

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE
"GUGLIELMO MARCONI"

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

STIMA DELL'IMPATTO AMBIENTALE DELLE TECNOLOGIE
DELL'INFORMAZIONE E DELLA COMUNICAZIONE

Elaborato in
Principi fisici per il monitoraggio energetico e ambientale

Relatore
Prof. Massimo Andretta

Presentata da
Filippo Manzi

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1. Introduzione.....	3
2. Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione	6
2.1 Definizione e storia.....	6
2.2 ICT in Italia e nel mondo.....	8
3. Valutazione Impatto Ambientale	11
3.1 Life Cycle Assesment, LCA	11
3.2 Carbon Footprint e i Gas effetto serra	13
4. Valutazione Impatto Ambientale delle ICT.....	17
4.1 Carbon Footprint di un E-mail.....	17
4.2 Carbon Footprint di ricerca con Google	18
4.3 Carbon Footprint dello streaming video	18
4.4 Carbon Footprint delle cryptocurrencies	19
4.5 Carbon Footprint dello smartphone	21
4.6 Carbon Footprint dei Data Center e reti di trasmissione dati.....	23
4.7 Total Footprint delle Tecnologie dell'informazione e della comunicazione.....	24
5. Confronto di Sistemi Tradizionali e Innovativi	29
5.1 Carbon Footprint Lettera rispetto alle E-mail.....	29
5.2 Libri e Libri Digitali.....	30
5.3 Dematerializzazione dei documenti.....	31
5.4 Telelavoro.....	33
5.5 E-Health.....	35
5.6 Smart Agricolture e l'agricoltura di precisione	37
5.7 Smart Mobility.....	38
6. Regolamentazioni e Metodi di Analisi.....	40
6.1 Regolamentazioni e Standardizzazioni.....	41
6.2 Strumenti di valutazione ambientale delle ICT della Commissione Europea	43
7. Conclusioni.....	45
8. Sitografia:.....	48

1. INTRODUZIONE.

“Gli esseri umani continuano ad abusare del mondo naturale. Saccheggiamo in maniera incosciente le risorse della Terra, ne deprediamo la natura e trattiamo aria, terra e mari come discariche. Ecosistemi cruciali e catene alimentari sono all’orlo del collasso. [...] Dobbiamo mettere un termine alla nostra guerra contro la natura e agire per guarirla. Questo significa una coraggiosa azione per il clima che limiti il rialzo della temperatura a 1,5 gradi Celsius e si adatti ai cambiamenti futuri. Ciò significa anche misure più energiche a tutela della biodiversità. E significa, infine, ridurre l’inquinamento costruendo economie circolari che diminuiscano lo spreco. Sono passi che salveranno la sola casa che abbiamo e creeranno milioni di nuovi posti di lavoro.” [1]

(Antonio Guterres, Segretario Generale delle Nazioni Unite, per la cinquantunesima giornata della terra.)

Nel nuovo secolo l’uomo sta cercando di affrontare le problematiche del cambiamento climatico, che purtroppo sta già provocando fenomeni di frequenza ed intensità mai visti nella storia umana. Agli attuali ritmi di emissioni di gas serra nell’atmosfera, le Nazioni Unite prevedono che l’aumento della temperatura media globale arriverà a 4°C nel 2100. [2]

L’aumento delle temperature porta a diverse problematiche, in alcune regioni del mondo si avranno fenomeni di desertificazione, mentre in altre si avrà l’innalzamento del livello dei mari, dato dallo scioglimento dei ghiacciai; inoltre aumenteranno i fenomeni meteorologici estremi, i cambiamenti nella circolazione atmosferica ed oceanica ed addirittura l’acidificazione proprio degli oceani dovuta dall’assorbimento della CO₂.

Nel 2015 fu stipulato l’Accordo di Parigi, poi, firmato da 195 paesi, in cui i detti firmatari si sono posti un importante obiettivo a lungo termine, ovvero quello di contenere

l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto della soglia di 2°C oltre i livelli preindustriali, e di limitare tale incremento a 1,5°C.

Fra i diversi metodi per riuscire in questo progetto ambizioso, vi è quello di sfruttare il settore, molto vasto, delle ICT, Information and Communications Technologies, ovvero l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati ed informazioni.

La Global e-Sustainability Initiative (GeSI) è una organizzazione strategica del settore ICT, che si impegna nel creare e promuovere tecnologie e pratiche digitali che favoriscono la sostenibilità economica, ambientale e sociale; essa sostiene che le ICT abbiano il potenziale per ridurre le emissioni globali di gas serra del 20% entro il 2030, aiutando le aziende ed i consumatori ad utilizzare e risparmiare energia in modo più intelligente. Infatti, GeSI, nel 2015 ha redatto un report, SMARTer2030 per dimostrare proprio come le iniziative ICT possano migliorare la qualità della vita umana a livello globale entro il 2030. Nel documento viene spiegato come grazie alla tecnologia in questione si può aumentare la resa delle colture agricole del 30%, risparmiare oltre 300 trilioni di litri di acqua e 25 miliardi di barili di petrolio all'anno [3]. Si deve tener conto, però, che in questo ambito si manifesta il paradosso di Jevons, per cui i miglioramenti di efficienza di una tecnologia, intesi sia dal punto di vista di produzione che gestione, faranno presto aumentare la domanda, comportando un aumento di diffusione con cui poi aumenteranno i consumi generali.

Com'è intuibile, le ICT richiedono una grande quantità di energia e questo fa sì che il settore sia oggi una considerevole fonte di emissioni globali di gas a effetto serra. Proprio per questo motivo occorre monitorare l'impatto del settore e lavorare ad una progettazione sostenibile e con maggior consapevolezza. Il programmatore olandese, Danny Van Kooten, lavora proprio in questa direzione, e, in una intervista sulla rivista scientifica Wired, racconta di come, avendo ridotto un suo plug-in di 20 KB, stimi di un taglio di emissioni di CO₂ mensile, di 59.000 chilogrammi, visto il largo uso di esso nei siti web. Nel medesimo articolo viene riportato che l'azienda energetica britannica Ovo ha stimato l'impronta di carbonio delle e-mail del paese, giungendo alla conclusione che se ogni adulto del Regno Unito inviasse un'e-mail di ringraziamento in meno al giorno, si avrebbe un taglio di circa 16 tonnellate di CO₂[4].

Per fare una stima dell'impatto ambientale delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione è necessario valutare i consumi energetici e le emissioni di anidride carbonica equivalenti ad esso correlate, considerando tutto l'intero ciclo vitale delle

infrastrutture legate al settore, dallo smartphone al computer, passando per i data center.

L'obiettivo principale di questa tesi è appunto, quello di analizzare la letteratura ed i dati al fine di valutare l'impatto ambientale del settore ICT, dal punto di vista delle emissioni di gas serra e del consumo energetico stimato mediante il Life Cycle Assessment (LCA).

Per concludere si vuole analizzare l'impatto ambientale di sistemi innovativi che sfruttano la tecnologia rispetto a quelli tradizionali.

“If you define the problem correctly, you almost have the solution.”

“Se definisci correttamente il problema, hai quasi la soluzione.”

Steve Jobs. [5]

2. TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE E DELLA COMUNICAZIONE

2.1 Definizione e storia.

Con il termine “tecnologie dell'informazione e della comunicazione”, in italiano abbreviato in TIC, dall'inglese ‘Information and Communications Technology’ (ICT), si intende, brevemente, l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni. Occorre però precisare che si sta affrontando un argomento ampio, i cui concetti stanno evolvendo rapidamente.

La prima volta che si è sentito il bisogno di dare un nome a queste tecnologie è stato nel 1958, quando in un articolo scritto per l'Harvard Business Review, gli autori, Harold J. Leavitt e Thomas L. Whisler, hanno affrontato la tematica della presenza di una nuova tecnologia nell'attività commerciale americana, definendola “Information Technology”, ovvero Tecnologia dell'informazione (IT). Essi, nel definire il nuovo termine, lo hanno delineato in tre aree di competenza. La prima è rappresentata dai computer ad alta velocità e dalle tecniche per elaborare rapidamente grandi quantità di informazioni. La seconda consiste, invece, nella programmazione matematica e nelle metodologie come la ricerca operativa. Infine, la terza consiste nelle tecniche di simulazione di pensieri di ordine superiore attraverso programmi informatici [6].

Questa definizione della IT è molto simile, se non identica, a quella che si può dare oggi dopo circa 60 anni, ovvero che è l'insieme dei metodi e delle tecnologie che vengono utilizzate per l'archiviazione, la trasmissione e l'elaborazione di dati e informazioni attraverso l'uso di reti, elaboratori e attrezzature di telecomunicazione.

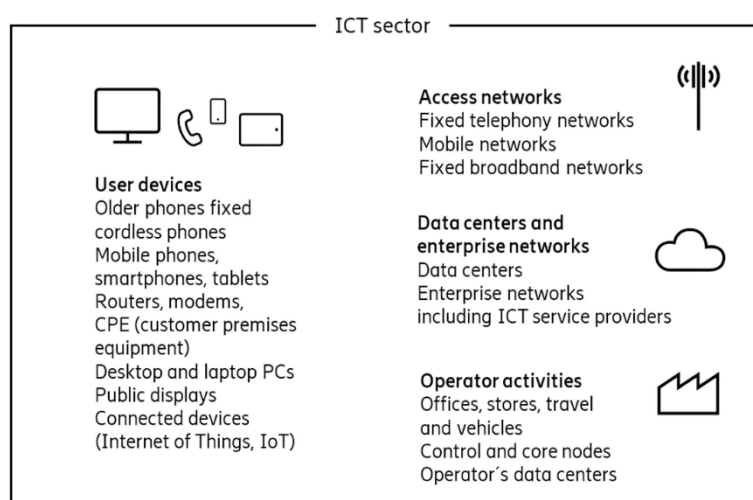


Figura 2. 1- Tabella sintetica delle ICT (fonte: Ericsson)

Infatti, tecnologia dell'informazione e della comunicazione è una perifrasi del termine tecnologia dell'informazione ed è stata usata per la prima volta nel 1980, quando dei ricercatori accademici hanno introdotto l'espressione "Information and Communications Technologies" (ICT), per descrivere l'insieme di metodi e tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni.

Il settore delle ICT è un settore molto vasto che ha visto un crescente sviluppo nel secondo dopoguerra ed è stato un grande protagonista nella terza rivoluzione industriale che ha successivamente portato persino a quella che poi è stata definita la quarta rivoluzione industriale, tuttora in atto. Quest'ultima la si riconduce alla Fiera di Hannover del 2011 quando si è descritto un progetto di rilancio dell'industria tedesca dal nome "Zukunftsprojekt Industrie 4.0", da cui è nato il termine "Industria 4.0" che indica la frontiera dell'automazione industriale, in cui vengono adottati sistemi hi-tech capaci di aumentare la produttività degli impianti, di affinare la qualità dei prodotti e di migliorare le condizioni e gli ambienti di lavoro[7].

L'industria 4.0 è l'emblema della quarta rivoluzione industriale che si differenzia dalle precedenti per la velocità con cui si avvicendano le innovazioni, per la portata geografica che abbraccia l'intero pianeta e soprattutto per l'impatto, che non riguarda solo i sistemi di produzione industriale ma anche l'organizzazione sociale e politica. Secondo gli esperti, questa quarta rivoluzione industriale può permettere di adoperare radicali miglioramenti per ridurre l'inquinamento ed il tutto grazie al progresso tecnologico, anche se, come afferma la Commissione Europea, le TIC, al momento, sono uno dei settori con maggior crescita per le emissioni di gas serra e gestione dell'energia[8].

2.2 ICT in Italia e nel mondo

L'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (ITU) è l'agenzia specializzata delle Nazioni Unite per le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, è nata nel 1865 per facilitare la connettività internazionale nelle reti di comunicazione; ad oggi ha principalmente lo scopo di definire gli standard nelle telecomunicazioni e nell'uso delle onde radio. L'ITU redige, dal 2009, un report sulla diffusione delle TIC nel mondo e combina per ogni paese 11 diversi indicatori, che si possono osservare nella figura 2.2, in un indice che prende il nome di IDI, ICT Development Index, indice di sviluppo

ICT access	Reference value	(%)
1. Fixed-telephone subscriptions per 100 inhabitants	60	20
2. Mobile-cellular telephone subscriptions per 100 inhabitants	120	20
3. International Internet bandwidth (bit/s) per internet user	976'696*	20
4. Percentage of households with a computer	100	20
5. Percentage of households with Internet access	100	20
ICT use	Reference value	(%)
6. Percentage of individuals using the Internet	100	33
7. Fixed-broadband subscriptions per 100 inhabitants	60	33
8. Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants	100	33
ICT skills	Reference value	(%)
9. Mean years of schooling	15	33
10. Secondary gross enrolment ratio	100	33
11. Tertiary gross enrolment ratio	100	33

ICT. Nel report del 2015 l'Italia è stata posizionata al trentottesimo posto nella classifica mondiale di sviluppo ICT ed al ventiquattresimo in quella europea, appena sotto alla Lettonia, con un indice di sviluppo pari a 7.12.

Figura 2. 2- Indice di sviluppo ICT: indicatori, valori di riferimento e pesi (fonte ITU)

Rispetto al documento del 2010, il nostro Paese ha perso ben 7 posizioni nella classifica globale; in quell'anno, infatti, si era posizionata al trentunesimo posto con un IDI di 6.38[9].

In Italia, l'Istat monitora lo sviluppo delle ICT concentrandosi principalmente sulla diffusione della banda larga e l'accesso ad internet dei cittadini e nel 2015 ha dichiarato che le famiglie in grado di poter usare la connessione in banda larga mobile nel paese erano il 30,1% contro il 27,6% dell'anno precedente e che circa 34 milioni e 500mila persone hanno effettuato almeno una connessione in Internet nell'anno precedente[10].

Nel report del 2017, ultimo prima della pandemia, l'Italia risulta alla quarantasettesima posizione, con un indice IDI di 7.04, addirittura peggiorato rispetto al 2015 [11], a causa del ritardo in termini di quantità e qualità delle connessioni della banda larga fissa [12].

Nel 2019, l'Istat ha dichiarato che il 74,7% delle famiglie disponeva di una connessione a banda larga e solo il 67,9% della popolazione di 6 anni e più aveva utilizzato Internet nei tre mesi precedenti all'intervista, quindi circa 38milioni e 796mila persone [13].

Dall'esame di questi dati si comprende che il Paese si è presentato all'arrivo della pandemia ancora in ritardo nell'innovazione digitale, ma pur sempre in crescita.

Lo Stato italiano ha istituito, nel 2001 con il Governo 'Berlusconi II,' il primo ministro per l'innovazione tecnologica e la transizione digitale della Repubblica. Successivamente, nel periodo 2006-2011, la delega è stata fusa con quella della "funzione pubblica" per poi non venire più assegnata direttamente. Così in seguito, per promuovere lo sviluppo tecnologico del Paese, è stata istituita, con il Decreto-legge 22 giugno 2012, n. 83 l'AgID, 'Agenzia per l'Italia Digitale' con il compito di contribuire alla diffusione dell'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, favorendo l'innovazione e la crescita economica. La figura ministeriale è tornata con delega autonoma, "senza portafoglio" dal 2019 con il Governo 'Conte II'. Attualmente, il governo Draghi ha istituito il 'Ministro per l'innovazione tecnologica e la transizione digitale' affidando la carica a Vittorio Colao, il quale tra i compiti ha quello anche di guidare l'operato dell'AgID e della società PagoPA S.p.A. [14].

Il Covid-19 ha accelerato il processo di trasformazione digitale intrapreso, oltre ad aver comportato anche una crisi economica globale che si è ripercossa su tutti i settori, compreso quello delle ICT, anche se, in Italia, queste hanno risentito di un calo limitato rispetto al resto dell'economia, poiché nel 2020 il mercato digitale italiano ha chiuso con un calo 'solo' del 2% rispetto all'anno precedente, ovvero a 70,5 miliardi di euro [15].

La pandemia ha portato ai lockdown, a chiusure delle strutture e ad un distanziamento delle persone; il telelavoro, poco sfruttato in Italia prima della malattia, ora è diventato una necessità. Per colmare tutti questi cambiamenti si è sfruttato Internet e tutto quello che comporta. Nei periodi di lockdown italiano il traffico Internet è aumentato del 70%, stando a Telecom Italia, e del 30% quello dei dati mobili secondo Vodafone; mentre Microsoft dichiara che l'utilizzo della piattaforma Teams nel Paese ha avuto un incremento del 775% [16]. Il settore delle telecomunicazioni e dell'informatica sono stati messi duramente alla prova e allo stesso tempo potenziati per poter garantire il funzionamento a tutte le persone. Uno dei servizi più richiesti in questo periodo è quello che riguarda il cloud computing: in Italia solo il 23% delle aziende ne faceva uso nel 2018, contro il 59% che lo ha sfruttato nel 2020. Un altro servizio utilizzato in

modo considerevole nell'ultimo periodo è quello degli acquisti online. Infatti, in Italia i cittadini che acquistavano online erano, nel 2015, poco meno del 40%, mentre a seguito della pandemia e delle relative misure di sicurezza per fronteggiarla, quasi il 50% della popolazione è ricorsa a questa soluzione (si veda la figura 2.3).

L'incremento dell'uso delle ICT è avvenuto in tutto il mondo; infatti, dai dati dell'ITU del 2021, si evince che oltre il 75% della popolazione mondiale totale ha un abbonamento attivo alla banda larga mobile e oltre il 57% delle famiglie ha accesso a Internet da casa [17].

