello dell'azienda: anche questo può essere un contributo importante alla riduzione del Corporate Carbon Footprint. Si osservano ora le principali best practice.

- Spegnimento dei dispositivi, principalmente laptop e monitor, ma anche tutti i device ad essi collegati che generano consumo energetico, al termine della giornata o della settimana lavorativa

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Spegnere il monitor quando non lo si usa per più di 15 minuti (quando si è in pausa o, più in generale, quando si abbandona temporaneamente la postazione di lavoro)
- Nelle pause più lunghe di 15 minuti (pausa pranzo) spegnere almeno il monitor e chiudere lo schermo del laptop in modo da non consumare energia attraverso lo screensaver (se possibile spegnere anche il laptop)
- Disattivare lo screensaver: il salvaschermo non permette un risparmio energetico, al contrario rappresenta un consumo a tutti gli effetti
- In caso di lavoro agile, se si sta lavorando via VPN, disconnetterla nei periodi di pausa
- Non lasciare il laptop in carica quando la batteria è al 100%
- Ottimizzare la luminosità dello schermo: non è sempre necessario tenere il 100% di luminosità
- In generale, spegnere tutti quei dispositivi che non vengono frequentemente utilizzati come proiettori o maxi schermi nelle sale riunioni.

Queste best practice sono applicabili da ogni dipendente dell'azienda, che ha, dunque, la responsabilità di contribuire alla riduzione del Corporate Carbon Footprint attraverso l'esecuzione di azioni a costo zero, ma con un importante risvolto in termini di emissioni. In questo senso, un ruolo fondamentale è svolto dall'azienda – intesa come team leader – che ha il compito di diffondere una cultura green, in particolare infondendo consapevolezza dell'importanza dell'applicazione delle best practice volte alla riduzione del consumo di energia e, dunque, delle emissioni.

4.3. Il ruolo della (grande) azienda

Tutte le policy e best practice, come detto, sono responsabilità di ogni singolo dipendente, ma è necessario un'azione di coordinamento e la definizione di una strategia a livello aziendale.

Un primo passo che un'azienda può compiere è creare un Sustainable Team (o Green Team) dedicato, ovvero un gruppo di dipendenti che si riunisce periodicamente allo scopo di identificare delle opportunità, finalizzate a migliorare la sostenibilità dell'organizzazione,

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

e di sviluppare azioni e soluzioni per raggiungere determinati obiettivi. Questo Sustainable Team si concentra su due principali aree di responsabilità: operativa e culturale.

La prima area riguarda lo sviluppo di strategie volte all'aggiornamento di policy e processi che riducono l'impatto ambientale e aumentano l'efficienza dell'azienda. La seconda, invece, è incentrata sulla creazione di una cultura green attraverso la partecipazione e l'educazione dei dipendenti, che, come già anticipato, svolgono un ruolo attivo nella riduzione dell'impatto ambientale dell'azienda attraverso l'esecuzione di best practice e il rispetto delle policy.

Dal momento che le opportunità finalizzate ad aumentare la sostenibilità aziendale possono riguardare vari aspetti dell'azienda, è necessario che il team di sostenibilità abbia come propria caratteristica quella di essere cross-functional, dunque, al suo interno devono confluire persone provenienti da diverse funzioni aziendali: nel caso studio di questa tesi un ruolo rilevante sarebbe svolto dal membro del team appartenente al reparto ICT per l'analisi e l'implementazione di soluzioni per l'aumento dell'efficienza dei data center, la definizione di pratiche di circular economy dei prodotti, nonché di policy e best practice relativamente alle attività quotidiane di ogni dipendente. Affinché il Sustainable Team possa essere efficace è necessario:

- Avere il supporto del Top Management
- Individuare l'attuale posizione dell'azienda e definire chiaramente gli obiettivi
- Definire e rispettare la frequenza dei meeting
- Comunicare le azioni da intraprendere e i risultati raggiunti
- Coinvolgere i dipendenti nella partecipazione alle azioni sostenibili definite.

Un altro fattore che l'azienda può prendere in considerazione è l'utilizzo di strumenti di misurazione e controllo delle performance dei dipendenti relativamente al rispetto delle policy e best practice definite in questo capitolo.

