



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"LA SOSTENIBILITÀ DELLE TECNOLOGIE DIGITALI: L'IMPATTO
DELL'INTERNET OF THINGS"**

RELATORE:

CH.MO PROF. MARCO BETTIOL

LAUREANDO: FILIPPO PARRELLA

MATRICOLA N. 1188306

ANNO ACCADEMICO 2020 – 2021

INDICE

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO 1 - SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E TECNOLOGIE DIGITALI.....	4
1.1 Sostenibilità ambientale: dalla conferenza di Stoccolma al <i>rapporto Brundtland</i>	4
1.2 Le tecnologie digitali	5
1.2.1 <i>La diffusione delle tecnologie digitali</i>	6
1.2.2 <i>Benefici associati alle tecnologie digitali</i>	8
CAPITOLO 2 - GLI IMPATTI INQUINANTI DELLE TECNOLOGIE DIGITALI ...	11
2.1 Emissioni derivanti dalle tecnologie hardware ed end consumer.....	11
2.1.1 <i>La produzione di CO₂ e il consumo energetico degli smartphones</i>	11
2.1.1.1 <i>Apple: azienda orientata al sostenibile?</i>	12
2.1.2 <i>Emissioni inquinanti di desktops, notebooks ed external monitors</i>	13
2.2 Il consumo energetico dei Data Center.....	14
2.3 Impatto ambientale dei communication networks.....	16
2.4 Lo streaming: diffusione e impatti ambientali.....	17
CAPITOLO 3 - INTERNET OF THINGS: BENEFICI E IMPATTI AMBIENTALI ...	21
3.1 Applicazione dell'IoT in ambito ambientale	21
3.1.1 <i>IoT e pollution control</i>	21
3.1.2 <i>IoT e waste management</i>	22
3.1.3 <i>IoT e sustainable production</i>	23
3.1.4 <i>IoT e urban sustainability</i>	23
3.2 Crescita e diffusione dell'IoT	25
3.3 Inquinamento derivante dall'IoT	25
3.3.1 <i>IoT: consumo energetico e scarsità di chip</i>	25
3.3.2 <i>E-waste e riciclaggio</i>	26
CONCLUSIONI	28
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	29

INTRODUZIONE

“Se il mondo non impara ora a rispettare la natura, quale futuro avranno le nuove generazioni??” – Rigoberta Menchú Tum¹

Tale citazione aiuta a comprendere il danno che l'uomo sta causando al nostro pianeta e la complessità nel realizzare programmi di sviluppo sostenibile, che garantirebbero alle generazioni future la possibilità di soddisfare i propri bisogni.

Le tecnologie digitali sono uno dei motivi di questa difficoltà.

L'elevato utilizzo delle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione, nonostante abbia portato delle migliorie dal punto di vista ambientale, ha col tempo fatto emergere dei problemi. L'enorme diffusione dei prodotti digitali e i benefici ad essi associati hanno posto in secondo piano l'impatto inquinante derivante dalla produzione, dall'utilizzo e dallo smaltimento dei dispositivi stessi.

L'elaborato ha come fine quello di analizzare non solo la diffusione del digitale e le modalità con cui esso abbia contribuito al concetto di sostenibilità, bensì anche l'impatto inquinante che tali tecnologie comportano.

In particolare, nel capitolo iniziale verranno trattati in maniera distinta le tematiche relative alla sostenibilità ambientale e alle tecnologie digitali. Nello specifico verranno presentati alcuni accenni storici e gli sviluppi che tali concetti hanno avuto nel corso del tempo. Successivamente, verranno trattati gli elementi che in maniera rilevante dimostrano la diffusione delle tecnologie digitali nel corso degli anni e i benefici che esse hanno portato e porteranno in futuro.

Il secondo capitolo, invece, si concentrerà sugli impatti inquinanti derivanti dall'elevato utilizzo dei dispositivi e dei servizi digitali. In particolare verranno analizzate le emissioni derivanti dalle tecnologie hardware ed end-consumer come, ad esempio, smartphones, desktops, notebooks ed external monitors, le emissioni dei data center e dei *communication networks*. Inoltre, verrà presentato, come caso di studio, l'impatto ambientale derivante dall'utilizzo e dalla diffusione dello streaming.

Il terzo capitolo, infine, tratterà dei benefici, della diffusione e degli impatti ambientali derivanti dai dispositivi e sistemi appartenenti all'Internet of Things. Nonostante essi siano stati realizzati ed impiegati al fine di rendere più sostenibile il nostro pianeta e di porre rimedio all'inquinamento generato dal digitale, la loro diffusione ha comportato ulteriori problematiche dannose per l'ambiente.

¹ Rigoberta Menchú Tum (1959-) è una pacifista guatemalteca, la quale ha ricevuto nel 1992 il Premio Nobel per la Pace. Fonte: Wikipedia.

CAPITOLO 1 - SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E TECNOLOGIE DIGITALI

1.1 Sostenibilità ambientale: dalla conferenza di Stoccolma al *rapporto Brundtland*

Nelle scienze ambientali ed economiche, la sostenibilità rappresenta la condizione di uno sviluppo capace di garantire il soddisfacimento dei bisogni della generazione attuale senza mettere a repentaglio la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri.

Il termine sostenibilità è stato per la prima volta introdotto nel corso della prima Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente a Stoccolma nel 1972. In tale occasione si è evidenziato come, per garantire delle condizioni di vita soddisfacenti per la presente generazione e quella futura, sia necessario salvaguardare le risorse naturali della Terra e, in particolare, il sistema ecologico naturale. Ciò dovrà avvenire mediante una pianificazione strategica a livello internazionale (United Nations, 1972).