Per concludere, l'Italia, attraverso il proprio ministro Colao, nel 2021 si è prefissata un obiettivo quinquennale per poter riportare il Paese tra i leader europei sfruttando la tecnologia digitale. L'ambizioso progetto mira a portare la banda ultra-larga a tutta le famiglie e le imprese, ad avere almeno l'80% dei servizi pubblici erogati online e circa il 75% delle pubbliche amministrazioni con servizi in cloud, infine punta ad avere il 70% della popolazione che sia digitalmente abile [18].

Internet users who bought or ordered goods or services for private use in the previous 12 months, 2015 and 2020

(% of individuals who used internet in the previous 12 months)

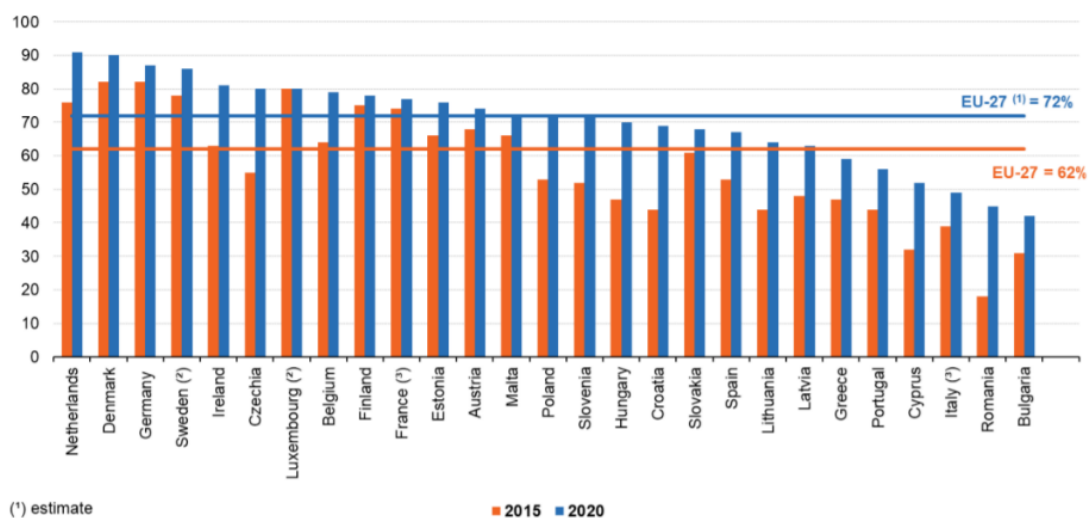


Figura 2. 3- Utenti che hanno acquistato beni o servizi online nel 2015 e nel 2020 per ogni paese europeo (fonte: Eurostat)

3. VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione sono attualmente uno dei settori in più rapida crescita per l'emissione di gas a effetto serra e la gestione dell'energia. Costruire un dispositivo ICT richiede una notevole quantità di elettricità e materiali. La produzione prevede l'estrazione delle materie prime e successivamente la fabbricazione dei componenti, che vengono assemblati in dispositivi elettrici. Questi ultimi verranno trasportati nei luoghi in cui saranno messi in funzione mediante alimentazione elettrica, ed una volta che avranno raggiunto la fine della loro 'vita', diventeranno rifiuti elettronici che dovranno essere smaltiti.

Complessivamente, si stima che le ICT consumino l'8-10% di elettricità dell'Europa e che siano responsabili del 4% delle emissioni di carbonio del continente. Purtroppo, però, si può parlare solo di stime perché, al 2015, più del 70% delle aziende del settore non disponevano di un metodo per misurare il proprio impatto ambientale [19].

In realtà, le metodologie per stimare l'impatto ambientale non mancano, ne esistono molteplici, perlopiù sviluppate dai vari organismi di standardizzazione internazionale come ETSI, ITU-T, IEC e ISO. Per ora i criteri per definire l'impatto ambientale tramite gli appena citati metodi, sono limitati a valutare le emissioni di gas effetto serra e del consumo energetico. Per questo motivo la Commissione Europea mira a estenderli anche ad altri settori ambientali, come acqua e materie prime [8].

Per poter fare una corretta stima di impatto ambientale, bisogna comprendere due concetti fondamentali, come il Life Cycle Assessment ed il Carbon Footprint.

3.1 Life Cycle Assessment, LCA

Il Life Cycle Assessment, LCA, in italiano "analisi del ciclo vita", è un metodo strutturato e standardizzato a livello internazionale che mira a quantificare i potenziali impatti sull'ambiente in tutte le fasi del ciclo di vita dell'oggetto in esame, che sia questo un bene, un processo o un servizio. Si tratta di una tecnica oggettiva, che valuta e quantifica l'impatto ambientale, i carichi energetici e gli impatti potenziali associati ad

un prodotto o un processo o un'attività lungo l'intero ciclo vitale. È un'analisi detta anche 'dalla culla alla tomba', 'from cradle to grave' ed è molto usata poiché considera tutte le fasi di un processo produttivo come correlate e dipendenti.

Il modello LCA è regolamentato a livello internazionale dalle norme ISO della serie 14040 che stabiliscono quattro fasi principali:

- **Goal and Scope:** consiste nella definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio.

- **Life Cycle Inventory (LCI):** è la raccolta dei dati delle procedure di calcolo volte a quantificare i flussi di entrata ed uscita rilevanti dal sistema in esame.

- **Life Cycle Impact Assessment (LCIA):** è la valutazione dell'impatto del ciclo di vita confrontando gli input e gli output trovati nella fase di LCI.

- **Interpretation:** consiste nell'interpretazione dei dati con verifica e valutazione dei risultati delle fasi precedenti.

Il Life Cycle Assessment considera l'impatto ambientale lungo l'intero ciclo di vita: l'estrazione di materie prime, la produzione, il trasporto, l'utilizzo ed il suo fine vita.

Potenzialmente, l'LCA ha numerose applicazioni, dallo sviluppo e miglioramento di prodotti/processi ad una pianificazione strategica o anche per l'attuazione di una Politica Pubblica.

Tuttavia, uno studio approfondito del Life Cycle Assessment può risultare costoso sia in termini economici che di tempo. Così, in molte situazioni, si ricorre ad alcune versioni semplificate di LCA che sfruttano banche dati già formate, anche se, pur in questo caso, risulta difficile mantenere aggiornate le informazioni, essendo un settore in continua evoluzione in termini di utilizzo, attrezzature e miglioramenti nell'efficienza energetica.

Nel 2014, è stato pubblicato uno studio della Commissione Europea sulla fattibilità di applicare metodi per stimare l'impatto ambientale delle TIC con anche un occhio di riguardo all'analisi costo benefici per le aziende. In particolare, nel dettaglio, il report si limitava ai costi benefici per le aziende di data center e delle reti di

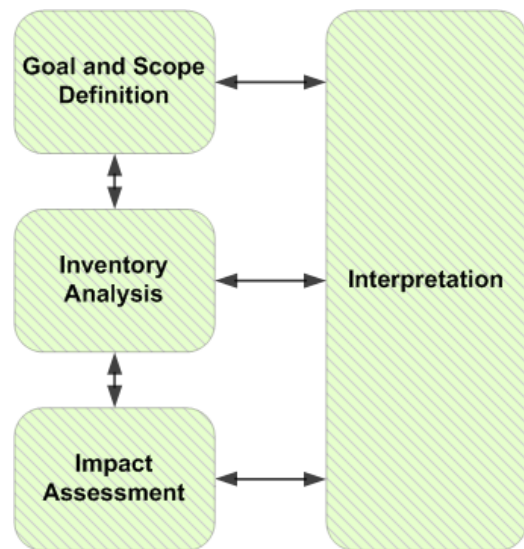


Figura 3. 1-Schema del ciclo di vita secondo la norma ISO 14040 (fonte:Wikipedia)

telecomunicazioni. Dall'analisi è risultato che se si attuasse una regolamentazione sul monitoraggio e la comunicazione del consumo energetico e delle emissioni dei gas serra, si avrebbe un costo basso, ma non esiguo per ogni azienda, con costi, in proporzione, maggiori per le piccole aziende. In termini di benefici, però, lo studio ha previsto che nel lungo periodo i risparmi superino i costi [20].

La multinazionale svedese Ericsson, molto attiva nel campo del monitoraggio dell'impatto ambientale delle ICT, ha condotto uno studio approfondito sulle opportunità e i limiti di una valutazione del settore mediante il metodo LCA. Gli autori della ricerca hanno sostenuto che il Life Cycle Assessment sia una buona base per la valutazione dell'impatto di un prodotto e, di conseguenza, della politica da perseguire nell'azienda che lo ha generato. Tuttavia, i risultati di una LCA sono basati sul modello di una rappresentazione dell'impatto ambientale e, quindi, l'impatto reale di una determinata apparecchiatura, rete, servizio o organizzazione non è mai quantificabile appieno. Conseguentemente, essi sono validi solo in base alle ipotesi dello studio e sono associati ad una sostanziale ed inevitabile incertezza [21].

3.2 Carbon Footprint e i Gas effetto serra

Il termine "carbon footprint" è usato per descrivere la quantità totale di emissioni di CO₂ e di altri gas effetto serra (GHG) associati direttamente ed indirettamente ad un prodotto, un'organizzazione o un servizio in tutto il suo ciclo vitale. La traduzione letterale è impronta di carbonio, si basa sul LCA e si misura in CO₂ equivalente, CO₂e. Quest'ultima, è una misura che esprime l'impatto di una certa quantità di gas serra rispetto all'anidride carbonica sul riscaldamento globale. Per calcolare la CO₂e si utilizza l'indice GWP, *global warming potential*, che serve ad indicare in che entità un gas è in grado di riscaldare l'atmosfera. Esso si calcola su specifici intervalli di tempo (tipicamente 100 anni), in cui il valore unitario di riferimento è la CO₂, come si può vedere nella figura 3.2. Quindi per calcolare il GWP si considera il tempo di vita medio del gas in atmosfera e la sua capacità di trattenere calore. Ad esempio, il metano ha un potenziale serra 25 volte quello della CO₂, perciò una tonnellata di esso verrà contabilizzata come 25 tonnellate di CO₂e.

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W\ m^{-2}\ ppb^{-1}$)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR _F (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	1.4×10^{-5}	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7×10^{-4}	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03×10^{-3}	310	289	298	153
Hydrofluorocarbons							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Perfluorinated compounds							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200

Figura 3. 2- Tabella contenente durata, efficienza radiativa e GWP per le sostanze che riducono lo strato di ozono e le loro sostituzioni. (fonte IPCC/TEAP, 2005)

Quando si parla di gas serra, in inglese *Green house gases*, GHG, si intendono tutti quei gas che contribuiscono al riscaldamento globale ed al cambiamento climatico. Nel 1997 si è raggiunto un accordo internazionale chiamato Protocollo di Kyoto, il cui scopo è quello di frenare il riscaldamento globale, all'interno del trattato vengono individuati 7 gas come gas serra[22]:

- Gas non fluorurati:
 1. Diossido di carbonio (CO₂).
 2. Metano (CH₄).
 3. Ossido di diazoto (N₂O).
- Gas fluorurati:
 4. Idrofluorocarburi (HFC).
 5. Perfluorocarburi (PFCs).
 6. Esafluoro di zolfo (SF₆).
 7. Trifluoruro di azoto (NF₃).

Mentre i gas non fluorurati sono già presenti in natura anche se in dosi ridotte rispetto a quelle che genera l'uomo, i gas fluorurati non lo sono se non in condizioni rare. Questi ultimi, in passato, furono proposti dai legislatori come sostituti delle sostanze che riducono lo strato di ozono, O₃, quindi come soluzione nei primi anni '80 per affrontare la scoperta dell'impovertimento dello strato di ozono. Anche se innocui per

lo strato di O₃, i gas fluorurati hanno un effetto serra molto maggiore della CO₂. Tra il 1990 e il 2014, le emissioni totali di gas fluorurati hanno registrato un aumento complessivo di circa il 70% e hanno rappresentato il 3% delle emissioni totali di CO₂eq nell'UE nel 2016 [23].

Ricapitolando, il carbon footprint è la stima di tutti i gas serra immessi in tutto il ciclo vitale direttamente o indirettamente, il concetto, deriva dal Life Cycle Assessment del prodotto. Le emissioni equivalenti si calcolano anche considerando l'energia impiegata sia per la costruzione che per far funzionare il sistema/prodotto/servizio, quindi occorre stimare anche la CO₂ prodotta per creare poi quell'elettricità generata. Si parla di una stima molto complicata da fare con molti dati diversi ed in continuo cambiamento. Questa dipende dalla tipologia di energia, che sia rinnovabile o meno, dipende dai paesi considerati e dalla qualità degli impianti ed anche dalle politiche del paese in esame, ma dipende anche dal trasporto dell'elettricità ed altri fattori.

L'agenzia europea dell'ambiente, EEA, tra le altre cose monitora anche l'intensità delle emissioni di gas ad effetto serra della produzione di elettricità per ogni paese europeo. Nella figura 3.3 si osserva l'andamento del valore medio dei paesi europei (28, compresa l'Inghilterra) del rapporto tra i grammi di CO₂e con la produzione lorda di energia elettrica, dove la CO₂e è calcolata dalle emissioni equivalenti di CO₂ per la produzione pubblica di elettricità e del relativo calore. Una cosa molto interessante è che il grafico inizi dagli anni '90 e che arrivi a fare la proiezione per il 2030, in modo da poter avere una riduzione netta del 55% dei gas serra tra i due anni di osservazione, come da progetti europei. Per la precisione, nel 1990 l'indice era 524 g

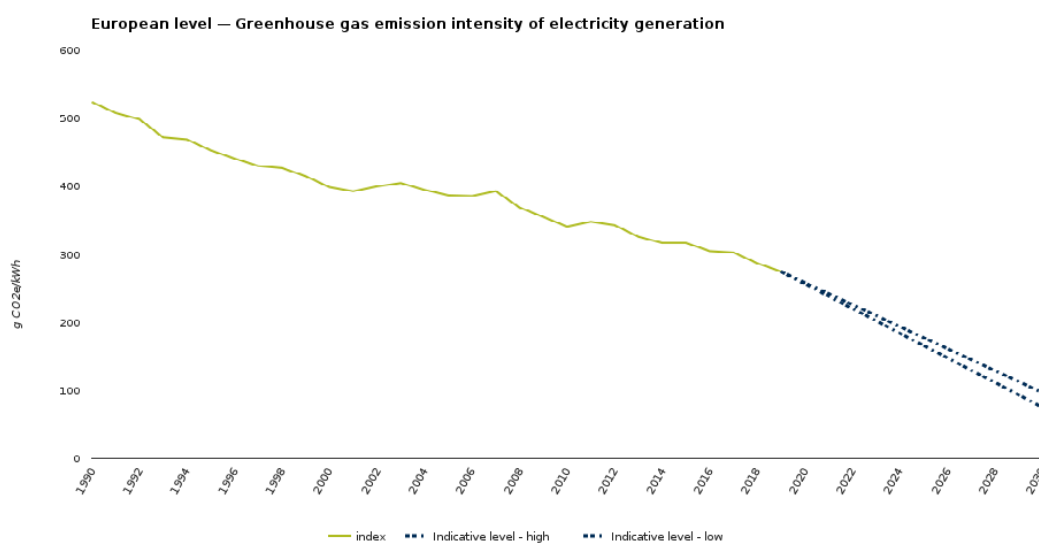


Figura 3. 3- Intensità delle emissioni di gas a effetto serra della produzione di elettricità del livello europeo (fonte: EEA)

CO₂e/ kWh contro i 275 g CO₂e/ kWh del 2019, in vista della forbice di valori auspicata tra 75.49 e 96.81 sempre g CO₂e/ kWh [24]. Dal '90 ad oggi, comunque, si ha avuto un taglio del 52.5% nelle emissioni di CO₂e per energia prodotta.

Nella figura 3.4 è mostrata sempre l'intensità delle emissioni in gCO₂/ kWh, ma questa per ogni paese europeo in tre precisi istanti temporali: 1990, anno di inizio del monitoraggio di emissioni da abbassare, 2015, anno dell'accordo di Parigi e 2019, ultimo dato disponibile. Nel dettaglio, l'Italia è passata da 562 gCO₂/ kWh del '90 ai 283 gCO₂/ kWh del 2015 prima di giungere ai 233 gCO₂/ kWh del 2019 [24].

L'intensità di carbonio della generazione di elettricità mondiale è stimata 463 gCO₂/kWh al 2019, l'andamento passato e le previsioni future si possono osservare in figura 3.5, con i valori globali nel dettaglio in tabella 3.1[25].