Un primo semplice strumento possono essere le checklist, ovvero elenchi che specificano le policy e le best practice che ogni membro dell'organizzazione deve quotidianamente rispettare.

Un altro concetto che si può introdurre come supporto è il cosiddetto "environmental auditing" o "contabilità aziendale", definito come uno strumento di gestione ambientale che

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

permette di misurare l'effetto di certe attività sull'ambiente rispetto a determinati criteri e standard [48]. Questi audit sono usati per controllare ed aiutare a migliorare determinate attività. Possono esserci molte versioni differenti di questi audit, in questo caso tale strumento può essere utilizzato per verificare l'esecuzione di determinate attività internamente all'azienda – policy e best practice – da parte dei membri dell'organizzazione e verificarne la performance rispetto agli standard definiti, il tutto finalizzato alla riduzione dell'impatto ambientale complessivo.

[48] Sheate W., *Unit One: Introduction to Environmental Auditing and Management*, Environmental Auditing & Environmental Management Systems, pp. 18, https://www.soas.ac.uk/cedep-demos/000_P508_EAEMS_K3736_Demo/module/topindex.htm#

5. Un problema globale

In questa tesi l'attenzione è stata rivolta su un caso aziendale, definendo e analizzando le emissioni legate alla parte ICT dell'organizzazione e delle possibili soluzioni che possono essere applicate al fine da ridurre il Corporate Carbon Footprint.

Tuttavia, è interessante sottolineare che il Sustainable IT è un ambito di interesse su scala globale, e l'analisi condotta per l'organizzazione in oggetto è estendibile su scala globale osservando come l'impatto complessivo sia veramente notevole, e che la sostenibilità dell'IT è un tema che necessita di una forte adesione il prima possibile, altrimenti i ritmi in termini di consumo di energia e di emissioni non saranno più sostenibili. È fondamentale che ogni azienda definisca una strategia volta al raggiungimento della sostenibilità IT, che, come visto, con le sue varie espressioni (data center, hardware, attività), partecipa in maniera importante al Corporate Carbon Footprint.

Per avere un'idea dell'impatto dell'IT a livello globale, si riportano una serie di dati che aiutano a capire la dimensione del problema analizzato.

Lato energia, nel 2018 è stato definito un consumo da parte dei data center presenti nel mondo pari a 205 TWh, ovvero l'1% della domanda energetica globale [10]. Va sottolineato il fatto, come già analizzato nel Cap.1, che le fonti per la produzione di energia si distinguono tra combustibili fossili e rinnovabili, con queste ultime che possono ridurre notevolmente l'impatto rispetto a petrolio, gas naturale e carbone. È ancora piuttosto complesso quantificare l'impatto in termini di emissioni di CO₂eq, ma secondo Pearce (2018), i data center a livello globale emettono una quantità di CO₂eq pari all'industria aeronautica globale, ovvero all'incirca 900 miliardi kgCO₂eq (Air Transport Action Group 2020) [49] [50]. Numeri sicuramente elevati, che trovano supporto anche nella quantità di server: nel 2020 è stata stimata la presenza nel mondo di 89 milioni di server, dei quali

[10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291

[49] Pearce F., *Energy Hogs: Can World's Huge Data Centers Be Made More Efficient?*, Yale Environment 360, <https://e360.yale.edu/features/energy-hogs-can-huge-data-centers-be-made-more-efficient>

[50] *Air Transport Action Group (2020). Facts and Figure.* <https://www.atag.org/facts-figures.html>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Google ne possiede 900.000 (per dare una misura delle dimensioni e dell'impatto dei Cloud Service Provider).

Un'altra categoria di dati da osservare per capire più a fondo l'impatto globale dell'IT è quello dei dispositivi elettronici. Due dati danno l'idea della dimensione:

- Il numero di dispositivi connessi è previsto aumentare, raggiungendo i 55,7 miliardi entro il 2025
- Nel 2019 sono stati generati 53,6 milioni di tonnellate di e-waste nel mondo, un valore in aumento del 21% rispetto a 5 anni prima e che è previsto crescere ancora raggiungendo 74 milioni di tonnellate entro il 2030 [4].