Tale concetto venne poi codificato nel 1987 dalla presidentessa della Commissione mondiale sull'ambiente e sullo sviluppo Gro Harlem Brundtland, la quale, nello stesso anno, pubblicò il c.d. *Rapporto Brundtland*. Esso introduce la fondamentale teoria dello sviluppo sostenibile, che rappresenta l'attuale principio guida della sostenibilità. Il documento definisce come sostenibile un modello di sviluppo capace di soddisfare i bisogni correnti senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri. (Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, 1988). A tal proposito, esso evidenzia una stretta connessione fra ambiente e sviluppo: *lo sviluppo non può sussistere su una base di risorse ambientali in via di deterioramento e l'ambiente non può essere protetto qualora la crescita non tenga conto del fattore antieconomico della distruzione ambientale* (Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, 1988, p.65). Tale relazione implica, secondo tale rapporto, che le due questioni non possano essere affrontate singolarmente dalle singole istituzioni attraverso normative frammentarie.

La nozione di sviluppo sostenibile implica, per le politiche ambientali e di sviluppo, obiettivi e impegni di natura economica, sociale e ambientale, quali ad esempio rianimare e migliorare la crescita economica, soddisfare alcuni bisogni essenziali, conservare e incrementare la base delle risorse e tener conto, nella formulazione delle decisioni, degli aspetti ambientali ed economici. Tali finalità rientrano nei concetti di sostenibilità ambientale, economica e sociale.

1.2 Le tecnologie digitali

Le tecnologie alle quali viene attribuito il termine ‘digitali’ si caratterizzano per l’utilizzo del sistema binario di cifratura, il quale comprende notazioni basate su simboli binari o bit. Un bit, in particolare, può assumere il valore 0 o 1. Esse fanno riferimento alle *Information and Communication Technologies*, ovvero tecnologie come i computer, i sistemi integrati di telecomunicazione, le tecnologie e i software audio-video che permettono agli utenti la creazione, lo scambio e l’accumulo di informazioni.

Il concetto di digitale è stato spesso descritto in contrapposizione all’analogico, ritenendoli come due poli opposti di un continuum. Un esempio è rappresentato dalla differenza fra disco in vinile e compact disc. Mentre nel primo caso il suono del vinile deriva dall’interazione fra la puntina e i solchi incisi sul disco, quest’ultimi di natura continua ovvero senza interruzione nella spirale su cui sono incise delle frequenze contenenti musica e parole, nel cd la traccia audio viene divisa in una molteplicità di punti (e quindi unità discrete) i cui valori sono presenti sulla superficie del dispositivo in formato binario. In questo caso il suono deriva dalla lettura che un laser fa dei valori di questi singoli punti, i quali, se ascoltati in sequenza, realizzano una continuità nell’ascolto. Quindi, se i media analogici si basavano sulla scomposizione continua dei contenuti, con il digitale si passa alla discontinuità di valori presentati in un codice numerico. (Balbi G., Magaudda P., 2014)

Dalla metà del ventesimo secolo all’inizio del ventunesimo sono stati numerosi i momenti di passaggio dall’analogico al digitale. I più emblematici sono stati sicuramente l’evoluzione dal computer analogico a quello digitale (nel corso degli anni ’50), la nascita del Compact Disc rispetto alla precedente musicassetta (anni ’80), l’utilizzo della tecnologia mobile digitale (2G) invece che analogica (anni ’90) e, negli anni 2000, la realizzazione del DVD che ha sostituito il VHS (Longo G. O., Vaccaro A., 2013).

All’interno del più ampio concetto di tecnologie digitali, si possono individuare i seguenti elementi (Lacy P., Lamonica B., Rutqvist J., 2016):

- Tecnologia Mobile: comprende sistemi operativi, hardware, networking e software, i quali permettono di accedere a contenuti in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo. Gli esempi più significativi sono gli smartphones e i tablet;
- Tecnologia di comunicazione *machine-to-machine* (M2M): garantisce a strumenti e a centri di controllo lo scambio automatico di contenuti e informazioni senza l’intervento dell’uomo. Tali tecnologie sono finalizzate a monitorare gli asset, a controllarli e a curarne la manutenzione in remoto, offrendo inoltre agli utenti, grazie all’utilizzo di informazioni live, migliori prestazioni a costi ridotti;

-Cloud Computing: si tratta di una tecnologia informatica finalizzata ad ospitare informazioni, contenuti ed applicazioni. Tali elementi vengono resi disponibili a diversi dispositivi connessi in rete in contemporanea, senza dover installare o scaricare alcun tipo software.

-Tecnologia Social: strumenti di comunicazione e interazione che hanno come obiettivo la creazione e il mantenimento di relazioni virtuali fra utenti. Oltre i famosi canali social come Facebook, Instagram, WhatsApp e LinkedIn, tale categoria include forum online, blog e software comunicativi.

-Big Data Analysis: tale tecnologia comprende due elementi: 'Big Data' si riferisce ad un data set di grandezza e complessità tale da non poter essere analizzato con le tradizionali applicazioni; 'Big Data Analysis' rappresenta invece l'esame di tali dati con la finalità di ottenere delle indicazioni che siano funzionali alle *business decisions*.

Le tecnologie digitali hanno avuto infine un impatto determinante nello sviluppo e nella realizzazione della cosiddetta 'Industria 4.0'. Questo termine si riferisce ad una nuova fase industriale in cui l'integrazione dei processi produttivi e la connettività dei prodotti portano le aziende a realizzare migliori performance industriali. Essa, infatti, è all'interno di un notevole processo di innovazione digitale che pone come punto centrale la manifattura. L'evoluzione del digitale e delle sue tecnologie sta portando le imprese verso una frequente interconnessione e cooperazione fra impianti, persone e informazioni, sia dentro la fabbrica che lungo la catena del valore (Ayala N. F., Benitez G. B., Dalenogare L. S., Frank A. G., 2018).