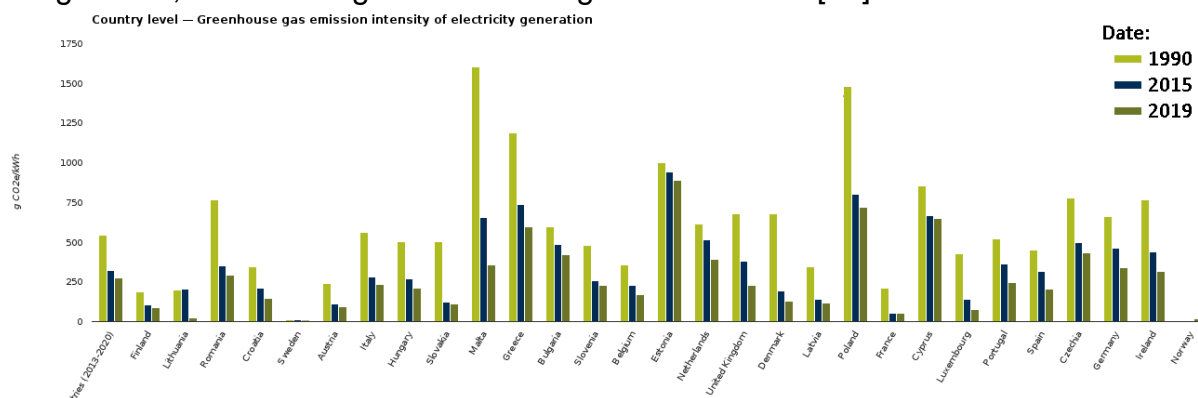


Figura 3. 4- Intensità delle emissioni di gas a effetto serra della produzione di elettricità per ogni paese dell'unione europea (più Inghilterra e Norvegia) (fonte: EEA)

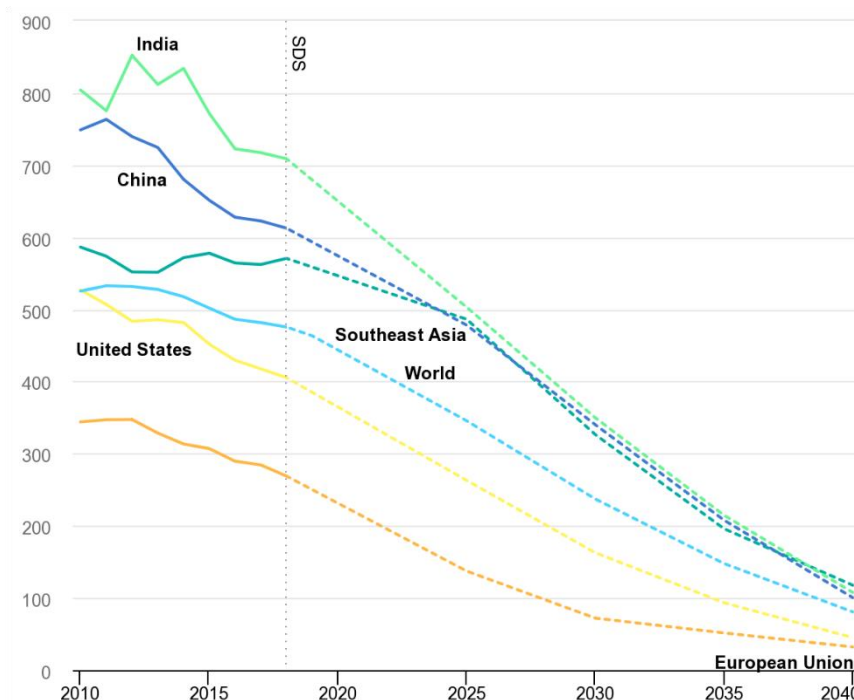


Figura 3. 5-Intensità di carbonio della produzione di elettricità in regioni selezionate, 2000-2040 (fonte: IEA)

Tabella 3. 1- Intensità di carbonio della produzione elettrica del mondo, stime e previsioni.

	Mondo: gCO ₂ /kWh
2010	525
2015	502
2018	476
2019	463
2025	346
2030	237

4. VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE DELLE ICT

In questo capitolo si analizzeranno le impronte digitali, carbon footprint, di alcuni prodotti e servizi alla base delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione fino ad arrivare ad affrontare le criticità del life cycle assessment applicato in questo ambito.

4.1 Carbon Footprint di un E-mail

Una email comporta delle emissioni di CO₂e[26], in particolare:

- 0.03 g CO₂e Una e-mail di spam finita nell'apposito filtro
- 0.20 g CO₂e Una breve e-mail inviata e letta da cellulare a cellulare
- 0.30 g CO₂e Una breve e-mail inviata e letta da laptop a laptop
- 17.00 g CO₂e Una lunga e-mail scritta in 10 minuti e letta in 3 da laptop a laptop

L'impronta di carbonio deriva dall'elettricità necessaria per alimentare tutte le fasi che servono per permettere l'invio e la ricezione. Il ciclo vita si può schematizzare così: il dispositivo su cui è scritta, la rete che la invia, il data center su cui viene memorizzata ed infine il dispositivo da cui poi sarà letta. La maggior parte delle emissioni sono date dal consumo elettrico dei dispositivi finali, non dalle reti e dai data center.

Le emissioni sopra riportate sono calcolate considerando l'intensità di emissioni del Regno Unito ,pari a 0.34 kg CO₂e/kWh e considerando che i dispositivi siano i cellulari iPhone 11 con una vita del dispositivo di 2 anni ed i laptop dei MacBook Pro da 13 pollici connessi al WiFi e con 4 anni di durata di funzionamento [26] .Si può capire che, quindi, parte dell'impronta della e-mail la si fa ricondurre a quella dei dispositivi che dialogano. Rielaborando i precedenti dati con l'equivalente italiano delle emissioni per produrre l'elettricità del 2019, visto nel paragrafo 3.2, che corrisponde a 233 gCO₂/kWh[24] i dati diventano:

- 0.02 g CO₂e Una e-mail di spam finita nell'apposito filtro,
- 0.14 g CO₂e Una breve e-mail inviata e letta da cellulare a cellulare,
- 0.21 gCO₂e Una breve e-mail inviata e letta da laptop a laptop,
- 11.65 g CO₂e Una lunga e-mail scritta in 10 minuti e letta in 3 da laptop a laptop,

Nel 2019, gli utenti di posta elettronica nel mondo erano 3.93 miliardi e le e-mail inviate al giorno erano circa 293.6 miliardi [27], di queste si stima che il 55% fosse di spam[28].

Analizzando i precedenti dati, si ha una media di circa 75 e-mail al giorno per utente di cui 41 di spam che si traducono in 0.82 g CO_{2e} e, rapportato con gli account riconducibili agli italiani, e sempre considerando i dati del 2019, che erano circa 42.5 milioni [29], si ottengono 34.85 tonnellate CO_{2e}.

4.2 Carbon Footprint di ricerca con Google

Quando si parla di impronta digitale si forniscono delle stime ed in questo caso le fonti divergono molto. Nel 2009, il giornale britannico 'The Times' dichiarò che, mediamente, ogni ricerca tramite Google produceva 7 g CO_{2e} [30]. La multinazionale americana, molto impegnata sull'aspetto climatico, non tardò a pubblicare la propria risposta in cui affermava che l'energia necessaria per svolgere il compito era di 0.0003 kWh e quindi che le emissioni erano solo di 0.2 g CO_{2e}[31].

Tuttavia, se integriamo la dichiarazione di Google, considerando anche il tempo medio necessario per digitarla e, quindi prendendo in esame l'energia impiegata sul dispositivo di colui che fa la ricerca, si aggiungono mediamente 0.4 o 0.5 g per un tempo di 30 secondi e dipende dal dispositivo. Quindi il carbon footprint di una semplice ricerca è di 0.5 g CO_{2e}, mentre la navigazione da cellulare per 5 minuti risulta 5.6 g CO_{2e}, contro gli 8.2 g CO_{2e} che si hanno con un laptop[26].

Google stima che le ricerche che svolge ogni giorno siano circa 3.5 miliardi [32], considerandole tutte delle semplici ricerche, il carbon footprint complessivo equivale a circa 630 000 t CO_{2e}.

4.3 Carbon Footprint dello streaming video

Nel caso di streaming video, si stima che un'ora di visione corrisponda a 36 gCO_{2e} per un consumo medio di circa 0.077 kWh di elettricità. Infatti, dagli studi dell'agenzia internazionale dell'energia, IEA, è emerso che 30 minuti su Netflix rilascerebbero circa 0.018 kg CO_{2e}. Per ottenere queste stime, sono stati valutati i consumi di vari

dispositivi di visualizzazione, come televisori, laptop e smartphone, oltre alla tipologia di connessione di rete e della risoluzione video e audio[33] .

Netflix, nel 2019, ha comunicato che il consumo energetico diretto ed indiretto ad esso legato è stato di 94000 MWh e gli utenti sono stati 167 milioni [34], per ognuno di essi gli si è imputato un utilizzo medio di 2 ore al giorno [35].

Molto interessante è il fatto che l'IEA abbia provveduto a fare un *fact checking*, nel 2020, riguardo proprio ai dati relativi lo streaming video dopo la pubblicazione di un report francese dal nome: "CLIMATE CRISIS: THE UNSUSTAINABLE USE OF ONLINE VIDEO". Nel documento, si afferma che lo streaming video producesse le stesse emissioni CO₂ equivalenti annue di tutta la Francia; il problema principale dello studio, però, è nel non aver considerato in modo adeguato i byte, così le emissioni di mezz'ora di riproduzione erano diventate 1.6 Kg CO₂e, circa 8 volte superiori alle 0.018 (~0.02) trovate in origine [33].

4.4 Carbon Footprint delle cryptocurrencies

Il Bitcoin è la prima criptovaluta nata nel 2009. Per comprendere come queste criptovalute possano utilizzare energia bisogna definire la tecnologia che esse sfruttano, denominata Blockchain; esso offre un nuovo modo di condurre e registrare le transazioni. In uno scambio tradizionale, le autorità centrali, come le banche, verificano e registrano le transazioni, mentre con i bitcoin le transazioni vengono registrate sulla Blockchain, ovvero un registro pubblico e condiviso. La blockchain contiene tutte le transazioni confermate in modo che ogni portafoglio Bitcoin possa calcolare il proprio bilancio disponibile in ogni momento. Tutte le transazioni che avvengono tra utenti, in genere, iniziano ad essere confermate dalla rete nei 10-20 minuti successivi, grazie ad un processo chiamato mining. Quest'ultimo è un sistema di consenso distribuito con lo scopo di mantenere un ordine cronologico nella Blockchain, di proteggere la neutralità della rete e consentire a diversi computer di concordare sullo stato del sistema. Per essere confermate le transazioni, i computer 'minatori' competono tra di loro per risolvere un complesso "puzzle matematico". Ogni ipotesi che un minatore svolge per soluzione è noto come "*hash*", mentre il numero di ipotesi prese dal minatore ogni secondo è conosciuto come il suo "*hashrate*". La

risoluzione del “puzzle” viene memorizzata in un ultimo "blocco" del registro per poi essere approvata ed aggiunta alla "catena" delle transazioni.

Da questa descrizione si identificano diversi responsabili nel consumo elettrico:

- Gli hardware per ‘minare’ con il consumo di energia e legati all’*hashrate*.
- La rete di *hashrate*, tutti gli hardware che sulla stessa rete cercano la soluzione simultaneamente.
- L’infrastruttura non informatizzata legata ad esso, come il raffreddamento e l’illuminazione.

La stima dell’uso di energia nei bitcoin è estremamente impegnativa, per via di metodologie diverse e condizioni variabili nel settore, come possono essere gli hardware utilizzati o i costi di energia o quelli di raffreddamento.

Le stime cambiano di giorno in giorno in base ai criteri scelti da chi le sta facendo; per esempio, la ‘University of Cambridge, Judge Business School’ rielabora la stima ogni 30 secondi sul consumo medio avuto negli ultimi 7 giorni[36].

Dalla figura 4.1 si può osservare che dal 10 marzo 2021 si è avuta un’impennata dei consumi e che il 16 aprile si sono superati 100 TWh annui.

Nel 2019, la stima di consumo elettrico è stata intorno alle 73.1 TWh, 0.2-0.3% di quella globale [26] che, se moltiplicata con il valore delle emissioni di energia del mondo di 463 gCO₂e/kWh [25], si ottengono 33.9 milioni di tonnellate di CO₂e annue, ovvero lo 0.1% delle emissioni mondiali che sono di 33 miliardi di tonnellate di CO₂e annue[37].

Un aspetto significativo, per la valutazione, è che circa il 60-70% dei Bitcoin globali vengono “minati” in Cina, dove più di due terzi della produzione elettrica proviene dal

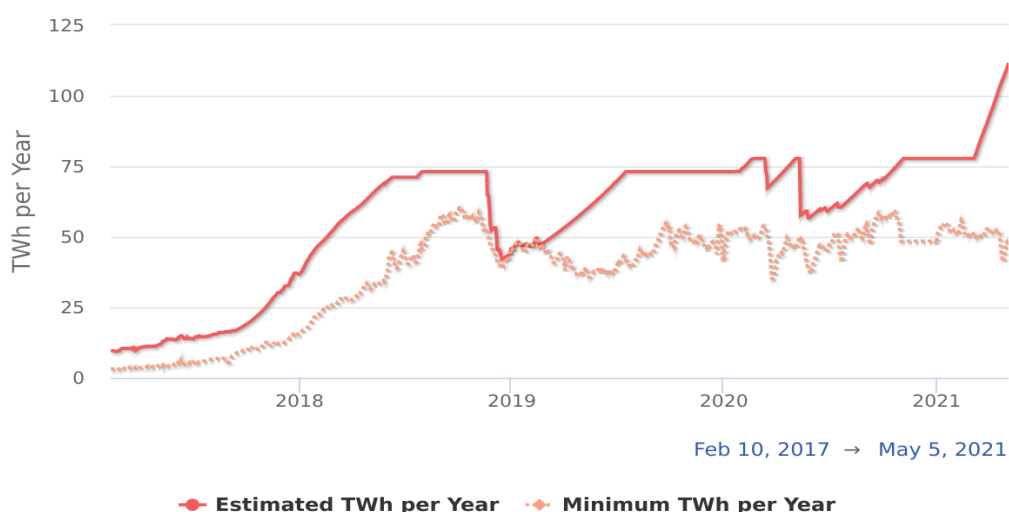


Figura 4. 1- Stime giornaliere di consumi annui di energia Bitcoin (fonte: digiconomist)

carbone. Il Governo cinese dichiara, però, che l'80% del loro mining derivi dalla provincia Sichuan, ricca di risorse idriche e per questo le operazioni di calcolo sfrutterebbero solo energie prodotte da fonti rinnovabili. Così anche a livello globale, infatti, si stima che il 74% dei Bitcoin mondiali siano alimentati, da giugno 2019, da energia rinnovabili. Per questo motivo, l'agenzia internazionale dell'energia sostiene che le emissioni siano molto più basse di quelle precedentemente stimate; infatti, solo lo 0.03-0.06% di quelle totali del mondo sarebbero riconducibili alle criptovalute [38].

4.5 Carbon Footprint dello smartphone

Ogni anno vengono presentati nuovi modelli di smartphone con caratteristiche più accattivanti e migliore efficienza. La vita di questi prodotti è relativamente corta e la loro impronta dipende da molti fattori differenti.

L'Apple correla ad ogni proprio nuovo cellulare presentato sul mercato un report sull'impatto ambientale e del ciclo vita. La compagnia californiana compie lo studio sfruttando il metodo dell'LCA e sostiene che le emissioni di carbonio per ogni cellulare siano di 70 kg CO₂e per i modelli a 64 GB, di 75 kg CO₂e per quelli a 128 GB e di 85 kg CO₂e per quelli a 256 GB[39].

Per la prima fase di estrazione dei materiali, la "mela americana" precisa quanto sia importante il riciclaggio dei prodotti. Infatti, dichiarano che il 99% del tungsteno usato è riciclato, come lo sono il 100% dello stagno, tantalio,

cobalto ed altri materiali rari, ma solo il 35% della plastica è riutilizzata. In più, non sono usate sostanze nocive come berillio, PVC, arsenico ed altre.

Per la fase della produzione, l'Apple assicura di controllare rigidamente tutti i fornitori, i quali devono rispettare un preciso Codice della società. Tra le altre cose, questi non devono produrre rifiuti da mandare in discarica e devono tutti passare, in tempi brevi, ad energie rinnovabili. Anche la fase del confezionamento è fatta sfruttando al massimo materiali riciclati e cercando di ridurre gli imballaggi plastici.

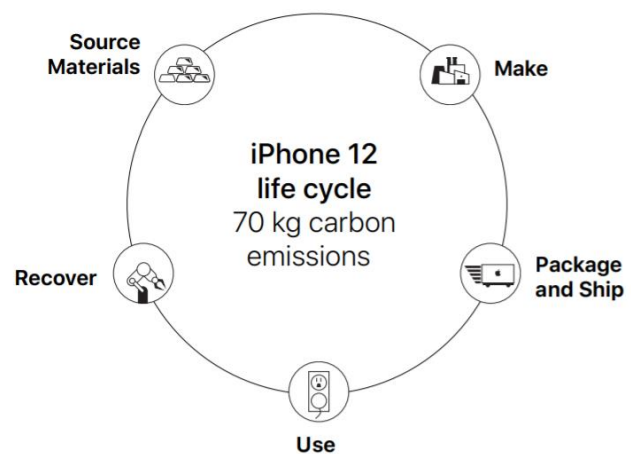


Figura 4. 2- Ciclo vita di un iPhone 12 (fonte: Apple)

La fase dell'utilizzo ottimizza a tal punto i consumi che l'uso tipico del telefono connesso a Internet è di circa 1 g CO₂e al minuto.

Per la fase finale, la multinazionale invita sempre a riconsegnare il prodotto nelle loro rispettive sedi, proprio per poter compiere un riutilizzo completo dei materiali.

L'Apple, nel documento, mostra anche quali siano le fasi del ciclo con maggior impatto: 82% produzione, 2% trasporto, 14% utilizzo e meno di 1% la fase di fine vita [39].