Queste due informazioni sono sufficienti per comprendere l'importanza delle politiche di circular economy sì per le aziende e le organizzazioni, ma anche a livello generale per ogni singolo cittadino. Margine per un intervento positivo su questo aspetto c'è, dal momento che, attualmente, a livello internazionale solo il 15-20% dell'e-waste è riciclato [41].

Nel 2021 Statista ha stimato che le spedizioni (e dunque gli acquisti) relativamente ai laptop sono aumentate del 9,9%, raggiungendo il valore di 339,8 milioni, generando così un impatto a monte in termini di aumento di emissioni per quanto riguarda le fasi di estrazione, lavorazione, produzione e spedizione [51]. Sempre relativamente ai dispositivi elettronici, Statista ha stimato che le persone che possiedono (almeno) uno smartphone nel 2021 sono 6,259 miliardi, ovvero circa l'80% dell'intera popolazione mondiale [52].

Un dato incredibile sull'invio di mail, una delle attività maggiormente intensive svolte a livello aziendale ma anche privato da ogni persona quotidianamente, è offerto sempre da

[4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*

[41] Earth911, *What Happens to E-waste When It Gets Recycled?*, 26 Luglio 2021, <https://earth911.com/business-policy/what-happens-to-e-waste-when-it-gets-recycled/>

[51] Statista, *PCs – statistics & facts*, https://www.statista.com/topics/1070/pcs/#topicHeader_wrapper

[52] Statista, *Number of smartphone subscriptions worldwide from 2016 to 2027*. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Statista: nel 2021 si parla di 319,6 miliardi di mail inviate e ricevute giornalmente a livello globale, valore che è previsto crescere di anno in anno, fino a raggiungere i 376,4 miliardi nel 2025 [53]. Questo dato, analizzato insieme ai valori di emissioni delle mail viste nel Cap.3 (4 gCO₂eq con solo testo, 19 gCO₂eq e 50 gCO₂eq con allegato) evidenzia come l'impatto ambientale annuale della sola attività di mailing sia quasi inestimabile.

Ciascuno dei tre elementi analizzati in questa tesi (data center, prodotti, processi) presenta delle opportunità per la riduzione del Corporate Carbon Footprint attraverso l'applicazione di specifiche tecnologie, best practice o policy. E' importante, però, sottolineare ancora una volta che tutte le soluzioni che, se applicate, permettono di ridurre le emissioni generate, vanno viste come uno step in più rispetto a ciò che è stato fatto ieri, ma soprattutto uno in meno rispetto a quello che si farà domani: in accordo con il II° principio della termodinamica, infatti, il consumo di energia non potrà mai essere nullo, ma, attraverso l'innovazione e l'introduzione di nuove soluzioni, può essere progressivamente ridotto step by step, come un processo di continuous improvement.

[53] Statista, *Number of sent and received e-mails per day worldwide from 2017 to 2025*. <https://www.statista.com/statistics/456500/daily-number-of-e-mails-worldwide/>

6. Conclusioni

Il percorso verso la sostenibilità dell'IT aziendale può essere, quindi, articolato nei tre elementi analizzati: data center, hardware, attività d'ufficio. Ciascuno di questi ha delle importanti opportunità di miglioramento finalizzate alla riduzione del Carbon Footprint.

Per quanto riguarda il primo elemento, per l'azienda analizzata si consideri come stato di partenza un data center on-premises che sfrutta il raffreddamento ad aria caratterizzato da un sistema di contenimento del corridoio caldo, che permette di separare il flusso di aria calda da quello di aria fredda, al fine di aumentare l'efficienza.

Dato questo As-Is di partenza, l'azienda può analizzare delle opportunità alternative che consentano un'ulteriore riduzione delle emissioni legate al data center. Si evidenziano due principali macro-categorie:

- Continuare ad avere un data center in-house a cui si associano delle soluzioni innovative che ne aumentino l'efficienza
- Passare ad una soluzione Cloud, affidando la gestione dei propri servizi IT ad un Cloud Service Provider.