1.2.1 *La diffusione delle tecnologie digitali*

Lo sviluppo delle tecnologie e delle infrastrutture mobili ha fatto sì che l'essere umano diventi sempre più un utilizzatore abituale di tali dispositivi e, in generale, orientato al consumo del digitale.

Internet è diventato parte integrante nella vita quotidiana di persone provenienti da tutto il mondo: i dati EUROSTAT (Ufficio Statistico dell'Unione Europea) presentati nello studio eseguito dal Consiglio Nazionale delle Ricerche relativi alla percentuale di utenti che al 2016 hanno effettuato un accesso ad Internet almeno una volta nei precedenti dodici mesi, rilevano che il Regno Unito si posiziona al primo posto, con una percentuale di utenti pari al 95%. In particolare, quasi tutti i giovani inglesi di età compresa fra i 16 e il 24 anni hanno effettuato un accesso in rete nell'anno precedente la rilevazione, mentre il 78% dei britannici di età compresa fra i 65 e i 74 anni ha confermato di aver eseguito almeno un accesso.

Anche in Germania quasi tutti i giovani accedono alla Rete Internet, mentre in Francia e in Spagna il dato è in linea con la media d'Europa (97%). In questi tre paesi la percentuale degli individui che effettuano accessi in rete sul totale della popolazione è molto elevata: il 91% dei tedeschi, l'88% dei francesi e l'81% degli spagnoli.

L'Italia invece si attesta al di sotto della media europea, con particolare riguardo alla popolazione anziana, dove il 29% degli individui di età compresa fra i 65 e i 74 anni utilizza la rete contro il 51% della media europea. La percentuale dei giovani fra i 16 e i 24 anni presenta invece un gap inferiore rispetto alla media europea, con una percentuale poco superiore al 90%.

Negli ultimi anni, ed in particolare durante la pandemia da Covid-19 scoppiata nel 2020, lo strumento ormai preferito dagli utilizzatori per navigare online è lo smartphone. Infatti, l'articolo web pubblicato nel *Network Digital 360* dal titolo *l'Osservatorio Mobile B2C 2021: aumenta ancora l'uso dello smartphone* evidenzia come, secondo il Politecnico di Milano, gli italiani che si connettono tramite l'uso di tale device a dicembre 2020 ammontano a 35.1 milioni, con un incremento pari a 1.5 milioni rispetto all'anno precedente (+4.5%). Inoltre, si trascorrono in media 77 ore al mese online da device mobile (con un aumento del 29% rispetto a dicembre 2019), pari all'83% del tempo speso a navigare su Internet. La pandemia ha quindi portato un notevole incremento nell'utilizzo di questo dispositivo.

La pandemia causata dal Coronavirus ha comportato, in aggiunta, una crescita del livello di digitalizzazione delle imprese italiane. I dati relativi al report ISTAT dal titolo *Le imprese usano il web ma solo le grandi integrano tecnologie più avanzate* di dicembre 2020 mostrano infatti come, in quell'anno, il 53.2% dei lavoratori di imprese con almeno 10 addetti utilizzino un computer con accesso a Internet per svolgere il proprio lavoro, rispetto al 49.9% dell'anno precedente. Altri segnali di reazione alle difficoltà derivanti dall'emergenza sanitaria si colgono dal fatto che, nello stesso anno, vi è stato un deciso incremento nella percentuale di imprese con sito web che rendono disponibili informazioni sui loro prodotti e servizi offerti, passando da un 34% relativo al 2019 ad un 55% nel 2020. L'incremento più rilevante si è registrato però nell'utilizzo del Cloud computing: la percentuale delle imprese che utilizzano servizi cloud sale da un 23% relativo al 2018 ad un 59% nel 2020.

Uno strumento digitale particolarmente utilizzato dalle imprese da prima dello scoppio della pandemia è la piattaforma digitale destinata alla vendita di beni e servizi tramite web. Sempre l'ISTAT nel suo report evidenzia come, nel 2019, le imprese che hanno venduto beni e servizi tramite Internet hanno dichiarato di averlo fatto nel 76.8% dei casi (75.8% nel 2018) tramite siti web o app proprie dell'impresa e nel 64.3% mediante e-marketplace o app di intermediari utilizzati da molteplici imprese (60.7% nel 2018, 64.1% nel 2017). In particolare, l'utilizzo di

tale piattaforme digitali è molto diffuso nel settore della ristorazione (99.4% rispetto al 62.9% relativo all'anno 2018) e dei servizi ricettivi (97.6%).

1.2.2 *Benefici associati alle tecnologie digitali*

L'utilizzo delle tecnologie digitali nella sfera lavorativa, personale e sociale ha comportato una serie di vantaggi e miglioramenti, in termini soprattutto di efficienza nei vari ambiti di applicazione e nell'ambiente.

Considerando, ad esempio, l'impatto delle tecnologie digitali nei processi aziendali, si sono sviluppate negli ultimi anni diverse tecnologie che hanno e avranno un ruolo sempre maggiore nella cosiddetta 'globalizzazione 4.0' (Grasso A., Grasso L., 2019). Esse portano delle componenti innovative che vanno al di là dei concetti di digitalizzazione e dematerializzazione, contribuendo in maniera rilevante anche ad ulteriori tematiche, come ad esempio il problem solving. Fra le tecnologie più note e utilizzate spiccano l'Intelligenza Artificiale, l'Internet of Things, Blockchain e la *Robotic Process Automation* (o RPA).