Anche la Ericsson ha fatto un'analisi specifica, con LCA, per capire l'impatto di un cellulare del 2015, il Sony Z5. Questo secondo studio entra molto più nel dettaglio di quello dell'Apple, e vuole essere soprattutto un'analisi sull'impatto dei cellulari in generale.

Il modello preso in esame risulta responsabile di 57 kg CO₂e, come si vede nel dettaglio dalle figure 4.3 e .4.4, e, supponendo un tempo di funzionamento di 3 anni, ha un impatto annuo di 19 kg CO₂e, senza ancora considerare la connessione, con la quale diventa di 62 kg CO₂e annui. In figura 4.3 l'utilizzo è calcolato considerando un consumo di 4 kWh/anno e calcolato con una media di consumo elettrico di 0.6 kg CO₂e/kWh[40].

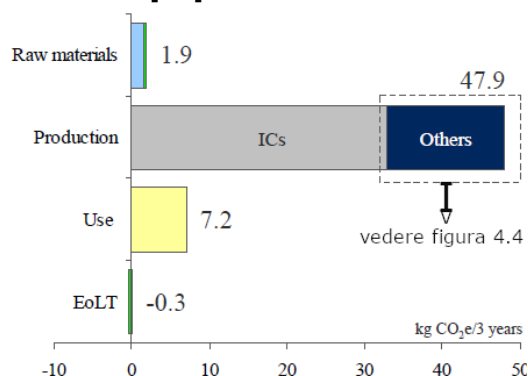


Figura 4. 3- Emissioni di CO₂ per tutto il ciclo vitale (fonte: Ericsson)

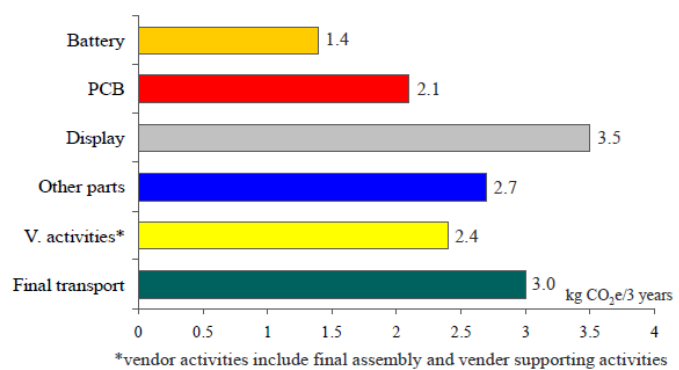


Figura 4. 4- Dettaglio della figura 4.3, emissioni di CO₂e nel dettaglio dei circuiti integrati (fonte: Ericsson)

Dalla figura 4.3 si evince come la fase della produzione, nel dettaglio, quella di circuiti integrati, sia quella più impattante e che la fase di utilizzo non lo sia così tanto, rapportandola a quella della realizzazione del prodotto.

Dalla ricerca sono emersi altri importanti dati sulle tipologie di impatto che lo smartphone in esame ha, figura 4.5 e figura 4.6; infatti, questo studio della Ericsson analizza, nel dettaglio, più tipologie di inquinanti e non solo la CO₂e ed il consumo di energia.

Nel dettaglio, vediamo dalle figure che vi è uno studio del potenziale di eliminazione dell'ozono, ODP, ovvero la capacità dei composti chimici di degradare la fascia di ozono ed in questo caso è un valore molto basso. Come lo sono, anche, i valori dei materiali tossici per l'uomo, HumToxCan e HumTox, legati principalmente alle quantità di oro e rame. Inoltre, di rilevante vi è un interessamento al consumo dei materiali abiotici, ovvero tutti quelle risorse non viventi come fossili, minerali ed argilla. Nel nostro caso, le risorse sono principalmente: oro, argento, cobalto e litio; anche in questo caso i valori sono relativamente bassi per un singolo dispositivo. Per finire, lo studio analizza anche l'utilizzo di acqua, equivalente a 50 m³ legati ad ogni device, in più stima la produzione di un valore (basso) di particolato.

ELCIA indicators as recommended by ILCD
Global Warming Potential (GWP)
Ozone Depletion Potential (ODP)
Human Toxicity Cancer potential effects (HumToxCan)
Human Toxicity non-Cancer potential effects (HumTox)
Particulate Matter (2.5 µm) (PM)
Photo-Oxidant Creation Potential (POCP)
Acidification Potential (AP)
Eutrophication Potential (fresh water) (EP fresh)
Eutrophication Potential (terrestrial) (EP terr)
Eco-system Toxicity potential effects (EcoTox)
Freshwater consumption (Water)
Abiotic Depletion Potential (ADP)

Figura 4. 5- Indicatori di Impatto (fonte: Ericsson)

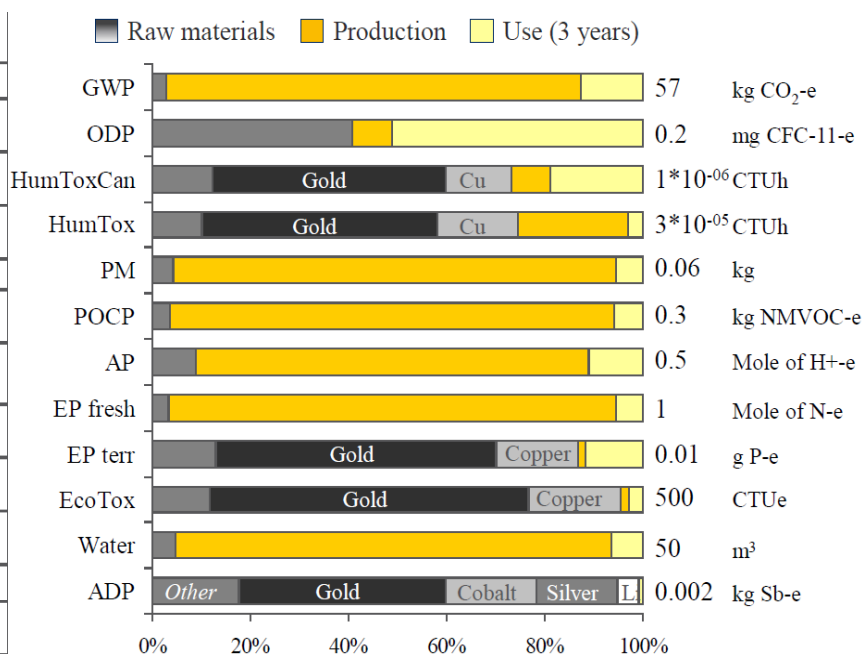


Figura 4. 6- Risultato del ciclo di vita totale per tutte le categorie di impatto (fonte: Ericsson)

La maggior parte delle CO₂e, la creazione di foto-ossidanti e del particolato sono legati ai combustibili fossili nel consumo dell'elettricità usata, mentre i contributi all'impatto tossico dipendono soprattutto dall'oro e dal rame insieme ai metalli delle batterie[40].

4.6 Carbon Footprint dei Data Center e reti di trasmissione dati

I data center sono edifici o meglio, spazi dedicati ad ospitare sistemi informatici e componenti associati alle telecomunicazioni e all'archiviazione. La maggior parte del traffico internet che sfrutta il protocollo IP passa per i data center. Una maggiore connettività comporta, quindi, anche un aumento di domanda dei servizi, che si

traduce direttamente in maggior consumo di elettricità. Le stime sull'uso dell'elettricità dei data center variano tra i 200 e 300 TWh, perciò rappresentano circa l'1% della domanda di energia mondiale [41] [42]. In questo campo, le stime annue del consumo energetico non variano molto, poiché vi è, sì, un aumento di domanda, ma si verificano, anche, miglioramenti di efficienza che riequilibrano i valori di consumo. Con le attuali tendenze nell'efficienza dell'hardware e dell'infrastruttura del data center, la domanda globale di energia degli stessi può rimanere pressoché invariata almeno fino al 2022, nonostante sia previsto un aumento del 60% della domanda di servizi[43].

Con il valore dell'impronta dell'energia mondiale di 0.463 kg CO_{2e}/kWh, l'impatto annuo dei data center è tra i 92 600 000 t CO_{2e} (novantadue milioni e seicentomila tonnellate di CO₂) e 138 900 000 t CO_{2e} (centotrentotto milioni e novecentomila di tonnellate di CO₂), che corrispondono a circa lo 0.28-0.42% delle emissioni globali totali. In realtà, nella letteratura sull'argomento vi sono anche studi che dichiarano un valore molto maggiore di emissioni. Infatti, nella ricerca di Lotfi Belkhir e Ahmed Elmeligi, "Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations", il valore di emissioni specifiche del 2020 si aggira sui 495 milioni di tonnellate di CO_{2e}, stima dichiarata dagli stessi autori sovrastimata[44].

Per le reti dati si può fare un discorso analogo: ovvero, i progressi tecnologici sono stati tali da rendere sempre più efficiente il consumo di energia sia per la telefonia fissa che per quella mobile. Nel 2019, esse avrebbero consumato 250 TWh, l'1% dell'elettricità globale e le previsioni considerano che il consumo aumenti a circa 270 TWh nel 2022. Di questo consumo energetico, due terzi sono imputabili alle reti dati mobili, e il cui utilizzo è in continuo aumento.

4.7 Total Footprint delle Tecnologie dell'informazione e della comunicazione

Quest'ultima stima risulta essere molto complicata, perché è particolarmente difficile trovare numeri accurati per un settore che include tutto e si rinnova di continuo: dalle TV e le loro reti di trasmissione a tutti i computer, i telefoni, i tablet e le console di gioco, i centri dati che immagazzinano e analizzano le informazioni del mondo e le reti che le trasmettono.

Uno studio dettagliato, in cui si è applicato un metodo LCA all'intero settore, è stato svolto dal ricercatore della Ericsson, Jens Malmodin, già citato numerose volte, vista la numerosa affidabile letteratura presente. Il documento dal titolo "The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015" analizza l'impronta di carbonio di tutte le TIC in circolazione e le suddivide in due gruppi: quello delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione vere e proprie, e quello dei media e di intrattenimento, formato dai televisori, dai video e videogiochi escludendo però cinema, sport, teatri ecc.

L'impronta di carbonio totale calcolata, considera sia il peso dell'intero ciclo vitale del prodotto, ma anche l'uso medio di corrente che il settore consuma. Il risultato dello studio attribuisce all'ICT nel 2015 un impatto di circa 730 Mt CO_{2e}, che corrisponde a circa l'1.4% delle emissioni globali di quell'anno, con un consumo elettrico di 805 TWh, ovvero il 3.4% qu quello totale. Questi numeri, se abbinati ai consumi del settore Entertainment and Media, che sono 420 Mt CO_{2e} (1.2%) e 585 TWh (2.8%), permettono di stimare l'intero impatto delle TIC, quindi, risulta di 1150 Mt CO_{2e} e 1390 TWh[45].

Le emissioni totali, però, secondo lo studio, sono aumentate in 8 anni, dal 2007 al 2015, di soli '10 Mt CO_{2e}'; infatti, nel primo dei due anni di osservazione, l'impatto di carbonio dei settori era di circa 1140 Mt CO_{2e} e 1440 TWh[45]. Nelle stime più recenti, del 2020, Malmodin ha calcolato che, per l'anno in corso, l'impatto era di 1090 Mt CO_{2e}, di cui 690 milioni di tonnellate di CO_{2e} legate direttamente alle ICT e 400 milioni di tonnellate di CO_{2e} riconducibili all'intrattenimento[26].

Ad oggi, l'impatto di carbonio legato a queste tecnologie sembra solo poter aumentare, ma i progetti futuri prevedono di usare le tecnologie dell'informazione e della comunicazione per far ridurre i consumi degli altri settori. Infatti, le stime del GeSI relative al 2012 e pubblicate nello 'Smarter2020', avevano previsto che l'impronta di carbonio delle ICT nel 2020 fosse di 1.27 Gt CO_{2e}, non lontano dal 1.15 Gt CO_{2e} calcolato da Malmodin e sopra riportato, ed avevano ipotizzato che queste tecnologie, implementate nei vari ambiti, avrebbero permesso di risparmiare 9.10 Gt CO_{2e} negli altri settori, ovvero 7.2 volte l'impronta delle TIC stesse. Nello studio successivo, 'SMARTer2030' viene riportato che, per l'anno 2030, l'intero settore dovrebbe essere responsabile di 1.25 Gt CO_{2e}, ma che le emissioni evitate si aggirerebbero intorno alle 12.08 Gt, ovvero un fattore 10 di risparmio (9.7) [46].

Nello studio, della Ericsson, gli autori hanno applicato il metodo del Life Cycle Assessment all'intero settore. Sono partiti dai dati del mercato del 2015, identificando i prodotti da analizzare e ne hanno calcolato i rispettivi indici medi tramite l'LCA (tabella 4.2). Occorre precisare che i calcoli sono stati svolti con un indice di intensità elettrica di 0.6 kg CO₂e/ kWh.

Successivamente, hanno preso i dati del consumo elettrico e dell'impronta di carbonio di 35 compagnie leader del settore di produzione. In totale si parla di 154 TWh e 73 Mt CO₂e (tabella 4.3). Il ciclo vitale dei prodotti è stato scomposto in quattro differenti fasi:

acquisizione del materiale, produzione dei componenti, produzione delle parti e assemblaggio. Dalla tabella 4.3 vediamo che, delle 35 aziende, sei si occupano di circuiti integrati (IC), sei producono principalmente display, ventuno sono nell'assemblaggio e le ultime due trattano circuiti stampati (PCB).

Infine, lo studio combina i dati trovati e li integra con quelli dell'intero settore (tabella 4.2); il risultato è mostrato nella figura 4.7.

Tabella 4. 1- Consumi di elettricità ed impronta di carbonio per tipologia di compagnia (fonte: Malmodin and Lundén, 2018)

Category (no. of Companies)	Electricity (GWh)	Carbon Footprint (CF) Mt CO ₂ e
IC (6)	50,500	23.2
Display (6)	54,400	25
Assembly (21)	47,500	23.6
PCBs (2)	2000	1

Tabella 4. 2-Dispositivi 2015: spedizioni, numero totale di unità in funzione, consumo elettrico operativo (OEC) e CF risultanti (fonte: Malmodin and Lundén, 2018)

ICT Sector	Shipments 2015 [million]	Est. Total Shipped Weight [kt]	Est. Total Embodied CF [Mt CO ₂ e]	Est. Total Units in Operation [million]	Est. Total OEC [TWh]	Est. Total OEC CF ³ [Mt CO ₂ e]
Fixed phones (PSTN + VoIP)	200	40	4	1650	28	16.8
Smartphones	1433	215	64.5	3700	11.1	6.7
Other mobile phones	537	54	13.4	3400	5.1	3.1
CPE (modems, gateways)	184	77	7.7	925	83.5	50.1
Tablets	208	156	15.6	700	4.9	3
Laptop PCs	163	285	32.6	970	34	20.4
Desktop PCs	114	855	28.5	730	109.5	65.7
Computer displays	130	650	13	1000	30	18
Computer peripherals	(114)	114	5.7	na.	na.	na.
Projectors	8	60	1.6	50	7.5	4.5
Public displays	3.5	175	1.8	25	7.5	4.5
Surveillance cameras	28	80	2.8	140	8.4	5
Payment terminals	35	35	1.8	150	4.5	2.7
Wearables	46	7	0.9	100	0.1	0.06
Smart meter connectivity	40	6	0.8	400	8	4.8
ICT sector total:	3213.5	2749	196	14,170	342	205

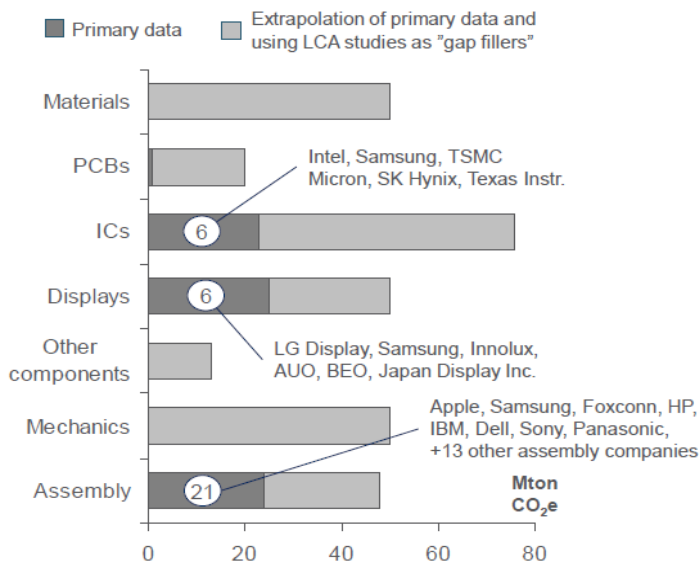


Figura 4. 3- Impronta di carbonio totale delle fasi di acquisizione dei materiali, di produzione dei dispositivi e dell'assemblaggio (fonte: Malmodin and Lundén, 2018)

Dall'esame del prospetto in essa riportato, si osserva che il settore che presenta una maggior impronta di carbonio sia quello dei circuiti integrati, anche se dalla sola analisi delle aziende (tabella 4.3) risultava leggermente meno impattante delle compagnie di display.