La valutazione dell'azienda richiede di considerare i seguenti elementi:

- Località: è l'elemento che può incidere maggiormente nell'aumento dell'efficienza dei data center, in base allo specifico fattore di emissione [gCO₂eq/kWh] e all'energy source mix
- Tecniche di raffreddamento: qual è il risparmio associato all'introduzione di nuove soluzioni nel data center on-premises (come il liquid cooling) confrontato con le tecniche in uso nei data center hyperscale (AWS, Azure, Google)
- Sfruttamento del calore di scarto: l'azienda deve valutare nuove possibilità di sfruttamento del calore, ai fini di aumentare l'efficienza complessiva del data center

Risulta piuttosto complesso comparare le emissioni del data center on-premises rispetto alla quota di emissioni dell'hyperscale associata all'azienda stessa. Quello che è necessario, invece, è scomporre l'analisi negli elementi sopra definiti e valutarne uno ad uno nel

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

dettaglio osservando quello che offre la soluzione on-premises rispetto a ciò che offre lo specifico Cloud Service Provider considerato.

Il secondo elemento riguarda gli hardware che caratterizzano una tipica postazione di lavoro, dunque principalmente laptop, monitor, mouse e tastiera.

Data una situazione iniziale nella quale ogni 4 anni gli hardware vengono dismessi e sostituiti con altrettanti di nuovi, per ridurre il Carbon Footprint è necessario introdurre delle pratiche di circular economy al fine di aumentare il lifespan dei prodotti. Nel Capitolo 2 sono stati presentati due scenari relativamente al laptop:

- Il Baseline scenario, che prevede l'acquisto di nuovi hardware ogni 4 anni e la dismissione di quelli in uso
- Il Circular scenario, secondo il quale al termine dei primi 4 anni vengono previste delle politiche di estensione del lifetime dei prodotti.

Come mostrato in Fig. 6.1, il risparmio conseguibile con il ricorso a pratiche circolari è pari a circa il 32%, con il saving principale legato al fatto che nel II° periodo del Circular scenario vengono evitate le emissioni associate all'intero processo produttivo.

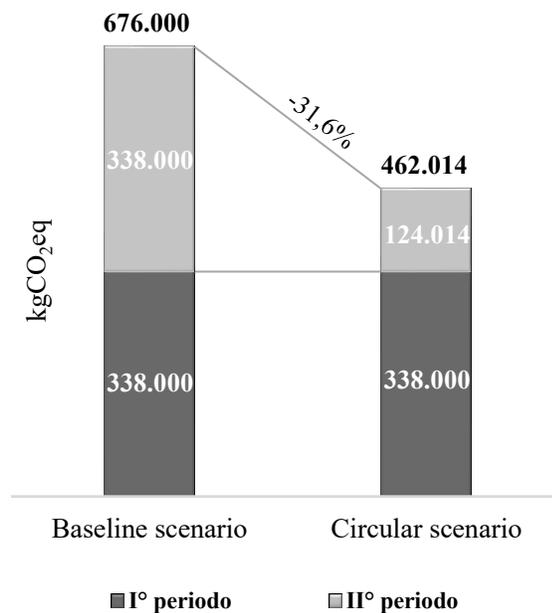


Fig. 6.1: Confronto Baseline scenario vs Circular scenario e associata riduzione delle emissioni in %

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

Il terzo ed ultimo macro elemento ha trattato, infine, le attività d'ufficio maggiormente intensive dal punto di vista della generazione di emissioni.

In prima battuta è stato valutato il concetto di Paperless Office, osservando che una riduzione nell'utilizzo di carta può consentire una riduzione dell'impatto ambientale sia per quanto riguarda la carta stessa (relativamente al Life Cycle Assessment, dunque l'intero ciclo vita dalla produzione all'end of life) sia per l'elettricità, in quanto stampanti e plotter sono molto energivori e riducendo l'utilizzo di carta si riduce anche la componente elettrica associata a tali dispositivi. Gli output dell'analisi hanno dimostrato che:

- Un passaggio dal Paper Office al 50% Scenario permette una riduzione di emissioni del 55,6%
- Un passaggio dal Paper Office al Paperless Office permette un taglio delle emissioni dell'89%.