Per Intelligenza Artificiale si intende un software che viene predisposto al fine di imparare come reagire ad un evento mediante un processo di tipo esperienziale. Dopo la iniziale fase di codificazione, per garantire il suo funzionamento, è necessario un suo addestramento; dopo ciò sarà pronto di rispondere a nuove sollecitazioni mediante un facile procedimento cognitivo.

Per Internet of Things (IoT) si intende far riferimento a degli oggetti che, attraverso una connessione via rete, sono in grado di interagire con altri oggetti o soggetti. Tali beni, in particolare, hanno la caratteristica di essere complessi, come ad esempio autoveicoli, dispositivi medici, smartphones e così via. L'IoT inoltre permette a tali oggetti di realizzare un interscambio di dati.

La tecnologia Blockchain permette il funzionamento del Bitcoin ma non solo. Esso è un sistema di concatenamento (chain) di informazioni in blocchi successivi (block) in modo tale da non essere più possibile il cambiamento di un dato senza rendere invalidi tutti i dati successivi a quello modificato. Tale componente ha notevoli implicazioni nelle diverse transazioni, come ad esempio quelle istituzionali e commerciali. In secondo luogo, in riferimento allo sviluppo della Globalizzazione 4.0, il BlockChain favorisce la decentralizzazione dei processi permettendo la disintermediazione degli organismi/organizzazioni centrali.

In ultima analisi, la *Robotic Process Automation*, progettata come strumento per imitare l'interazione uomo-macchina per la riproduzione di attività ripetitive, oggigiorno si sta sviluppando attraverso l'inclusione di elementi cognitivi che fanno sì che il software realizzi un processo decisionale anche in presenza di imprevisti. Ciò viene garantito grazie alla convergenza fra l'Intelligenza Artificiale e questa tecnologia, che muta l'attuazione del problem solving, da 'deterministico' a 'probabilistico'.

Per quanto riguarda invece l'ambiente e i miglioramenti che tali tecnologie hanno portato su di esso, nel corso degli anni si sono sviluppati differenti concetti e dispositivi legati al digitale che hanno permesso una effettiva riduzione degli impatti inquinanti generati dallo svolgimento di attività e dall'utilizzo di dispositivi non legati al concetto di digitale.

In particolare, con l'avvento del digitale, si è tentato di idealizzare un *paperless office*, ossia un ufficio caratterizzato da una drastica riduzione o addirittura eliminazione nell'utilizzo della carta stampata. Ciò può essere ottenuto mediante la conversione di documenti cartacei in formato digitale, mediante un processo di digitalizzazione e grazie quindi all'utilizzo di dispositivi come il computer e i servizi offerti dal cloud computing. Questa iniziativa porterebbe numerosi vantaggi, non solo all'azienda in termini di *cost and space savings* e incremento della produttività aziendale, ma anche all'ambiente: lo studio compiuto nel 2015 da Orantes-Jiménez S., Vázquez-Álvarez G., e Zavala-Galindo A., denominato *Paperless Office: a new proposal for organizations* evidenzia infatti come il minor spreco di carta comporterebbe ad un ridotto utilizzo delle risorse naturali utilizzate per la produzione di fogli come, ad esempio, gli alberi o l'acqua, e ad un minor consumo di energia necessario per realizzare la stampa o la copia del documento. Inoltre, ciò porterebbe a una minore produzione di rifiuti inquinanti come, ad esempio, toner e cartucce. Gli autori vedono nell'ufficio paperless una soluzione per contribuire allo sviluppo sostenibile e a un utilizzo consapevole delle risorse.

Un altro tentativo finalizzato a ridurre l'utilizzo di carta è stato lo sviluppo dell'*e-book*, ossia un libro in formato digitale utilizzabile tramite computer o dispositivi mobili come ad esempio l'e-reader. Tale formato digitale porterebbe ad una serie di vantaggi dal punto di vista ambientale rispetto al tradizionale libro cartaceo, soprattutto in termini di produzione di CO₂. In particolare, un articolo pubblicato nel 2013 dal sito web britannico *The Guardian* dal titolo *Should I stop buying paper books and use an e-reader instead?* afferma che l'utilizzo di un Amazon Kindle alla sua piena capacità di archiviazione compensa le emissioni causate dalla sua produzione in un anno. Un maggiore utilizzo di tale dispositivo comporterebbe inoltre ad un risparmio di 168 kg di CO₂ l'anno, che rappresentano le emissioni derivanti dalla produzione di 22.5 libri cartacei. Utilizzare un e-reader significherebbe quindi assumere un

atteggiamento sostenibile: l'articolo infatti afferma che coloro che si sono convertiti a tale dispositivo tra il 2009 e il 2012 hanno impedito il rilascio di 9.9 miliardi di kg di emissioni di CO₂.

Un ulteriore atteggiamento rispettoso dell'ambiente è stato sicuramente assunto da tutti noi durante il primo lockdown causato dall'inizio della pandemia da Coronavirus a marzo 2020, che ci ha portato a lavorare e a interagire virtualmente in smart working. L'impossibilità di uscire dalle nostre abitazioni ha portato infatti ad una drastica riduzione nell'utilizzo delle automobili o altri mezzi di trasporto, con un rilevante taglio in termini di emissioni climalteranti. A tal proposito, Enea, l'agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile, in uno studio pubblicato nel 2020 dal titolo: *Il tempo dello Smart Working. La PA tra conciliazione, valorizzazione del lavoro e dell'ambiente*, il quale ha coinvolto 29 pubbliche amministrazioni e 5500 lavoratori, ha rilevato che lo smart working ha ridotto la mobilità giornaliera di circa un'ora e mezza in media a persona, evitando di percorrere un totale di 46 milioni di chilometri, pari ad un risparmio di 4 milioni di euro in carburante. Dal punto di vista delle emissioni ambientali, l'indagine rileva che il lavoro in digitale ha portato ad un taglio di 8000 tonnellate di CO₂, 1.75 tonnellate di PM10 e 17.9 tonnellate di ossidi di azoto.