Nella ricerca non sono, però, forniti calcoli, i risultati sono presentati solo mediante grafici e tabelle; infatti, lo scopo principale

è stato quello di mostrare che la crescita delle emissioni di CO₂e legate alle TIC non fosse incrementato dagli altri periodi di osservazione, ma anzi queste sarebbero addirittura ridimensionate, in contrasto con i precedenti studi degli autori. Le motivazioni di questa riduzione di emissioni sarebbero legate ad un miglioramento di efficienza, combinato ad un maggior utilizzo degli smartphone e tablet, meno energivori dei computer.

In conclusione, il Life Cycle Assessment è il miglior metodo per comprendere l'impatto dei prodotti e dei servizi e per fornire una buona base per definire le priorità di un'azienda a livello ambientale. Tuttavia, i risultati sono basati sempre e solo su un modello matematico, quindi dipendono dalle ipotesi dello studio e sono associati ad una sostanziale incertezza che va considerata nell'analisi finale dei dati.

Queste ambiguità dei dati sono legate a diverse motivazioni su tutto il ciclo vitale:

- Acquisizione delle materie prime: l'incertezza è data dalla complessità della catena di fornitura, dalle variazioni del mercato economico mondiale e dal luogo in cui avvengono questi processi.
- Produzione: la precarietà delle informazioni è dovuta dalla ampia base di fornitori che per giunta cambiano continuamente e dai dati da essi forniti.
- Utilizzo: qui dipende tutto dal comportamento degli utenti e dalla durata dei prodotti; è essenzialmente impossibile conoscere questi dati a priori; per valutarli bisogna definire uno scenario di utilizzo. Il tutto dipende anche dalla

zona geografica in cui si trova, dalla produzione di energia e dalla progettazione della rete.

- Fine ciclo vita: questo è l'ultimo step, l'incertezza è legata al fatto che sia sconosciuto il futuro del prodotto elettronico, il suo smaltimento o il suo riutilizzo. Il tutto dipende, come prima, dai fornitori e dalle regioni del mondo in cui ci si trova e nella maggior parte dei casi vi è una mancanza di dati.

Come si vede, in questo capitolo non si è affrontata l'impronta di carbonio dei PC e neppure dei laptop. Questa scelta è dovuta alla forte incertezza di dati presenti in questo settore, i prodotti di cui si parla sono molto diversi tra loro e per questo variano molto anche i consumi e le emissioni. A questo proposito, le stime di emissioni per la produzione di un laptop variano da circa 50 kg CO_{2e} a 450 kg CO_{2e}. Il problema persiste anche analizzando laptop più simili tra loro, per peso e dimensioni; infatti, si stima che in questo caso le CO_{2e} varino tra i 50kg e i 400kg e le motivazioni trovate dagli autori degli studi sono quelle precedentemente elencate [21].

Per ora, pochi studi si sono focalizzati sul valutare la percentuale di incertezza presente in queste stime. Dalle poche analisi si è potuto affermare l'indeterminatezza del carbon footprint in percentuale per ogni momento di vita: nella fase di acquisizione delle materie prime e di produzione è di circa il $\pm 15\%$ mentre per la fase di utilizzo del $\pm 50\%$, quindi, per tutto l'intero ciclo di vita risulta un'incertezza del $\pm 35\%$ [21].

Dalla letteratura emerge un'importante informazione: ovvero, che LCA applicato in questo settore non è molto utile per confrontare prodotti simili tra loro, vista l'incertezza presente, ma piuttosto, per fare paragoni tra scenari TIC e non TIC come, per esempio, il telelavoro e quello in ufficio.

5. CONFRONTO DI SISTEMI TRADIZIONALI E INNOVATIVI

Nel paragrafo 4.7 abbiamo accennato alle stime da parte del *Global Enabling Sustainability Initiative*, GeSI, sull'impatto delle ICT e su quanto queste permettano di evitare le emissioni in altri campi. A questo proposito nello "Smarter2030" si è valutato che, grazie all'implementazione della tecnologia in diversi campi, si può arrivare a evitare, entro il 2030, fino a 12.1 Gt CO₂e all'anno contro 1.25 Gt CO₂e necessarie per alimentare tutto il settore delle ICT [46]. In questo capitolo metteremo proprio a confronto alcuni sistemi tradizionali ed innovativi degni di nota.

5.1 Carbon Footprint Lettera rispetto alle E-mail

Mike Berners-Lee, lo stesso autore che ha calcolato l'impronta di carbonio delle e-mail, i cui dati sono riportati nel paragrafo 4.1, ha stimato il carbon footprint anche per ciò che riguarda le lettere cartacee.

Nel caso della posta tradizionale, la maggior parte dell'impatto è legato alle infrastrutture necessarie per il suo funzionamento: i furgoni, i treni e gli uffici di smistamento. Da considerare vi è, poi, anche la singola lettera che si spedisce. Qui, a incidere, è la tipologia della carta utilizzata. Infatti, per effettuare un'analisi dettagliata sul LCA, si deve considerare anche quanta carta venga smaltita in discariche e quanta ne venga riciclata. Basti pensare che, riciclando 1 kg di carta si evita di produrre quasi 1 kg di CO₂e di metano [47] e che ogni tonnellata di carta riciclata faccia risparmiare 17 alberi, 4100 kWh di energia elettrica, 26 m³ d'acqua e 27 Kg di CO₂ [48].

Le stime si basano sulle medie di riciclo del Regno Unito, dove meno di un quinto della carta usata è riutilizzata. Una lettera scritta su carta completamente riciclata, e che poi verrà nuovamente differenziata dal destinatario, è responsabile di 280 g CO₂e. Mentre, una lettera scritta su un foglio nuovo e gettata alla fine nell'indifferenziata, comporta 350 g CO₂e [26]. Questi dati sono da confrontare con quelli trovati nel capitolo precedente, in cui avevamo osservato che ad una lunga e-mail scritta in 10 minuti e letta in 3, inviata tramite laptop erano imputabili ben 17 g CO₂e.

In questa comparazione, come era facilmente prevedibile, si evince l'enorme differenza dei valori di carbon footprint dei due sistemi presi in esame.

5.2 Libri e Libri Digitali

Questo confronto, come quello precedente sembra scontato, ma non lo è affatto. Procediamo con ordine. Come abbiamo già visto, per produrre i dispositivi elettronici servono grandi quantità di energia e materiali preziosi. Nel lontano 2009, l'azienda americana *Cleantech Group* aveva stimato il carbon footprint di un *Kindle*, l'*e-reader* del marchio *Amazon*, a circa 168 kg CO_{2e} [49]. Nel medesimo anno la stessa azienda aveva calcolato 7.46 kg CO_{2e} di emissioni medie legate alla produzione di un libro basandosi sul *Life Cycle Assessment* valutando l'impatto di: materie prime, lavorazione, stampa, distribuzione e smaltimento. Negli stessi anni, anche la società inglese *Industrial Design Consultancy* (IDC) aveva stimato l'impatto medio di un libro a 8.16 kg CO_{2e}. Per concludere queste stime sui libri, l'americana *Babcock School of Business* aveva supposto che ogni kg di un libro di testo corrispondesse a poco più di 5 kg CO_{2e} e che un libro mediamente pesi 2.18 kg ottenendo così 10.2 kg CO_{2e}. Dalle medesime ricerche emergono anche i carbon footprint medi per i giornali, 0.62 kg CO_{2e}, e per le riviste, 0.95 kg CO_{2e} [50].

Dai numeri comprendiamo che per colmare i 168 kg CO_{2e} del *Kindle* servirebbero circa 22 (~21.44) libri (da 7.46 della stima della *Cleantech*), oppure 169 (~168.42) riviste.

A questo punto un *e-reader* non sembra più essere così sostenibile rispetto ad un libro tradizionale, eppure resta la soluzione più ecologica sia per i lettori assidui sia per quelli più sporadici. Infatti, la vita media del dispositivo è intorno ai 4 anni e per colmare le emissioni prodotte dal *Kindle*, si dovrebbero leggere circa 5 testi e mezzo all'anno. In più, bisogna tenere conto che questi dispositivi sono molto utilizzati per leggere non solo libri ma anche giornali e riviste.

I lettori del formato digitale stanno aumentando anche in Italia, dove nel 2019 sono stati poco meno di 5 milioni, pari al 21.7% dei lettori complessivi e all'8.7% dell'intera popolazione; tale quota è cresciuta rispetto al 2015, quando il dato rilevato era il 7.1% [51].

5.3 Dematerializzazione dei documenti

La dematerializzazione è quella procedura che consiste nella sostituzione della tradizionale gestione documentale cartacea con procedure ICT.

Nel dettaglio, in questo paragrafo analizzeremo uno studio del 2011 svolto dal Politecnico di Milano insieme all'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) sulla dematerializzazione della pubblica amministrazione. Il documento finale, redatto con il nome di "LCA of ICT application for dematerialization in Italian Public Administration", ha preso in esame le procedure esistenti tra il Comune di Rimini e le aziende che operano nel settore turistico. L'analisi è stata svolta applicando l'approccio del Life Cycle Assessment a due scenari proposti (tradizionale e innovativo), con lo scopo finale di valutare il potenziale miglioramento ambientale. Lo studio si è concentrato sull'Ufficio SUAP (Sportello Unico per le Attività Produttive), responsabile di procedure che coinvolgono il Comune e il settore dei servizi (alberghi, negozi, ristoranti e così via). In particolare, esso ha posto l'interesse sulla media di documenti che i ristoranti, gli alberghi e le altre attività turistiche dovevano generare e spedire per ogni comunicazione ufficiale, non solo per il Comune ma anche per le altre istituzioni ufficiali, come Vigili del Fuoco, AUSL ed HERA

I due scenari ricreati per lo studio, sono:

- sistema tradizionale: la documentazione cartacea, la relativa conservazione in archivio, il trasporto tra le strutture ricettive e la sede del SUAP, sia per mezzo di fax che con consegne di persona e quindi con viaggi in macchina.
- sistema innovativo: la documentazione pubblicata on-line, inviata tramite posta elettronica certificata, PEC, e la sua conservazione in archivio telematico.

L'analisi considera i dati di tutta la struttura alberghiera di Rimini, ma, non considera l'impronta legata ai singoli PC delle strutture poiché presenti in entrambi i sistemi e considera trascurabile l'impatto di raffreddamento dei server usati.

I risultati sono stati calcolati per sedici categorie differenti, le quali si possono osservare e paragonare per entrambi i sistemi in figura 5.1.

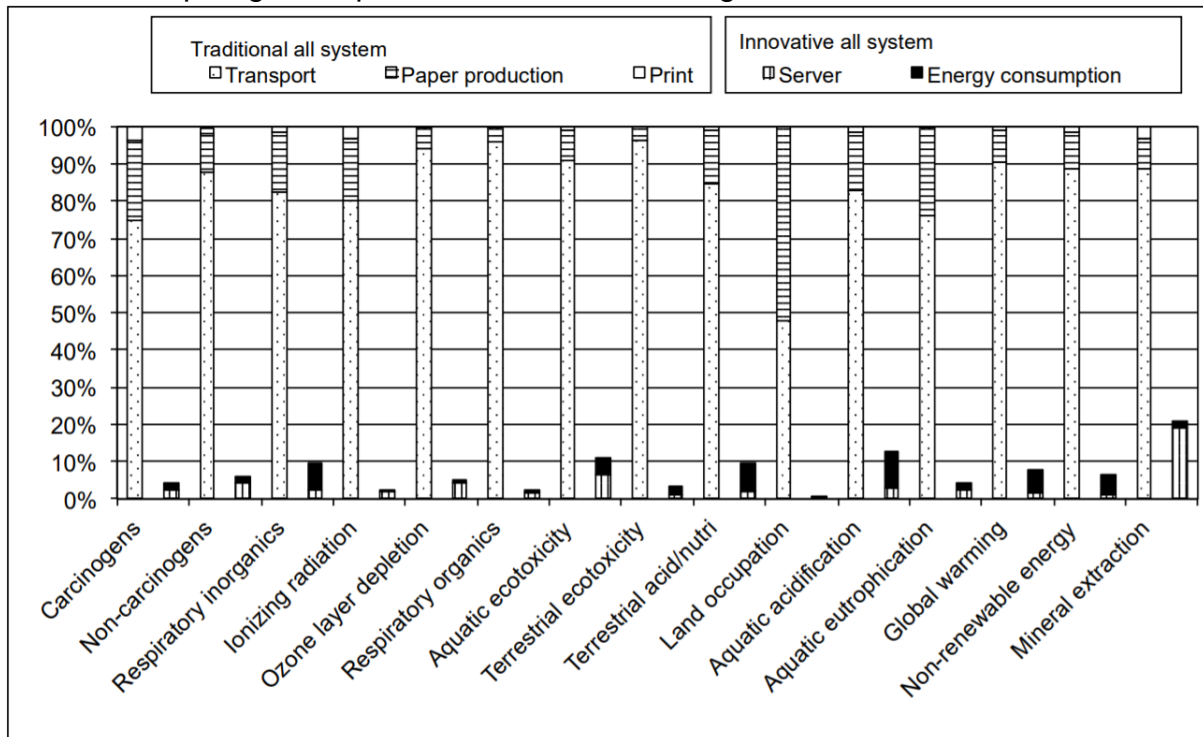


Figura 5. 1- Analisi comparativa del sistema 'tradizionale' (prima barra) e del sistema 'innovativo' (seconda barra) per 15 categorie di esame (fonte: Envirolnfo2011)

La figura presenta due barre per ogni settore di analisi: la prima indica l'impatto del sistema tradizionale espresso nel 100% dei valori reperiti, la seconda rappresenta quello del sistema innovativo reso in una quota percentuale del primo. In più, ciascuna barra è composta dai valori riferiti alla tipologia di inquinante, espressi in quote percentuali tra loro: trasporto, produzione e stampa della carta per lo scenario classico, server e consumo energetico (calcolato con un mix energetico italiano) per la situazione innovativa.

In conclusione, quello che emerge è come il sistema tradizionale generi un carico ambientale maggiore rispetto alla gestione delle procedure con le ICT. La fonte di impatto più rilevante deriva dai trasporti, necessari per la consegna dei documenti di persona, che contribuiscono per circa l'80% sul totale delle emissioni prodotte.

L'analisi è proseguita, affrontando l'ulteriore scenario in cui i documenti siano inviati solamente tramite fax. Anche in questo caso il sistema classico è risultato peggiore in tutti i settori con l'unica eccezione in quello dell'estrazione minerale: dato questo in controtendenza determinato dell'elevato utilizzo di metalli preziosi nella produzione dei server. Lo studio, quindi, sostiene che con l'aumentare dell'utilizzo delle ICT all'interno degli uffici si ridurrà l'impatto ambientale totale. Bisogna notare che ai fini

della ricerca non sono stati considerati altri benefici associati ad una drastica riduzione sia dello spazio che nella gestione temporale dei documenti cartacei. Non sono stati valutati nemmeno eventuali effetti di rimbalzo, come, per esempio, il riciclo di tutta la carta precedentemente usata [52].

5.4 Telelavoro

In Italia, nel 2019, ogni giorno sono stati 33 milioni i pendolari: 22 milioni di persone si sono spostate per andare al lavoro e le altre 11 per andare a scuola [53]. Uno su due si è spostato fuori dal proprio comune. Prima della pandemia, lo *smart working* è stato sfruttato solo dal 5% dei lavoratori per poi salire al 47% durante i primi mesi di *lockdown* del 2020; successivamente, da maggio il valore si è assestato al 30% [54]. In questo periodo ci si è interrogati, spesso, sull'efficacia e sulla riduzione dell'impatto ambientale di questa tecnica di lavoro da casa. In merito a ciò, l'Agenzia ENEA ha provveduto a pubblicare, nel 2020, un'analisi durata un anno, in cui ha coinvolto 29 pubbliche amministrazioni e 5.500 lavoratori. Lo studio ha stimato che con lo *smart working*, applicato al campione analizzato, si può ridurre in media di circa un'ora e mezza la mobilità quotidiana per ciascun individuo, per un totale di 46 milioni di km evitati. In termini di emissioni, si parla di un risparmio di 8000 tonnellate di CO₂, 1,75 tonnellate di PM₁₀ e 17,9 tonnellate di ossidi di azoto [55].

Nel report '*SMARTer2030*' del *Global Enabling Sustainability Initiative*, GeSI, si stima che le soluzioni di E-Business, intese come E-banking, E-commerce e telelavoro, adottate entro il 2030 nel mondo, permetteranno un taglio nel settore lavorativo di 0.6 Gt CO₂e [46].

Sull'argomento vi è anche un documento della Ericsson, redatto a seguito di una ricerca svolta sul caso di un'azienda telefonica svedese, la TeliaSonera, le cui riduzioni di CO₂e per ogni dipendente ammontano al 40%, ovvero, in totale, oltre 2.8 t CO₂e in meno all'anno [56].

Un aspetto, che emerge in questo paragrafo, è che la letteratura esistente su tale argomento sia relativamente scarsa. Vi è uno studio canadese molto approfondito riguardante l'analisi dei documenti esistenti, che denuncia proprio il bisogno di studi completi e a lungo termine per vari contesti: paesi, climi e culture. Infatti, per rispondere alla domanda se il telelavoro possa far risparmiare energia, è necessario

tenere in considerazione anche le importanti implicazioni politiche e tecnologiche esistenti. In quest'ultimo studio, si constata che, nelle diverse ricerche analizzate, il telelavoro risulti essere vantaggioso in termini ambientali, ma che le stime del risparmio siano molto diverse tra loro e che, in quelle più recenti, i benefici siano minori [57]. Quello che più emerge dall'intera documentazione sono i limiti dei metodi di ricerca: per esempio, gli studi a breve termine trascurano tutta una serie di implicazioni che possono derivare dall'adozione di tale forma di lavoro, quali le decisioni dell'acquisto di casa e del veicolo oltre che l'evoluzione della forma urbana.