Un'altra attività molto intensiva svolta dai membri di un'organizzazione è quella di mailing: l'impatto annuale legato all'invio e ricezione di mail in un contesto aziendale come quello analizzato risulta importante, dal momento che una mail può generare, 4, 19, 50 gCO₂eq (riferimenti ufficiali) in base alla presenza o meno di allegati e al loro peso.

L'impatto delle mail è legato principalmente al fatto che, internamente, ad un'azienda la posta elettronica viene usata come mezzo per il trasferimento di file pesanti. Una policy che permette di ridurre nettamente il taglio di emissioni associate a tale attività prevede il ricorso ad una piattaforma condivisa per il trasferimento di file pesanti. L'analisi è stata condotta considerando un documento di 1 MB, definito in 4 versioni e scambiato tra 5 persone. La riduzione delle emissioni è legata a due fattori:

Considerato uno scenario iniziale in cui il 100% dei documenti veniva scambiato via mail, sono stati definiti altri due scenari che hanno condotto ai seguenti output:

- Scenario 2 (50% documenti inviati via mail e 50% tramite piattaforma): rispetto allo scenario iniziale si ha una riduzione delle emissioni del 49,87%, passando da 0,385 kgCO₂eq a 0,193 kgCO₂eq

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- Scenario 3 (100% documenti scambiati tramite piattaforma): comparato allo Scenario 1 le emissioni sono ridotte del 99,52% (da 0,385 kgCO₂eq a 0,00185 kgCO₂eq).

L'ultima attività che contribuisce al Carbon Footprint è quella di messaggistica interna all'organizzazione tramite app quali Skype, Slack, Teams. Considerando che l'azienda del caso studio utilizza Skype for Business, ipotizzando 5 che ogni dipendente apre 5 conversazioni al giorno, per ciascuna delle quali invia 10 messaggi, 220 l'anno, le emissioni generate a livello corporate sono pari a 525,9 kgCO₂eq. In questo caso ogni persona dell'organizzazione svolge un ruolo attivo nella riduzione delle emissioni, evitando di mandare messaggi a non valore aggiunto che producono CO₂ inutilmente. A questa best practice, l'azienda può anche associare la sostituzione dell'app di messaggistica con una soluzione a minor impatto (come ad esempio Slack, tra i casi analizzati).

Bibliografia

- [1] The World Bank, *Total greenhouse gas emissions (kt of CO₂ equivalent)* <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>
- [2] Our World In Data, *Renewable Energy*, <https://ourworldindata.org/renewable-energy#:~:text=Globally%20we%20see%20that%20hydropower,power%20are%20both%20growing%20rapidly.>
- [3] Our World In Data, *Emissions by sector*, <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [4] Capgemini Research Institute, *Sustainable IT, Why it's time for a Green revolution for your organization's IT*, 2021
- [5] Berners-Lee M., 2010, *How bad are bananas? The carbon footprint of everything*, Profile Books Ltd., London
- [6] The Shift Project Working Group, Agence française de développement and the Caisse des Dépôts, *Lean ICT – Towards digital sobriety -, The Shift Project - The carbon transition think tank*
- [7] HP Development Company LP, *Product carbon footprint, HP 17 Laptop PC*
- [8] Dell, *Estimation product carbon footprint, Dell Precision 7760*
- [9] Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J., *Recalibrating global data center energy-use estimates*, Science, vol. 367, pp. 984-986
- [10] Koot M., Wijnhoven F., *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, Applied Energy, vol. 291
- [11] Lawrence A., Uptime Institute, *Is PUE actually going UP?*, <https://journal.uptimeinstitute.com/is-pue-actually-going-up/>, 2019
- [12] Shehabi A., Smith S., Sartor D., Brown R., Herllin M., Koomey J., Masanet E., Horner N., Azevedo I., Lintner W., *United States Data Center Energy Usage Report*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, pp. 32, pp. 30-37
- [13] United Nations Economic Commission for Europe, *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*, pp. 8
- [14] European Environment Agency, *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*, Figure 2 - Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country, <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