Lavorare in ufficio potrebbe diventare un atteggiamento sostenibile nel momento in cui si utilizzano veicoli elettrici invece dei veicoli a benzina o a diesel per giungere il proprio posto di lavoro. Secondo uno studio dal titolo *How clean are electric cars?* realizzato dalla Federazione europea per i trasporti e per l'ambiente, comunemente conosciuta come *Transport & Environment*, nel 2020 i veicoli elettrici in media sono tre volte meno inquinanti rispetto ai veicoli a propulsione endotermica. In particolare, in Italia, l'utilizzo di veicoli a energia elettrica comporta una riduzione delle emissioni pari al 57%. Lo studio evidenzia come tale situazione sia destinata a migliorare ulteriormente nel momento in cui l'Europa utilizzerà un numero maggiore di infrastrutture per la produzione di energia rinnovabile come turbine eoliche o pannelli solari. Transport & Environment stima infatti che entro il 2023 la circolazione di auto elettriche in Europa sarà ben quattro volte meno inquinante rispetto alle auto a benzina.

CAPITOLO 2 - GLI IMPATTI INQUINANTI DELLE TECNOLOGIE DIGITALI

Le tecnologie digitali, e in generale i dispositivi e servizi dell'industria ICT hanno avuto nel corso degli ultimi decenni una immagine piuttosto positiva agli occhi della società odierna, creando nuovi modi di comunicare, giocare e lavorare, con risvolti positivi in termini di impatto ambientale.

Nonostante ciò, tali tecnologie annoverano differenti criticità. In particolare, mentre è cresciuta la nostra dipendenza nei confronti di esse, è aumentato anche il consumo energetico necessario a produrre e alimentare questi dispositivi. Tale consumo di energia, che deriva spesso da fonti non rinnovabili, rappresenta oggi una componente significativa nella creazione di biossido di carbonio, uno dei principali gas serra e altri elementi inquinanti per il riscaldamento globale. Belkhir L. e Elmeligi A. (2018) stimano che la *carbon footprint* derivante dall'industria ICT (letteralmente, "l'impronta del carbonio", parametro espresso in tonnellate di CO₂ che viene utilizzato per stimare le emissioni di gas serra causate da un prodotto, servizio, singolo o organizzazione) sia passata da una percentuale minima di 1.06% e massima di 1.6% nel 2007 ad un 3.06% di minimo e 3.6% di massimo rispetto l'inquinamento totale mondiale nel 2020. Inoltre, in termini di proiezioni future, i due studiosi rilevano che, entro il 2040, l'impronta ambientale dell'industria ICT potrebbe contare circa il 14% dell'impatto totale mondiale, eccedendo quindi l'impatto inquinante generato dall'intero settore agricolo (9%) e quasi metà del settore industriale statunitense (29%) nel 2018.

È fondamentale quindi comprendere quali siano le principali categorie dell'industria ICT che generano tali emissioni e che tipo di interventi le imprese e le società stanno realizzando al fine di limitare l'impatto ambientale. In questo capitolo verranno trattati gli impatti ambientali derivanti dalle tecnologie hardware ed end-consumer, con particolare riferimento agli smartphone e ai desktops, notebooks ed external monitors, e le emissioni derivanti dai data center e dai *communication networks*, portando anche come caso di studio la diffusione e il relativo impatto inquinante dello streaming.

2.1 Emissioni derivanti dalle tecnologie hardware ed end consumer

2.1.1 La produzione di CO₂ e il consumo energetico degli smartphones

L'inquinamento generato dagli smartphones è notevolmente cresciuto nel corso degli ultimi anni. Lo studio di Belkhir L. ed Elmeligi A., esaminando le emissioni di ciascuna categoria appartenente all'ICT nel 2010 e nel 2020, ha rilevato che le relative *Green House Gas*

Emission (GHGE) dei dispositivi smart phones hanno registrato il più elevato incremento percentuale nel corso del decennio, passando dal 4% nel 2010 all'11% nel 2020.

I dati più emblematici si riferiscono alla fase di produzione e al concetto di *life cycle assessments* (LCA), metodologia finalizzata a valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi del ciclo di vita di prodotto e servizio o processo. In particolare, lo studio condotto dall'*European Environmental Bureau* (2019), la più grande rete di organizzazioni di cittadini ambientalisti in Europa, rileva che l'intero ciclo di vita degli smartphone è responsabile di 14 milioni di tonnellate di emissioni di CO₂eq ogni anno. Tale cifra deriva soprattutto dall'energia e dalle risorse impiegate per la distribuzione e lo smaltimento: tali voci infatti rappresentano circa il 72% del totale impatto climatico generato dagli smartphones.

La ricerca segnala inoltre dei comportamenti che noi cittadini europei potremmo attuare al fine di ridurre l'impatto inquinante di tali dispositivi. L'utilizzo per un anno in più del nostro telefono consentirebbe di risparmiare 2.1 Mt (milioni di tonnellate metriche) di CO₂ all'anno entro il 2030, l'equivalente del ritiro di oltre un milione di auto dalle nostre strade. Ovviamente il protrarsi di questo trend genererebbe solamente ulteriori benefici: l'allungamento della durata di vita dei nostri cellulari per tre e per cinque anni porterebbe ad un risparmio pari a circa 4.3 Mt e 5.5 Mt di CO₂.