Principalmente, si possono trarre le conclusioni che il telelavoro sposti gli oneri legati ai consumi ed ai relativi impatti ambientali dal datore di lavoro al dipendente, riconoscendo come vero risparmio ambientale, oltre alle tempistiche, quello legato agli spostamenti, il che può giovare anche sugli aspetti emotivi delle persone come la riduzione dello stress (figura 5.2).

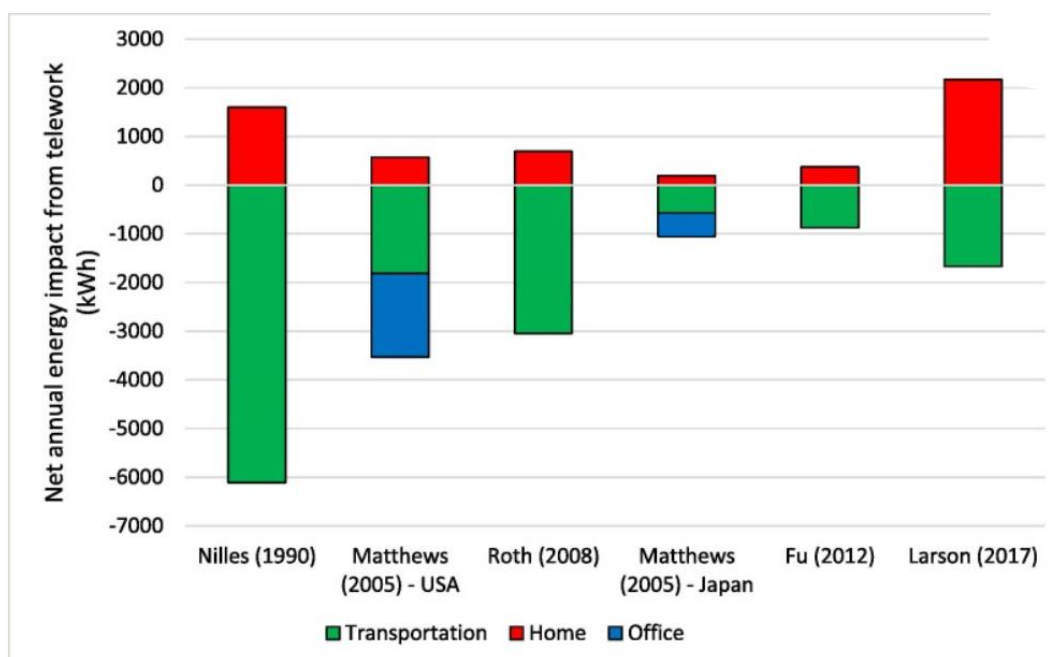


Figura 5. 2- Consumo stimato del telelavoro di un giorno alla settimana rispetto al non telelavoro sull'energia annuale per 6 differenti studi. Dove l'energia netta è positiva indica quella utilizzata dal telelavoro rispetto all'essere in presenza (fonte: US National Library of Medicine)

5.5 E-Health

L'*E-health* consiste nell'uso TIC a vantaggio della salute umana con il fine di rendere il sistema sanitario più affidabile, accessibile ed inclusivo, rendendo tutto il processo più efficiente. Il GeSI ha quantificato la potenziale riduzione di CO_{2e} di questo settore a livello globale, con le previsioni per il 2030, analizzando quattro tecnologie chiave:

- Diagnostica remota: comporta l'uso di dispositivi connessi al web per catturare e comunicare i dati di salute tra le parti interessate.
- Videoconferenza: è la possibilità di comunicare tra chi cerca servizi e chi li fornisce a distanza senza la necessità di spostarsi.
- Archiviazione dei dati in forma elettronica: qui le informazioni sono sempre a disposizione, reperibili e al sicuro.
- Realtà aumentata: permette di fornire assistenza durante la chirurgia e può aiutare la formazione medica.

Il risultato è di 0.007 Gt CO_{2e} solo nel Regno Unito: estrapolando i dati dal PIL, dalla popolazione e dai dati di accesso all'assistenza sanitaria si arriva alla conclusione di un potenziale risparmio di 0.205 Gt CO_{2e} [46]. I dati finali derivano principalmente dalla diminuzione degli spostamenti e dell'uso di strutture sanitarie fisiche. Dallo studio, però, emergono diversi benefici: si stima che entro il 2030 1.6 miliardi di persone avranno i servizi sanitari potenziati dalle ICT; questo comporterebbe grossi risparmi di denaro e una nuova gestione degli spazi urbani liberati da edifici sanitari, non più necessari. A questo proposito, l'azienda norvegese di telecomunicazioni, Telenor, ha svolto uno studio sul "*m-health*", *mobile health*, ovvero l'utilizzo dei dispositivi mobili, come i cellulari, per le pratiche mediche e utili alla salute. Le conclusioni dello studio affermano che il *mobile health* può ridurre i costi nell'assistenza degli anziani del 25%, quelli per la raccolta dei dati fino al 24%; inoltre, può aiutare il trattamento della tubercolosi e ridurre la mortalità materna e perinatale del 30%; infine, permette di raggiungere il doppio dei pazienti per ogni dottore nelle aree rurali [58].

La Ericsson, rifacendosi sugli studi del GeSI, ha fornito, nel 2010, un sistema di e-health al governo croato: sono stati messi in contatto circa 2400 team di assistenza sanitaria di base nelle 20 contee e nella capitale, Zagabria. Il sistema informativo di

rete sanitaria, dopo il progetto, ha fornito referti, prescrizioni e prenotazioni in maniera elettronica: *e-referrals* ed *e-prescriptions*.

Nelle figure 5.3 e 5.4 sono mostrati i soggetti dello studio ed i relativi impatti.

Nell'analisi, il sistema ICT ha compreso il software e le attrezzature necessarie: i PC e i data center, anche se quest'ultimi erano già presenti.

Dai dati della Ericsson è risultato che le emissioni dirette fossero legate al consumo energetico del sistema ICT, mentre, le riduzioni fossero dovute soprattutto a minori spostamenti e minore utilizzo di carta. Infatti, si è stimato che il servizio e-referral abbia permesso di ridurre le visite dei pazienti al medico di base del 50%, e che, in media, i pazienti croati percorressero circa 20 km, tra andata e ritorno, con il 25% di

essi che viaggiasse in auto, mentre il 75% con mezzi pubblici. In conclusione, il sistema innovativo applicato ha comportato emissioni annue pari a 330 t CO₂e ma ha permesso di evitarne circa 15 740 t CO₂e per avere lo stesso servizio [59].

	Primary	Secondary
+ Direct ICT emissions	Emissions from ICT equipment required for e-referrals and e-prescriptions	
- Enabling effects	Reduced private vehicle use Reduced paper use	Reduced public vehicle use Reduced vehicle production Reduced road construction Reduced clinic use* Reduced clinic construction*

Figura 5. 3- Potenziali effetti dell'implementazione del sistema e-health (fonte: GeSI 2010)

*non considerati nello studio in esame

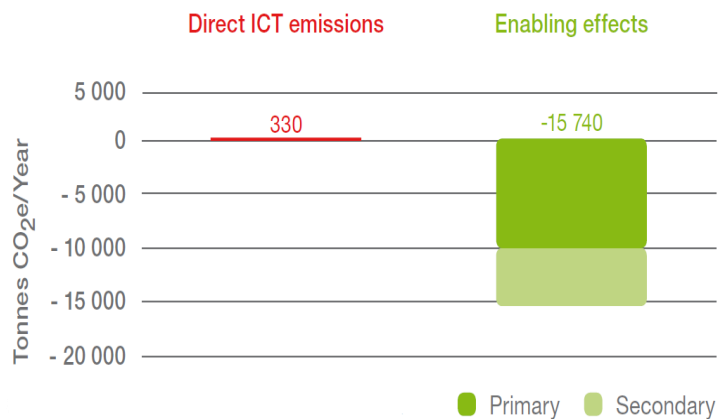


Figura 5. 4- Impatto del sistema e-health (fonte: Ericsson)

5.6 Smart Agricolture e l'agricoltura di precisione

L'ipcc, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici, e stima che attualmente il settore dell'agricoltura, dell'allevamento, della gestione del suolo e delle foreste sia responsabile di emissioni di gas serra annuali pari a 12 miliardi di tonnellate di anidride carbonica equivalente, ovvero a circa il 23% del totale delle emissioni dell'uomo [60]. In questo scenario mondiale nasce la necessità di usare la tecnologia per cercare di mettere un freno a questo impatto: così si è iniziato a parlare di *Smart Agricolture*. Infatti, le TIC, secondo gli esperti, consentiranno agli agricoltori di aumentare l'efficienza delle risorse, la produttività, la resilienza e contribuiranno a ridurre gli sprechi alimentari lungo la catena di approvvigionamento.

A quanto riportato dagli studi del GeSI, entro il 2030, "l'Agricoltura Intelligente" può arrivare a ridurre le emissioni del settore di circa 2 miliardi di t CO₂e all'anno. Questo dato è principalmente legato ad un risparmio energetico e ad un uso più efficiente di acqua e fertilizzanti [46]. Prima di proseguire occorre ricordare che le emissioni annue dell'intero settore delle ICT previste per il 2030, dallo stesso GeSI, sono di circa 1.25 miliardi di t CO₂e. Dallo studio in esame, scaturiscono diversi benefici economici e sociali; per esempio si stimano 2 miliardi di dollari aggiuntivi per le aziende ed un risparmio legato all'acqua di 110 miliardi, salvando circa 250 trilioni (10¹⁸) di litri [46]. La Smart Agricolture è principalmente costituita dalla tecnica della gestione agricola che prende il nome di 'agricoltura di precisione' e consiste nell'utilizzo di attrezzature ad alta tecnologia, soprattutto droni e GPS, per ottimizzare gli input agricoli, come acqua, fertilizzanti, pesticidi, con lo scopo di migliorare la produttività e di ridurre le emissioni. Questa metodologia è in larga diffusione a livello mondiale, mentre, in Italia, nel 2015, il 'Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali' ha analizzato la situazione del Paese, affermando di voler portare, entro il 2021, al 10% i campi che avrebbero sfruttato questa tecnica, contro l'1% di quell'anno [61]. Obiettivo che risulta essere stato mancato anche per via della poca diffusione della banda larga nel Paese, oltre ad altre problematiche prettamente del settore [62] [63].

Quello che emerge dall'analisi della letteratura riguardo all'agricoltura di precisione è che le ricerche fossero, in un primo momento, esclusivamente mirate alla produttività dei campi senza preoccuparsi delle emissioni; si è pensato che queste,

ragionevolmente, potessero calare visto l'ottimizzazione dell'intero sistema. Questa tendenza di ricerca, appunto, sta cambiando. Infatti, negli ultimi anni, ci sono stati maggiori studi sulle implicazioni che queste tecniche possano avere sull'ambiente, ma non avendo ancora stime concrete possiamo solo rimetterci alle cifre del GeSI [64][65][66].

5.7 Smart Mobility

Ad oggi i trasporti consumano un terzo di tutta l'energia finale nell'UE, sono responsabili di oltre un quarto delle emissioni totali di gas serra dell'UE e si stima un loro aumento. Oltre il 70% dell'impatto è legato ai veicoli di terra (auto, furgoni, camion e autobus); la quota restante deriva dal trasporto marittimo ed aereo. Gli inquinanti atmosferici che gli si imputano sono il biossido di azoto, NO₂, e il particolato [67].

La *Smart Mobility* è uno strumento per ottenere uno sviluppo sostenibile delle città e nasce dalla combinazione delle infrastrutture per la mobilità, come parcheggi, veicoli, reti di ricarica e segnaletica con la tecnologia. Al suo interno comprende servizi come, per esempio, il noleggio auto *on demand*, il *car sharing*, il *bike sharing*, i veicoli elettrici e quelli senza pilota.

Il GeSI ha provato a quantificare il risparmio che potrebbe portare questa innovazione. Vista la gran vastità degli argomenti e la derivante complessità di valutazione lo studio si è concentrato su tre principali aspetti:

- Controllo e ottimizzazione del traffico: sfruttamento dei sensori per rendere il traffico, la guida e il parcheggio più efficienti.
- Trasporto privato: utilizzo di Car Sharing o Car Pool.
- Smart Logistics: miglioramento del percorso e del carico riducendo gli sprechi.

Dalla ricerca risulta che, grazie all'adozione di queste tecniche, si potrebbero evitare fino a 2.6 Gt CO₂e all'anno entro il 2030. Inoltre, viene sottolineato che se lo stile di vita cambiasse grazie all'utilizzo delle TIC in altri ambienti, come il lavoro, la salute, il commercio ecc., si potrebbe avere un altro taglio di 1.0 Gt CO₂e nel settore della mobilità [46].

Gli studi recenti confermano questa tendenza ma, ancora, dichiarano di non avere abbastanza informazioni per poter fare delle effettive previsioni con i dati a disposizione. Nel dettaglio, nella tabella 5.1, possiamo osservare il rilevamento degli

inquinanti a distanza di un anno, a seguito dell'implementazione di *Smart Mobility*, in 4 città campione: Berlino (Germania), Kaunas (Lituania), Riga (Lettonia) e Tartu (Estonia)[68].

Tabella 5. 1- Rilevazioni dell'inquinamento nel 2019 e 2020 per le 4 città campione (fonte: *Smart-mobility services for climate mitigation in urban areas: Case studies of baltic countries and Germany*)

Pollutant/City	Berlin		Kaunas		Riga		Tartu	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Year	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
NO ₂ (µg/m ³)	31.2	22.7	20.0	16.0	22.5	NA	9.8	6.9
PM _{2.5} (µg/m ³)	12.8	11.5	11.0	10.6	12.1	NA	5.7	5.1
PM ₁₀ (µg/m ³)	19.6	17.8	34.0	23.0	27.4	NA	12.1	13.2

Purtroppo, questi dati sono fortemente influenzati anche dalle misure di contenimento per via della diffusione pandemica da SarS-Cov2. Infatti, nel 2020 sono state applicate diverse misure di restrizione degli spostamenti all'interno e tra le aree urbane, che hanno avuto effetti ambientali positivi, migliorando la qualità dell'aria locale e riducendo le emissioni di gas serra. Il tutto, però, ha impedito di capire la portata delle innovazioni implementate.

La pandemia e le sue ripercussioni hanno, probabilmente, alterato il contesto in cui operano le strategie di mobilità sostenibile. Si è avuto un forte impatto sulla domanda di modalità di trasporto, ad esempio, mentre l'uso del trasporto pubblico è calato fortemente in molte città, i sistemi di bike-sharing sono stati meno colpiti [69].

In ogni caso, la ripresa dalla crisi causata dalla pandemia COVID-19 dovrebbe essere utilizzata per accelerare la decarbonizzazione e la modernizzazione dell'intero sistema dei trasporti e della mobilità, limitando il suo impatto negativo sull'ambiente e migliorando la sicurezza e la salute.

6. REGOLAMENTAZIONI E METODI DI ANALISI

Dai capitoli precedenti emerge che le implementazioni tecnologiche siano fondamentali per migliorare l'efficienza dei servizi ed ottenere diversi benefici come la mitigazione delle emissioni dei gas serra. La sfida che l'uomo si trova ad affrontare sembra essere quella di disaccoppiare la crescita economica dalla crescita di emissioni. Dai dati della Banca Mondiale si evince che, per ogni crescita dell'1% del PIL globale, le emissioni di CO₂e sono aumentate di circa lo 0,5% [46][70][71][72]. Se, a livello globale, si ha questo fenomeno di crescita di pari passo, in alcuni Stati del mondo si è già avuta un'inversione. Infatti, osservando la figura 6.1 vediamo che con la crescita del PIL pro capite si ha un calo delle emissioni di CO₂ pro capite, come è avvenuto in Germania, Francia, USA ed in parte anche in Italia, dove il PIL non è proprio aumentato. Invece, Paesi come Cina e India hanno una tendenza di crescita costante di entrambi.

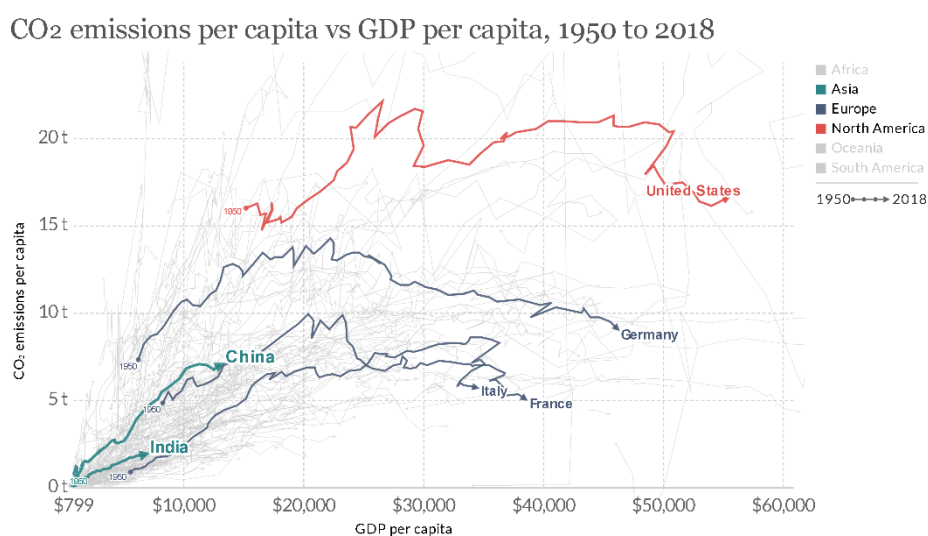


Figura 6. 1- Emissioni CO₂ pro capite e PIL (GDP) pro capite dal 1950 fino al 2018
(fonte: ourworldindata)

Tutti questi dati sottolineano il bisogno di una progettazione intelligente a livello globale, che deve essere guidata da regolamentazioni adeguate e metodi di valutazione accurati, comuni e condivisi. Gli oneri ed i doveri da assumere per vincere questa sfida gravano non solo sugli Stati ma anche sui privati. In questo capitolo analizzeremo le regolamentazioni e la standardizzazione delle ICT Europee.