- [15] Carbon Disclosure Project, *2021 Cities Energy Mix*, <https://data.cdp.net/Renewable-Energy/2021-Cities-Energy-Mix/n62b-wt5j>
- [16] Data aire, *How to use ASHRAE Data Center Cooling Standards*, 4 Maggio 2021. <https://www.dataaire.com/how-to-use-ashrae-data-center-cooling-standards/>
- [17] Cho J., Kim Y., *Improving energy efficiency of dedicated cooling system and its contribution towards meeting an energy-optimized data center*, Applied Energy, vol. 165, pp. 967- 982
- [18] Orò E., Depoorter V., Pflugradt N., Salom J., *Overview of direct air free cooling and thermal energy storage potential energy savings in data centres*, Applied Thermal Engineering, vol. 85, pp. 100-110
- [19] Lee K., Chen H., *Analysis of energy saving potential of air-side free cooling for datacenters in worldwide climate zones*, Energy and Buildings, vol. 64, pp. 103-112
- [20] Zafarana W., *Freecooling, evaporative and adiabatic cooling technologies in data center*, Vertiv
- [21] *Understanding Data Center Liquid Cooling Options and Infrastructure Requirements*, White paper Vertiv
- [22] Submer, *Immersion Cooling*, 2022, <https://submer.com/immersion-cooling/>
- [23] Kumar R., Khatri S. K., Divàn M. J., *Effect of Cooling Systems on the Energy Efficiency of Data Centers: Machine Learning Optimisation*, 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), pp. 596 - 600
- [24] Luo Y., Andresen J., Clarke H., Rajendra M., Maroto-Valer M., *A decision support system for waste heat recovery and energy efficiency improvement in data centres*, Applied Energy, vol. 250, pp. 1217-1224
- [25] Barroso L.A., Hoelzle U., Ranganathan P., *The Datacenter as a Computer: Designing Warehouse-Scale Machines*, Morgan & Claypool Publishers, Third Edition, pp. 108
- [26] Subramanian S., Casemore B., *Enabling More Agile and Sustainable Business Through Carbon-Efficient Digital Transformations*, IDC White paper sponsored by VMware
- [27] Emad O., Aiello M., *Data Center Simulator for Sustainable Data Center*, Master thesis Computer Science – STE
- [28] *Climate Neutral Data Center Pact – Self Regulatory Initiative*, White paper

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- [29] University of Michigan, *Life Cycle of a Computer*, <https://sustainablecomputing.umich.edu/knowledge/life-cycle.php>
- [30] Rete clima, *LCA – Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita)*, <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>
- [31] Circular Computing, *What is the carbon footprint of a laptop?*, <https://circularcomputing.com/news/carbon-footprint-laptop/>
- [32] Lenovo, *Lenovo Product Carbon Footprint (PCF) Information Sheet ThinkVision T24i-10/P24i -10*, White paper
- [33] Apple, *Product Environmental Report iPhone 11*, White paper
- [34] Logitech, *Carbon footprint pro wireless gaming mouse*, White paper
- [35] Logitech, *Carbon footprint g213 prodigy rgb gaming keyboard*, White paper
- [36] Circular Computing, *The circular remanufacturing process*, <https://circularcomputing.com/remanufacturing-process/>
- [37] Circular Computing, *What is sustainable IT? Understanding sustainable information technology*, <https://circularcomputing.com/what-is-sustainable-it/>
- [38] Pcexchange, *Computer Refurbishing Process: A Complete Overview*, <https://www.pcexchange.com/blog/computer-refurbishing-process-a-complete-overview/>
- [39] Foxway, *Giving new life to old laptops: Estimating the positive impact of Foxway using the handprint approach*, Foxway Handprint report 2021
- [40] Logitech, *Sustainable Report Full Year 2021*, pp. 27, pp. 32-33 <https://www.logitech.com/content/dam/logitech/en/sustainability/pdf/resources/sustainability-report-fy21-aw-spreads.pdf>
- [41] Earth911, *What Happens to E-waste When It Gets Recycled?*, 26 Luglio 2021, <https://earth911.com/business-policy/what-happens-to-e-waste-when-it-gets-recycled/>
- [42] Jackson S. E., Ones D. Z., Dilchert S., Kraiger K., *Managing human resources for environmental sustainability*, Chapter 5, pp. 87
- [43] Panizzolo R., *La gestione del miglioramento continuo (Continuous Improvement) nei sistemi Lean*, “Slide Continuous Improvement” del corso *Gestione snella dei processi*
- [44] Kim J., Kim Y., Oh S., Kim T., Lee D., *Estimation of environmental impact of paperless office based on simple model scenarios*, International journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, Vol. 12, N°1, pp. 44-60