Le motivazioni e gli elementi che portano a non assumere tali atteggiamenti sostenibili, secondo lo studio, derivano dal fatto che la rottura di schermi, lo scaricamento delle batterie unito al desiderio di avere fra le mani una tecnologia più recente, portano le persone a sostituire i loro device. Puntare sulla riparazione dei vecchi device, secondo l'organizzazione, rappresenta un modo per ridurre le emissioni di gas serra.

2.1.1.1 *Apple: azienda orientata al sostenibile?*

Apple riveste un ruolo centrale nelle tematiche relative alle emissioni inquinanti derivanti dalla produzione, dall'utilizzo e dallo smaltimento degli Iphone.

Gli studi di Belkhir L. e Elmeligi A. (2018) dimostrano infatti che tale azienda negli ultimi decenni ha contribuito in maniera rilevante in termini di emissioni di CO₂ derivanti dalla produzione e dall'utilizzo dei suoi smartphones. Nello specifico, si rileva che la realizzazione degli Iphone 4s, 5s, e 6s ha registrato *production foodprints* di CO₂ pari a 35.75, 56.7 e 80.75 kg di CO₂-e; i successivi modelli non hanno portato ad un cambiamento di tale trend, con l'emissione di 52.2 kg di CO₂-e per l'Iphone 7s Plus.

Nonostante ciò, Apple ha comunque sempre riservato una attenzione molto forte alla sostenibilità ambientale, pubblicando ad esempio sul sito ufficiale della società gli *Environmental Report* oppure attraverso una serie di sforzi al fine di alimentare i data center e le proprie sedi mediante l'utilizzo di energie rinnovabili. In particolare, ha avuto particolare risalto la decisione di non includere il caricatore e gli auricolari nella confezione del loro ultimo device Iphone 12, al fine di ridurre le dimensioni del packaging e quindi le emissioni generate in fase di produzione, assemblaggio e distribuzione.

Dietro tale atteggiamento sostenibile si nasconde però un importante impatto inquinante di quest'ultimo modello, che con i suoi 70 kg di CO₂-e, ha nel complesso un impatto ambientale uguale alla versione precedente. Nello specifico, sebbene l'Iphone 12 abbia un maggior rispetto dell'ambiente per l'intero ciclo di vita, dove ad incidere sono principalmente le emissioni derivanti dalle ricariche giornaliere per un periodo compreso fra i tre e i quattro anni, esso non genera meno CO₂ dell'Iphone 11 nella fase di produzione e di assemblaggio. (Il Sole 24 Ore, 2020)

Sembra dunque lontana la strada che porta Apple al traguardo dell'impatto zero per la propria filiera e prodotti entro l'anno 2030.

2.1.2 Emissioni inquinanti di desktops, notebooks ed external monitors

Desktops, notebooks ed external monitors rappresentano strumenti che ormai da anni sono entrati a far parte nella quotidianità, ed in particolare nell'ultimo anno il loro utilizzo è cresciuto ulteriormente a causa della pandemia da Covid-19. Secondo la società di analisi del mercato tecnologico mondiale *Canalys* (2020), nel terzo trimestre del 2020 i produttori di tali dispositivi hanno spedito 79.2 milioni di personal computer, il 12.7% in più rispetto al 2019, registrando la crescita più elevata degli ultimi dieci anni nel mercato globale dei PC.

In termini ambientali però, anch'essi presentano un rilevante impatto inquinante per quanto riguarda le emissioni di CO₂.

Considerando i desktops, l'energia destinata alla produzione di tali dispositivi nel 2012 varia dai 120 ai 250 kg di CO₂-e, con un impatto inquinante in fase di utilizzo dai 50 ai 175 kg di CO₂-e annui (Kandlikar M., Teehan P., 2012).

Per quanto riguarda i notebooks, Apple nel suo report ambientale (2016) afferma che la carbon footprint dei MacBook varia dai 281 ai 468 kg di CO₂-e con un impatto ambientale in termini di energia in fase di utilizzo che varia dagli 11 ai 25 kg CO₂-e/yr. Riguardo quest'ultimo punto è interessante considerare, inoltre, il differente consumo energetico dei

laptops utilizzati in ambito lavorativo (*office laptops*) dagli *home laptops*. Mentre nel primo caso infatti il consumo medio annuo di energia varia dai 53 ai 70 kWh/yr, per i dispositivi utilizzati in ambito domestico i consumi sono inferiori, con valori che oscillano fra i 39 e i 46 kWh/yr. (Lim B. et al., 2014) (Colle D. et al, 2014).

A differenza degli smart phones, la cui vita utile in media è pari ai 3 anni, la durata media di desktops e laptops è superiore. In particolare, *The IVF Industrial Research & Development Corporation* (2007) stima che la vita utile di un laptop è in media pari a cinque anni, mentre quella di un desktop sei.

È interessante inoltre analizzare le emissioni derivanti dagli External Monitors, in particolare i *CRT monitors*, i quali utilizzano cannoni elettronici per sparare fasci di elettroni al fine di visualizzare l'immagine e gli *LCD monitors*, in cui la visione dell'immagine è possibile per effetto della torsione di cristalli liquidi. Entrambe le tipologie citate vengono utilizzate sia nei desktops sia nei notebooks.