6.1 Regolamentazioni e Standardizzazioni europee

L'Accordo di Parigi del 2015 si può considerare come un momento di svolta; grazie ad esso gli Stati si sono impegnati a ridurre le emissioni dei gas serra già dal 2020. Da quell'avvenimento, le principali attenzioni e gli investimenti globali, sia degli Stati, che delle imprese private, si sono riversate sui settori legati alla sostenibilità ed all'ambiente. Fra i diversi metodi per ridurre l'impatto antropico, vi è quello di utilizzare, su larga scala, come si è visto nel capitolo 5, le tecnologie dell'informazione e della comunicazione.

Nel 2019, l'Unione Europea ha presentato il Green Deal Europeo o Patto Verde Europeo, con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050. Per perseguire questo scopo, l'UE ha previsto un piano d'azione volto a promuovere l'uso efficiente delle risorse passando ad un'economia pulita e circolare, ed a ripristinare la biodiversità e ridurre l'inquinamento. Secondo il piano della Commissione Europea, i punti cardine per riuscire nel progetto sono [73]:

- Investimenti in tecnologie rispettose dell'ambiente.
- Sostegno dell'industria dell'innovazione.
- Introduzione di forme di trasporto privato e pubblico più pulite, più economiche e più sane.
- Decarbonizzazione del settore energetico.
- Garantire maggior efficienza energetica degli edifici
- Collaborazione con partner internazionali per migliorare gli standard ambientali mondiali.

Come si evince dai punti sopramenzionati, al centro di tutto il piano europeo vi sono proprio le ICT e, tramite questo progetto, l'UE prevede di fornire finanziamenti fino a 100 miliardi di euro nel periodo 2021-2027.

La Commissione Europea, presentando il *NextGenerationEU*, lo strumento temporaneo per la ripresa da 750 miliardi di euro, finalizzati a riparare i danni economici e sociali legati alla pandemia, intende erogare il finanziamento con lo scopo di rendere l'Europa "*più verde, digitale, resiliente e adeguata alle sfide presenti e future*"[74]. Anche in questo progetto l'innovazione tecnologica digitale è una prerogativa per il futuro.

Quindi, le ICT sono strettamente legate ai progetti di sviluppo, sia lavorativi che ambientali dell'UE: non si può parlare di progresso senza prendere in considerazione le tecnologie dell'informazione e della comunicazione. Però, affinché l'introduzione su larga scala di queste tecnologie possa essere utilizzata realmente per gli scopi prefissati, occorre che il settore sia continuamente controllato e lo sviluppo ben orientato. A questo proposito, negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi strumenti da parte dell'Unione Europea per cercare di orientare lo sviluppo delle ICT in maniera responsabile.

In primo luogo, con lo scopo di creare degli standard comuni, la Commissione Europea, in questo ambito, finanzia tre organizzazioni:

- ETSI, European Telecommunications Standards Institute: un organismo, istituito nel 1988, ufficialmente responsabile della definizione e dell'emissione di standard nel campo delle telecomunicazioni in Europa.
- CEN, European Committee for Standardization: un ente normativo, fondato nel 1961, che ha lo scopo di armonizzare e produrre norme tecniche europee in collaborazione con enti nazionali e sovranazionali.
- CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization: il comitato responsabile dal 1973 per la normalizzazione elettrotecnica.

Le tre organizzazioni sopra menzionate sono senza scopo di lucro ed indipendenti, lavorano a stretto contatto con l'Unione Europea, pur essendo istituzioni della stessa. Questi enti risultano fondamentali, poiché, secondo la Commissione, avere standard comuni per le ICT è una delle misure necessarie per assicurare che le industrie europee siano all'avanguardia nello sviluppo e nello sfruttamento delle suddette tecnologie: essi assicurano l'interoperabilità e garantiscono che tali tecnologie lavorino insieme in modo fluido e affidabile [75].

La Commissione ha anche identificato, come fondamentali per lo sviluppo, cinque aree prioritarie della digitalizzazione: 5G, Internet of Things, Cloud Computing, Cybersecurity e Data Technologies.

Nel 2015, la Commissione Europea, sotto la guida di Jean-Claude Juncker, ha istituito il Mercato Unico Digitale, Digital Single Market (DSM), una serie di politiche che si propongono di adeguare il mercato unico dell'UE all'era digitale, passando da 28 mercati digitali nazionali a uno unico, e, quindi, di aprire i servizi digitali a tutti cittadini e rafforzare la competitività delle imprese nell'economia digitale [76]. Nel dettaglio, il DSM si articola in 30 proposte legislative, di cui 28 già approvate dal Parlamento

europeo e dal Consiglio dell'Unione europea, tra le quali vi sono le note leggi che hanno riguardato l'abolizione del roaming europeo e l'aggiornamento delle norme sulla protezione dei consumatori [77], mentre le rimanenti sono ancora sul tavolo per l'approvazione.

In aggiunta, sempre la Commissione ha istituito [75]:

- *European Multi-Stakeholder Platform on ICT Standardisation*: un gruppo consultivo di esperti sulle questioni delle ICT, composto da rappresentanti degli Stati membri dell'UE e dell'EFTA (Associazione Europea Libero Scambio) e dai rappresentanti di organismi di standardizzazione europei ed internazionali. Questa piattaforma ha proprio lo scopo di *'aiutare l'industria europea a guidare la doppia transizione verso la neutralità del clima e la leadership digitale'* [75]. In particolare, gli esperti si riuniscono quattro volte l'anno, per definire: le potenziali esigenze future di standardizzazione a sostegno delle politiche europee, specifiche tecniche e la cooperazione tra organizzazioni che definiscono gli standard. Infine la piattaforma ha il compito di stilare il *Rolling Plan*[78].
- *Rolling plan for ICT standardisation*: un piano che viene aggiornato annualmente ed elenca tutti i possibili aspetti identificati dalle politiche europee come prioritari in cui standard o specifiche tecniche delle ICT dovrebbero giocare un ruolo chiave nell'attuazione [79].
- *Annual Union Work Programme for European Standardisation*: è un programma che stabilisce le intenzioni della Commissione di utilizzare la standardizzazione a sostegno di normative e politiche nuove o esistenti. Queste intenzioni possono portare a richieste formali di standardizzazione [80].

6.2 Strumenti di valutazione ambientale delle ICT della Commissione Europea

Come detto nel paragrafo precedente, la Commissione Europea si affida ad enti indipendenti per la definizione degli standard, con cui, però, collabora e svolge ricerche tramite le proprie Direzioni Generali ad essa interne. Queste nel dettaglio sono:

- La ‘Direzione Generale delle Reti, dei Contenuti e della Tecnologia della Comunicazione’ (DG CONNECT) svolge il servizio responsabile dello sviluppo di un mercato unico digitale per generare una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva in Europa. Essa ha svolto uno studio, insieme all’ente di standardizzazione internazionale ITU-T, per identificare la metodologia con cui valutare l’impatto ambientale delle ICT nelle città. Questo ha portato alla formulazione dello standard ITU-T L.1440 [8], che, nello specifico, contiene una descrizione generale delle metodologie da utilizzare per la valutazione ambientale a livello cittadino delle ICT: queste metodologie si limitano a stimare il consumo energetico ed alle emissioni di GHG [81]. Sempre DG CONNECT ha svolto un ulteriore studio sull’applicazione pratica delle nuove metodologie per misurare l’impatto ambientale delle ICT. Di questo, nel 2014, è stato pubblicato un report molto dettagliato, “Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT”, che espone ed analizza le criticità ed i benefici dei diversi metodi di analisi esistenti in base anche all’elemento che si è preso in esame [82].
- La ‘Direzione Generale dell’Ambiente’ della Commissione Europea (DG ENV), responsabile della politica dell’UE sull’Ambiente, ha attualmente avviato un progetto pilota sull’impronta ambientale dei prodotti, tra i quali diverse apparecchiature ICT come gruppi di continuità e batterie.
- La ‘Direzione Generale del Mercato interno, dell’industria, dell’imprenditoria e delle PMI’, (DG GROW), che lavora alla creazione di un ambiente in cui le imprese europee possano prosperare, sta esaminando una misura di ecodesign per i server aziendali ed i dispositivi di archiviazione dati. Da quest’ultimo studio si vogliono definire degli indicatori prestazionali chiave globali (KPI) [8].

Tutti gli elementi riportati nel capitolo sono la riprova di quanto, per l’Unione Europea, sia importante il settore delle ICT e quanto questo richieda impegno e sostegno per essere sviluppato in maniera responsabile.

7. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo elaborato è stato quello di analizzare la letteratura esistente per comprendere l'impatto che le tecnologie dell'informazione e della comunicazione possono avere sull'ambiente dal punto di vista delle emissioni di gas serra e del consumo energetico stimato mediante il Life Cycle Assessment (LCA), per, poi successivamente, analizzare l'impatto ambientale di sistemi innovativi che sfruttano la tecnologia rispetto a quelli tradizionali.

Si è deciso di esaminare gli studi svolti con il metodo del *Life Cycle Assessment* perché lo si ritiene il più completo per analizzare sistemi tanto complicati sebbene, come emerso nei capitoli precedenti, manchi ancora "*trasparenza e coerenza nella misurazione e nella rendicontazione dell'impronta dei prodotti, servizi, reti e aziende*" [20]. Gli studi tramite LCA si basano principalmente sulle ipotesi e sugli scenari ricreati, visto che si cerca di analizzare il mondo reale tramite un modello semplificato. I risultati possono variare molto da una ricerca all'altra, poiché gli scopi, le ipotesi e gli scenari dello studio possono essere diversi: per esempio, uno studio può tralasciare impatti o processi che un altro ha incluso. In più, come si è visto nel capitolo 4 in relazione ai laptop, i prodotti del settore ICT possono essere molto diversi fra loro anche se appartengono alla stessa categoria.

Queste variazioni negli approcci LCA e nei risultati possono confondere l'affidabilità di uno studio con questo metodo. Esso, però, è sfruttato dalla quasi totalità degli standard sviluppati per la stima dell'impatto ambientale. Il suo diffuso utilizzo risiede nel fatto che esso, valutando l'intero ciclo di vita di un prodotto, permette di identificarne i punti critici e, di conseguenza, fornisce la possibilità di migliorare quei momenti della vita senza gravare su altri. Se per svolgere la medesima valutazione ci si soffermasse solo su indicatori chiave, i miglioramenti del dato potrebbero andare a pesare su altri istanti del ciclo vitale.

Nel capitolo 4 si sono proprio analizzati diversi studi del LCA di alcuni prodotti appartenenti alle ICT. Tuttavia, l'applicazione di questa tecnica di analisi, con tale metodologia, è risultata essere non molto efficace per confrontare prodotti singoli, vista la grande differenza che c'è tra gli stessi e l'incertezza presente nei dati.

Un altro esempio, oltre a quello dei laptop precedentemente citato, è legato alle emissioni di CO₂e per una ricerca con Google (paragrafo 4.2). Infatti, il carbon

footprint risulterebbe diverso nel caso in cui la ricerca fosse fatta su un altro motore di ricerca. A questo proposito, Greenpeace, nel 2017, ha stilato un report “ClickClean2016” da cui è emerso che, mentre Google è alimentato per solo il 14% da fonti a carbone, Baidu, un motore di ricerca cinese, ne è invece alimentato per circa il 67% (figura 7.1) [83].

Concludendo questa prima parte, gli studi con metodo LCA applicato al singolo prodotto o servizio possono

invece essere utili per rendere l’idea dell’ordine di grandezza che può avere l’impatto ambientale, creare consapevolezza di esso e fornire una base di dati per comparazione tra scenari ICT con diverse implementazioni e non ICT.

Piuttosto, questa tecnica di analisi è risultata più utile per fare comparazioni tra scenari ICT e non ICT. Da questa seconda metodologia di applicazione del LCA è emerso come, a certe condizioni, il sistema innovativo aiuti a ridurre l’impatto ambientale, come si è visto nel capitolo 5.

Nella seconda parte dell’elaborato, si è parlato spesso di mancanza di dati affidabili o di scarsa letteratura a riguardo. Negli ultimi anni, specialmente a partire dall’accordo di Parigi (2015), le ricerche mondiali si sono concentrate su tematiche ambientali e di sostenibilità. Quindi, nel 2021, ci troviamo di fronte a studi non recenti e quindi con dati in molti casi non più rispondenti alla realtà attuale, o, altri recenti, che sono studi di breve durata, che rischiano di non essere precisi ed esaustivi, come si è visto per il telelavoro, paragrafo 5.4. Addirittura, come nel caso dello studio di *Smart Mobility*, citato nel paragrafo 5.7, i risultati possono essere influenzati da modifiche radicali del comportamento umano, legate in quel caso alle misure di contenimento del Covid-19, che hanno impedito un’analisi precisa delle innovazioni prese.

Nonostante ciò, dalla comparazione delle due tipologie di sistemi si è compresa la grande opportunità che le ICT possono offrire all’ambiente, ma solo se l’implementazione è guidata da una regolamentazione responsabile.

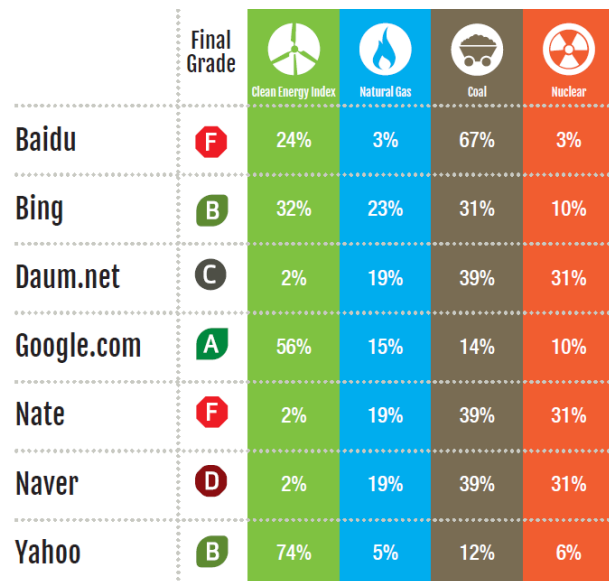


Figura 7. 1- Provenienza (in percentuale) delle fonti energetiche per i principali motori di ricerca (fonte: Greenpeace)

L'Unione Europea punta a sfruttare le ICT proprio per perseguire i propri progetti ambientali e non solo, poiché queste possono offrire, se impiegate adeguatamente, miglioramenti in diversi campi della società non trattati nella tesi, come, per esempio, opportunità lavorative. L'obiettivo delle istituzioni europee è quello di cercare di impostare una società basata sull'economia circolare e per farlo sono necessarie le TIC abbinate a fonti di energia rinnovabili.

Tuttavia, l'impegno in ambito ambientale non può essere solo delle istituzioni nazionali o sovranazionali, ma deve esserlo anche delle imprese private che in questi anni stanno cercando di passare da una impostazione organizzativa basata sul modello Friedman, in cui le imprese devono focalizzarsi sul produrre profitto da distribuire solo agli azionisti, ad un'organizzazione ispirata al modello Freeman. Quest'ultimo propone di portare il beneficio del profitto a tutti gli *stakeholders*, ovvero a ciascuno dei soggetti direttamente o indirettamente coinvolti nell'attività. In quest'ottica, se si va a investire negli stakeholders, l'impresa avrà un ritorno nei profitti. Questo cambio di idea di impresa porterà ad un maggior investimento nella vita dei lavoratori. Un esempio di ciò lo si è visto analizzando al paragrafo 4.5 il *Life Cycle Assessment* dell'iPhone; l'Apple, infatti, sostiene che le fabbriche produttrici dei componenti dei dispositivi adottino un Codice dell'azienda. Tra gli obblighi che la "Mela" impone a tutti i collaboratori, vi è quello dell'utilizzo o del passaggio a energie rinnovabili che essa sostiene di aiutare.

Concludendo, come ha detto la Presidente del Parlamento Europeo, Ursula von der Leyen, nel suo discorso di insediamento il 27 Novembre 2019: *"La digitalizzazione sta rendendo possibili cose impensabili anche solo una generazione fa"*, e ancora *"La digitalizzazione ci permetterà di gestire le risorse in modo più efficace e più efficiente, perché saremo in grado di calibrare tutto con precisione: il consumo di acqua, l'energia, tutte le preziose risorse del nostro pianeta. La digitalizzazione cambierà la nostra società, la nostra economia, la nostra amministrazione - alla radice"* [84].

Le ICT sono il presente ed il futuro della società ed è proprio per questo che è necessario monitorarle e svilupparle consapevolmente, perché per quanto l'impatto ambientale di esse possa sembrare basso, non è mai nullo.