Il ruolo dell'ICT nel Corporate Carbon Footprint

- [45] ADEME Direction Communication, Formation, Développement, *Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique*, 2011
- [46] The Shift Project Working Group, Agence française de développement and the Caisse des Dépôts, *Lean ICT – Towards digital sobriety - , The Shift Project - The carbon transition think tank*, pp. 77 - 79
- [47] Derudder K., *Digital sobriety comparison of 3 direct messaging apps for business* <https://greenspector.com/en/direct-messaging-business-apps/>
- [48] Sheate W., *Unit One: Introduction to Environmental Auditing and Management*, Environmental Auditing & Environmental Management Systems, pp. 18, https://www.soas.ac.uk/cedep-demos/000_P508_EAEMS_K3736/Demo/module/topindex.htm#
- [49] Pearce F., *Energy Hogs: Can World's Huge Data Centers Be Made More Efficient?*, Yale Environment 360, <https://e360.yale.edu/features/energy-hogs-can-huge-data-centers-be-made-more-efficient>
- [50] Air Transport Action Group (2020). *Facts and Figure*. <https://www.atag.org/facts-figures.html>
- [51] Statista, *PCs – statistics & facts*, https://www.statista.com/topics/1070/pcs/#topicHeader__wrapper
- [52] Statista, *Number of smartphone subscriptions worldwide from 2016 to 2027*. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- [53] Statista, *Number of sent and received e-mails per day worldwide from 2017 to 2025*. <https://www.statista.com/statistics/456500/daily-number-of-e-mails-worldwide/>

RINGRAZIAMENTI

Un primo ringraziamento lo vorrei dedicare al Professor Boschetti e alla Professoressa Danese, che, con grande disponibilità e professionalità, hanno accettato di supportarmi in questa sfida nonostante fosse un campo nuovo da esplorare.

Un ringraziamento particolare a Lorenzo, Pier Paolo e Stefano per avermi seguito in questo percorso di tesi e avermi dato la possibilità di effettuare questo percorso nell'azienda che è il sogno di una vita e per la quale sarò pronto a dare il massimo finché ce ne sarà l'opportunità.

Un ringraziamento a tutta l'Università di Padova, che ha rappresentato in questi anni un punto importante della mia vita offrendomi un percorso che rifarei ad occhi chiusi.

Ringrazio tutti gli amici e tutti i parenti: anche se non lo potete immaginare, da ognuno di voi ho cercato di prendere qualcosa e renderlo parte di me. Proprio per questo motivo sono contento ed orgoglioso di condividere insieme a voi questo traguardo, di cui ciascuno è un singolo pezzo che insieme agli altri va a completare un puzzle. Come voi avete dato qualcosa a me, spero di aver fatto altrettanto con voi.

Un ringraziamento più che speciale ad Anna: le parole non sono mai troppe, ma non sempre servono perché non spiegherebbero a sufficienza. Mi accompagna da anni nel mio percorso e nelle mie sfide, universitarie e non: Grazie di tutto. Ora, però, tocca a te, ti stiamo aspettando tutti. Non mollare, ci sei quasi.

E non può mancare un grazie alle due persone senza cui non sarei qui oggi: mamma e papà. Il mio percorso è iniziato grazie a voi ed insieme a voi: voi avete vissuto tutto con me, e mi avete vissuto. Ma allo stesso modo io ho vissuto voi, cercando di imparare giorno dopo giorno qualcosa e di far mio tutto quello che avete provato a passarmi. Questa non è solo la mia festa ma è anche la vostra.

Un ringraziamento conclusivo a chi c'è, a chi c'è stato e a chi vorrà esserci, perché quello da vivere insieme non è tanto il traguardo, ma il percorso che ci ha portato fino ad esso.

E adesso sotto con le prossime sfide, avanti tutta.

Pier