Mentre la vita media di utilizzo è pari a 6.6 anni per entrambi i monitors, l'*use phase energy* varia dai 100 ai 190 kWh/yr per i CRT e dai 47 agli 86 kWh/ yr per gli LCD, che corrispondono ad un equivalente in termini di emissioni pari ad un minimo di 51 e un massimo di 95 kg di CO₂-e per i monitor CRT e 23-43 kg di CO₂-e per i monitor LCD. In particolare, i valori minimi e massimi corrispondono all'utilizzo medio rispettivamente a casa e in ufficio.

2.2 Il consumo energetico dei Data Center

I data center, o centro dati, vengono definiti come degli spazi di archiviazione dei dati i quali ospitano un insieme di server necessari alla archiviazione, elaborazione e comunicazione di tali dati verso l'esterno. Sono infrastrutture che funzionano 24 ore su 24 al fine di spingere la rapida crescita del settore IT. Le criticità dei data center derivano principalmente però da due fenomeni. In primo luogo, la continua crescita della domanda di calcolo, di elaborazione e di archiviazione di dati da parte di una varietà di servizi cloud su larga scala come Facebook e Google e da operatori delle telecomunicazioni come British Telecom, ha portato ad una vasta proliferazione di grandi data center, i quali presentano migliaia (se non addirittura milioni) di server. In secondo luogo, al fine di supportare una vasta gamma di applicazioni che vanno da quelle che vengono eseguite per alcuni secondi a quelle che funzionano in modo persistente su piattaforme hardware condivise, sono state costruite infrastrutture di calcolo su larga scala (Dayarathna M., Fan R., Wen Y., 2015).

Essendo delle infrastrutture informatiche su larga scala con un ruolo rilevante all'interno della industria IT, esse hanno un enorme impatto ambientale in termini di consumo di energia.

Secondo Dayarathna M., Fan R., Wen Y., nel 2010 tale consumo ha raggiunto percentuali che oscillano fra l'1.1% e l'1.5% del consumo totale di elettricità a livello mondiale. Tale percentuale aumenta se si rapporta il consumo energetico dei data center al consumo totale statunitense, con percentuali che oscillano fra l'1.7% e il 2.2%.

Lo studio compiuto dal 2014 da Colle D. et al. rileva che i data center di tutto il mondo hanno consumato nel 2012 270 TWh di energia: tale consumo presenta un tasso composto di crescita annuale (CASG), il quale rappresenta la crescita percentuale media di una grandezza in un lasso di tempo, pari al 4.4% dal 2007 al 2012.

Il consumo energetico da parte dei data center può essere suddiviso in due parti: l'utilizzo di energia da parte delle apparecchiature IT (server, networks ecc) e dall'infrastruttura dell'impianto, come il sistema di raffreddamento e condizionamento dell'energia. La quantità di energia consumata da questi due componenti dipende tanto dal design del data center quanto dall'efficienza dell'infrastruttura. Riguardo ciò, la figura sottostante presenta le percentuali di consumo energetico relativa a ciascun componente del data center secondo la società di ricerca e di consulenza informatica canadese *Info-Tech*. In particolare, l'infrastruttura destinata al raffreddamento presenta la maggior percentuale di consumo elettrico (50%) mentre i server e i dispositivi di archiviazione si posizionano al secondo posto (26%).

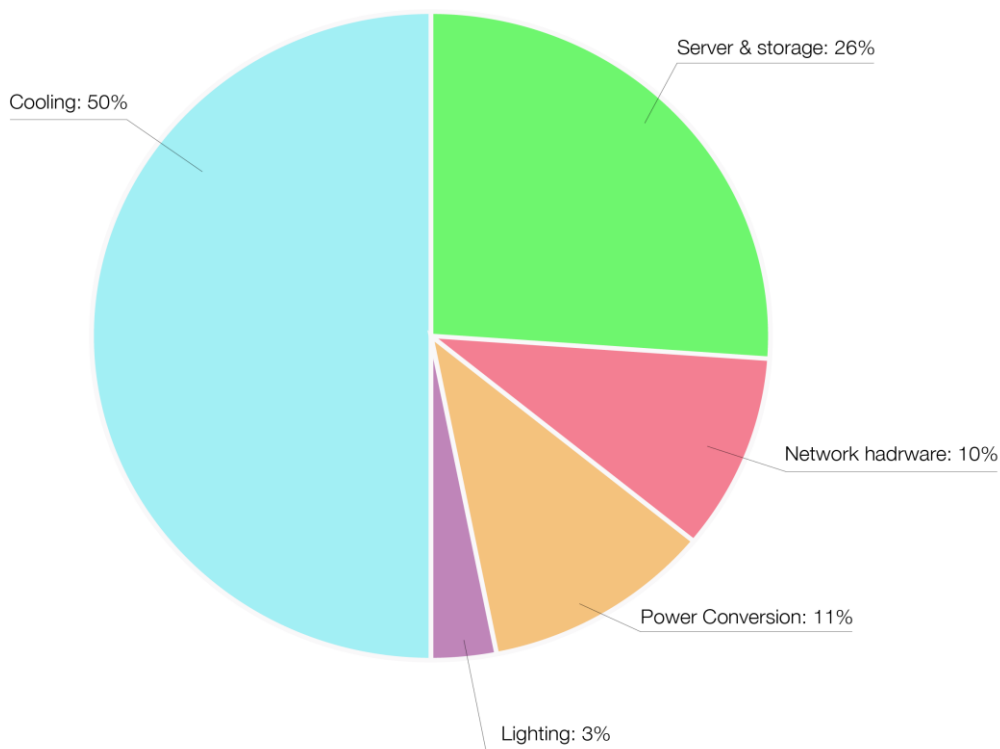


Fig1.: Typical Data Center Energy Consumption. Fonte: Dayarathna M., Fan R., Wen Y, 2015.