8. SITOGRAFIA:

- [1] “Messaggio del Segretario Generale in occasione della Giornata Mondiale della Madre Terra - UNRIC Italia.” <https://unric.org/it/messaggio-del-segretario-generale-in-occasione-della-giornata-mondiale-della-madre-terra/> (accessed Apr. 23, 2021).
- [2] “Il cambiamento climatico, le basi,” *Il Post*. <https://www.ilpost.it/2021/04/22/giornata-terra-cambiamento-climatico/> (accessed Apr. 23, 2021).
- [3] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), “ICT Sector Helping to Tackle Climate Change,” 2016. <https://unfccc.int/news/ict-sector-helping-to-tackle-climate-change> (accessed Apr. 23, 2021).
- [4] “How ‘Sustainable’ Web Design Can Help Fight Climate Change,” *Wired*. <https://www.wired.com/story/sustainable-software-design-climate-change/> (accessed Apr. 23, 2021).
- [5] “Approaches To Crisis Management: When The Problem Isn’t The Real Problem.” <https://www.forbes.com/sites/forbescoachescouncil/2019/10/30/approaches-to-crisis-management-when-the-problem-isnt-the-real-problem/?sh=6ecff7a260e5> (accessed Apr. 23, 2021).
- [6] Harold J. Leavitt and Thomas L. Whisler, “Management in the 1980’s,” *Management*, 2000. <https://hbr.org/1958/11/management-in-the-1980s> (accessed May 04, 2021).
- [7] H. Kagermann, W.-D. Lukas, and W. Wahlster, “Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution,” *VDI Nachrichten*, 2011. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution> (accessed Mar. 22, 2021).
- [8] “ICT ENVIRONMENTAL IMPACT | Joinup.” <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/ict-environmental-impact> (accessed Mar. 22, 2021).
- [9] ITU, “Measuring the Information Society Report,” 2014. Accessed: Mar. 30, 2021. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2015/MISR2015-w5.pdf>.
- [10] ISTAT, “CITTADINI, IMPRESE E ICT,” 2015. Accessed: Mar. 30, 2021.

- [Online]. Available: https://www.istat.it/it/files/2015/12/Cittadini-Imprese-e-nuove-tecnologie_2015.pdf?title=Cittadini%2C+imprese+e+ICT++21%2Fdic%2F2015++Testo+integrale+e+nota+metodologica.pdf.
- [11] ITU, “Measuring the Information Society Report 2017 Volume 1,” 2014. Accessed: Mar. 30, 2021. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2017/MISR2017_Volume1.pdf.
- [12] ITU, “Measuring the Information Society Report 2017 Volume 2. ICT country profiles,” 2014. Accessed: Mar. 30, 2021. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2017/MISR2017_Volume2.pdf.
- [13] ISTAT, “Cittadini e ICT,” 2019. Accessed: Mar. 30, 2021. [Online]. Available: <https://www.istat.it/it/files/2019/12/Cittadini-e-ICT-2019.pdf>.
- [14] “Ministri per l’innovazione tecnologica e la transizione digitale della Repubblica Italiana - Wikipedia.” https://it.wikipedia.org/wiki/Ministri_per_l%27innovazione_tecnologica_e_la_transizione_digitale_della_Repubblica_Italiana (accessed Apr. 24, 2021).
- [15] “Il digitale regge il colpo della pandemia. La domanda tornerà a crescere nel biennio 2021-2022,” *Ministro per l’innovazione tecnologica e la transizione digitale*, 2021. <https://ildigitaleinitalia.it/rapporto-assinform/comunicati-stampa/copia-di-il-digitale-regge-il-colpo-della-pandemia-la-domanda-tornera-a-crescere-nel-biennio-2021-2022.kl> (accessed Apr. 23, 2021).
- [16] R. Katz, “ECONOMIC IMPACT OF COVID-19 On Digital Infrastructure,” 2020. Accessed: Mar. 30, 2021. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/2020/Documents/GSR-20_Impact-COVID-19-on-digital-economy_DiscussionPaper.pdf.
- [17] “Digital trends in Europe 2021 - My ITU.” <https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2021/02/05/14/28/Digital-trends-in-Europe-2021> (accessed Mar. 30, 2021).
- [18] “Digitale, l’Italia nel gruppo di testa in Europa,” 2021. <https://innovazione.gov.it/notizie/articoli/digitale-l-italia-nel-gruppo-di-testa-in-europa/> (accessed Apr. 24, 2021).
- [19] “ICT Carbon footprint | ICTFOOTPRINT.eu.” <https://ictfootprint.eu/en/about/ict-carbon-footprint/ict-carbon-footprint> (accessed May 04, 2021).

- [20] S. (Öko-institut) Prakash, Y. (Öko-institut) Baron, R. (Öko-institut) Liu, Berlin), M. (Technische U. Proske, and A. (Technische U. B. Schlösser, “Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis Executive summary,” no. Smart2012/0064, p. 11, 2014, [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d2235b7a-2c60-4937-a87d-e46e23f44f21>.
- [21] F. Guldbrandsson and P. Bergmark, “Opportunities and limitations of using life cycle assessment methodology in the ICT sector,” 2012, [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/opportunities-and-limitations-of-using-life-cycle-assessment-methodology-in-the-ict-sector>.
- [22] “Glossary:Greenhouse gas (GHG) - Statistics Explained.” [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Greenhouse_gas_\(GHG\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Greenhouse_gas_(GHG)) (accessed Apr. 04, 2021).
- [23] “DOMANDE E RISPOSTE SUI GAS FLUORURATI.” Accessed: Apr. 04, 2021. [Online]. Available: <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2020/10/Domande-e-Risposte-sugli-Fgas.pdf>.
- [24] “Greenhouse gas emission intensity of electricity generation — European Environment Agency.” https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-6#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111 (accessed Apr. 04, 2021).
- [25] “Tracking Power 2020 – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/tracking-power-2020> (accessed May 06, 2021).
- [26] M. Berners-Lee, How Bad Are Bananas?: The carbon footprint of everything. Profile Books, 2020.
- [27] Radicati, “a Technology Market Research Firm,” 2019. Accessed: May 05, 2021. [Online]. Available: <https://www.radicati.com/wp/wp-content/uploads/2017/06/Email-Market-2017-2021-Executive-Summary.pdf>
- [28] “E-mail spam rate worldwide 2018 | Statista.” <https://www.statista.com/statistics/270899/global-e-mail-spam-rate/> (accessed May 05, 2021).

- [29] "Italy: email monthly active users by platform 2018 | Statista." <https://www.statista.com/statistics/892355/e-mail-monthly-active-users-by-platform-in-italy/> (accessed May 05, 2021).
- [30] "Calculating The Carbon Footprint Of A Google Search." <https://searchengineland.com/calculating-the-carbon-footprint-of-a-google-search-16105> (accessed May 05, 2021).
- [31] Google, "Official Google Blog: Powering a Google search," 2009. <https://googleblog.blogspot.com/2009/01/powering-google-search.html%0Ahttp://googleblog.blogspot.com/2009/01/powering-google-search.html> (accessed May 05, 2021).
- [32] Internet Live Stats, "Google Search Statistics - Internet Live Stats," Internet Live Stats, 2019. <http://www.internetlivestats.com/google-search-statistics/> (accessed May 05, 2021).
- [33] G. Kamiya, "The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines," International Energy Agency, 2020. <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines> (accessed May 06, 2021).
- [34] Netflix, "Environmental Social Governance 2019 Sustainability Accounting Standards Board (SASB) Report," 2019. Accessed: May 06, 2021. [Online]. Available: https://s22.q4cdn.com/959853165/files/doc_downloads/2020/02/0220_Netflix_EnvironmentalSocialGovernanceReport_FINAL.pdf.
- [35] E. Keslassy, "Netflix's Cindy Holland Says Subscribers Watch an Average of Two Hours a Day," Variety, 2019. <https://variety.com/2019/tv/news/netflix-cindy-holland-subscribers-watch-average-two-hours-day-1203159868/> (accessed May 06, 2021).
- [36] The University of Cambridge, "Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)," The University of Cambridge, 2017. https://cbeci.org/mining_map/%0Ahttps://cbeci.org/cbeci/comparisons%0Ahttps://cbeci.org/ (accessed May 06, 2021).
- [37] IEA, "Global CO2 emissions in 2019 Analysis - IEA," Agency, 2019. <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019> (accessed May 07, 2021).

- [38] “Bitcoin energy use - mined the gap – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap> (accessed May 06, 2021).
- [39] A. Inc, “Product Environmental Report iPhone 12 Pro Max Made with better materials Tackling climate change,” 2020. Accessed: May 06, 2021. [Online]. Available: https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_12_PER_Oct2020.pdf.
- [40] M. Ercan, J. Malmudin, P. Bergmark, E. Kimfalk, and E. Nilsson, “Life Cycle Assessment of a Smartphone,” 2016, doi: 10.2991/ict4s-16.2016.15.
- [41] International Energy Agency, “Digitalization and Energy – Analysis - IEA,” 2017. <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (accessed May 07, 2021).
- [42] A. Andrae, “Comparison of Several Simplistic High-Level Approaches for Estimating the Global Energy and Electricity Use of ICT Networks and Data Centers,” International Journal of Green Technology, 2019. https://www.researchgate.net/publication/336284632_Comparison_of_Several_Simplistic_High-Level_Approaches_for_Estimating_the_Global_Energy_and_Electricity_Use_of_ICT_Networks_and_Data_Centers (accessed May 07, 2021).
- [43] IEA, “Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis,” 2020. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks#%0Ahttps://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> (accessed May 07, 2021).
- [44] L. Belkhir and A. Elmeligi, “Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations,” J. Clean. Prod. J., 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.239.
- [45] J. Malmudin and D. Lundén, “The energy and carbon footprint of the global ICT and E & M sectors 2010-2015,” 2018. doi: 10.3390/su10093027.
- [46] “#SMARTer2030 ICT Solutions for 21 st Century Challenges,” 2015. Accessed: May 07, 2021. [Online]. Available: https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf.
- [47] URBN, “Re-Use and Recycle.” <https://www.urbn.com/global-community-initiatives/sustainability/reuse-and-renewal> (accessed May 29, 2021).

- [48] University of Southern Indiana, "Paper Recycling Facts - University of Southern Indiana." <https://www.usi.edu/recycle/paper-recycling-facts/> (accessed May 28, 2021).
- [49] "Books vs e-Books Calculator." <https://www.omnicalculator.com/ecology/books-vs-ebooks> (accessed May 29, 2021).
- [50] "The environmental impact of Amazon's Kindle Executive Brief," 2009. Accessed: May 29, 2021. [Online]. Available: www.cleantech.com.
- [51] ISTAT, "La produzione e la lettura di libri in italia." 2012, Accessed: May 30, 2021. [Online]. Available: https://www.istat.it/it/files//2021/01/REPORT_LIBRI-REV_def.pdf.
- [52] N. Mirabella, L. Rigamonti, and S. Scalbi, "LCA of ICT application for dematerialization in Italian Public Administration," 2011, Accessed: May 31, 2021. [Online]. Available: <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol7233/0737.pdf>.
- [53] "Spostamenti sul territorio 3." Accessed: May 31, 2021. [Online]. Available: https://www.istat.it/it/files//2020/05/spostamenti-sul-territorio_2019.pdf.
- [54] Istat Istituto Centrale di Statistica, "Il mercato del lavoro 2020. Una lettura integrata," 2020. Accessed: May 31, 2021. [Online]. Available: https://www.istat.it/it/files//2021/02/Nota-stampa_Rapporto-Mercato-del-lavoro_2020_def.pdf.
- [55] "PA: smart working, ENEA pubblica la prima indagine nazionale realizzata con 29 amministrazioni." <https://www.enea.it/it/Stampa/news/pa-smart-working-enea-pubblica-la-prima-indagine-nazionale-realizzata-con-29-amministrazioni> (accessed May 31, 2021).
- [56] J. Malmodin, D. Lundén, and N. Lövehagen, "Methodology for life cycle based assessments of the CO2 reduction potential of ICT services," Proc. 2010 IEEE Int. Symp. Sustain. Syst. Technol. ISSST 2010, 2010, doi: 10.1109/ISSST.2010.5507738.
- [57] W. O'Brien and F. Yazdani Aliabadi, "Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods," Energy and Buildings, vol. 225. Elsevier Ltd, p. 110298, Oct. 15, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110298.

- [58] T. B. C. Group, "The Socio-Economic Impact of Mobile Health," Bost. Consult. Gr., no. April, pp. 1–49, 2012, Accessed: Jun. 01, 2021. [Online]. Available: <https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/BCG-Telenor-Mobile-Health-Report-May-20121.pdf>.
- [59] "E-health Croatia," pp. 2–3, 2009, [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/cases/2010/e-health-croatia-life-cycle-assessment-of-ict-enablement-potential>.
- [60] "Gas serra, il peso di agricoltura e allevamento." <https://www.eni.com/it-IT/low-carbon/gas-serra-agricoltura-allevamento.html> (accessed Jun. 01, 2021).
- [61] "Agricoltura di precisione," Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, [Online]. Available: <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/3%252Fa%252Fa%252FD.36e2eae45a403f206d9a/P/BLOB%3AID%3D10349/E/pdf#:~:text=>.
- [62] D. E. Gualandi, "Agricoltura di precisione, in Italia ancora lontani dal 10%," pp. 1–5, 2020, Accessed: Jun. 01, 2021. [Online]. Available: <https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-agricoltura-di-precisione/agricoltura-di-precisione/>.
- [63] "Agricoltura di Precisione, pubblicate le Linee guida nazionali | Agriregionieuropa." <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/53/agricoltura-di-precisione-pubblicate-le-linee-guida-nazionali> (accessed Jun. 01, 2021).
- [64] D. Cutress, "Can Precision Farming Help Mitigate Climate Change?" Accessed: Jun. 02, 2021. [Online]. Available: https://pure.aber.ac.uk/portal/files/37585832/Precision_farming_technologies_and_climate_change_mitigation.pdf.
- [65] A. Balafoutis et al., "Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics," Sustainability (Switzerland), vol. 9, no. 8. MDPI AG, p. 1339, Jul. 31, 2017, doi: 10.3390/su9081339.
- [66] H. Panchasara, N. H. Samrat, and N. Islam, "Greenhouse gas emissions trends and mitigation measures in australian agriculture sector—a review,"

- Agriculture (Switzerland), vol. 11, no. 2. MDPI AG, pp. 1–16, Feb. 01, 2021, doi: 10.3390/agriculture11020085.
- [67] “Trasporti — Agenzia europea dell’ambiente.” <https://www.eea.europa.eu/it/themes/transport/intro> (accessed Jun. 02, 2021).
- [68] G. Cepeliauskaite et al., “Smart-mobility services for climate mitigation in urban areas: Case studies of baltic countries and Germany,” *Sustain.*, vol. 13, no. 8, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/su13084127.
- [69] A. Sharifi and A. R. Khavarian-Garmsir, “The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management,” *Science of the Total Environment*, vol. 749. Elsevier B.V., p. 142391, Dec. 20, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142391.
- [70] “Un mondo di,” Accessed: Jun. 03, 2021. [Online]. Available: <https://www.eni.com/it-IT/low-carbon/mondo-co2.html>.
- [71] “CO₂ and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data.” <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (accessed Jun. 03, 2021).
- [72] “Does GDP growth necessitate environmental degradation?” <https://blogs.worldbank.org/opendata/does-gdp-growth-necessitate-environmental-degradation> (accessed Jun. 03, 2021).
- [73] “Green Deal europeo | Commissione europea.” https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it (accessed Jun. 04, 2021).
- [74] “Piano per la ripresa dell’Europa | Commissione europea.” https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it#nextgenerationeu (accessed Jun. 04, 2021).
- [75] “ICT standardisation | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.” https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/ict-standardisation_en (accessed Jun. 04, 2021).
- [76] “Shaping the DSM | Shaping Europe’s digital future.” <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/shaping-digital-single-market> (accessed Jun. 04, 2021).

- [77] European Commission, “A Digital Single Market Benefit all Europeans EN 20191128pdf,” no. November, 2019, [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/shaping-digital-single-market>.
- [78] “Multi-Stakeholder Platform on ICT Standardisation | Shaping Europe’s digital future.” <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/multi-stakeholder-platform-ict-standardisation> (accessed Jun. 04, 2021).
- [79] “Rolling plan for ICT standardisation | Shaping Europe’s digital future.” <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/rolling-plan-ict-standardisation> (accessed Jun. 04, 2021).
- [80] “Standardisation policy | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.” https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/policy_en (accessed Jun. 04, 2021).
- [81] ITU, “ITU-T Rec. L.1440 (10/2015). Methodology for environmental impact assessment of information and communication technologies at city level,” 2015. Accessed: Jun. 04, 2021. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1440/_page.print.
- [82] S. (Öko-institut) Prakash, Y. (Öko-institut) Baron, R. (Öko-institut) Liu, Berlin), M. (Technische U. Proske, and A. (Technische U. B. Schlösser, “Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis FINAL REPORT,” p. 373, 2014, [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ef17c01f-ea7c-49e0-91aa-878f16ba6361>.
- [83] G. Cook, “CLICKING CLEAN: WHO IS WINNING THE RACE TO BUILD A GREEN INTERNET?” 2017.
- [84] “Speech by President-elect von der Leyen in the EP.” https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_19_6408 (accessed Jun. 05, 2021).