A causa quindi della molteplicità delle componenti all'interno del data center che possono avere un impatto inquinante e di un generale aumento del consumo di energia di tali dispositivi, è fondamentale per gli operatori dei data center preoccuparsi delle questioni legate all'efficienza energetica. Tale questione va esaminata, inoltre, non solo in occasione del funzionamento di tali infrastrutture, bensì anche in occasione di un loro stato di inattività. Infatti, i server presentano un consumo significativo di energia anche in modalità non attiva. Possono essere ottenuti quindi grandi risparmi di energia attraverso lo spegnimento dei server che li compongono. Allo stesso tempo però, queste tecniche finalizzate al risparmio energetico riducono le prestazioni dei data center, registrando quindi un complesso trade off tra prestazioni elevate e risparmio energetico.

2.3 Impatto ambientale dei communication networks

Il consumo energetico e il relativo impatto ambientale dei communication networks può essere attribuito a tre componenti principali: alle reti di operatori delle telecomunicazioni (*telecom operator networks*), alle apparecchiature di rete degli uffici (*office networks*) e alle apparecchiature di accesso alla rete residenziale (*customer premises access equipment*) (Colle D. et al., 2014). Per quanto riguarda i telecom operators, Roy S. N. (2008) rileva i consumi energetici di alcuni operatori nel mondo: l'operatore statunitense Verizon nel 2006 ha consumato un ammontare di energia pari a 8.9 TWh, pari ad uno 0.24% del consumo energetico totale del paese. In Italia, invece, tale percentuale aumenta significativamente: Telecom Italia, infatti, nello stesso anno ha consumato energia elettrica per 2 TWh, valore che rappresenta l'1% del consumo totale energetico italiano. Rilevante è inoltre il dato relativo all'utilizzo di energia da parte dell'operatore delle telecomunicazioni giapponese NTT, che ha consumato ben 6.6 TWh di energia elettrica nel 2007, registrando una percentuale pari allo 0.7% sul consumo annuo energetico del Giappone. L'intera industria delle telecomunicazioni ha quindi un enorme impatto ambientale sul nostro pianeta: nel 2007 tale industria ha infatti determinato circa l'1% del consumo energetico del pianeta, con emissioni di CO₂ pari all'inquinamento generato da 29 milioni di automobili. Il consumo energetico non è però diminuito nel corso degli anni: sul lato wireline, infatti, il numero di abbonati alla banda larga è cresciuto ad un tasso del 14% dal 2007 al 2011. Sul lato wireless invece, nel 2008 l'industria stava raggiungendo il traguardo dei 3 miliardi di dispositivi connessi, con l'alta velocità dei dati come obiettivo finale.

L'utilizzo energetico da parte degli office network è anch'esso aumentato nel corso degli anni. Colle D. et al. (2014) rileva infatti che, mentre nel 2007 il consumo energetico

statunitense complessivo delle apparecchiature di rete degli uffici era pari a 12.2 TWh, nel 2012 tale ammontare cresce fino a 22.2 TWh annuo. In particolare, lo studio rileva come tale incremento totale derivi da un maggior consumo di energia di diversi dispositivi, come gli *switching - 10/100/1000*, con un consumo annuo di energia che passa dai 5.4 TWh nel 2007 ai ben 17.5 TWh nel 2012 e i *small & medium security appliances* (dispositivi di sicurezza di piccole e medie dimensioni), che passano da un consumo annuo di 5.3 TWh ad un 7.7 TWh nel 2012.

Infine, anche le apparecchiature di accesso alla rete residenziale hanno avuto una crescita in termini di consumo energetico: secondo Colle D. et al. (2012) la *worldwide annual electricity use* di tali dispositivi è cresciuta dal 2007 al 2012 da 31.4 TWh a 52.4 TWh, registrando un tasso di crescita pari al 10.8%. Tali valori si basano sullo studio del maggior utilizzo di energia elettrica da parte di diverse modalità di connessione e tecnologie di trasmissione dati come la FTTH (*Fiber to the Home*), che indica le connessioni a banda ultra larga, dove il collegamento dalla centrale di trasmissione fino al modem del consumatore finale avviene per intero tramite fibra ottica. Ulteriori elementi presenti nello studio sono le famiglie di tecnologie DSL (*Digital Subscriber Line*), le quali forniscono una trasmissione analogica dei dati digitali mediante l'ultimo miglio della rete telefonica fissa (dalla prima centrale di commutazione fino all'utente finale e viceversa) e i cavi per le telecomunicazioni.

2.4 Lo streaming: diffusione e impatti ambientali

Lo streaming viene definito, nel linguaggio di Internet, come la 'modalità di accesso in rete a file audiovisivi di cui si può fruire in tempo reale senza provvedere a salvarli sul proprio sistema' (Treccani). Tale modalità di accesso è diventata sempre più popolare a cavallo fra la fine degli anni '90 e l'inizio degli anni '00: il primo record di streaming è stato stabilito dal webcast del keynote di Apple nel 2001, con oltre 35 mila spettatori che hanno seguito la presentazione in diretta e 250 mila persone che hanno guardato sul web spezzoni di essa, con picchi di traffico pari a 5.3 Gbps (Gigabits per second). Nel 2008, grazie anche alla nascita del servizio streaming offerto da piattaforme come Netflix e BBC iPlayer, gli spettatori della tv tradizionale hanno iniziato ad accedere a contenuti online dai loro pc e laptop, registrando in quell'anno una media di visione pari a 17 minuti. La spinta dello streaming viene ulteriormente rafforzata dalla nascita degli smartphone e tablet. Negli anni successivi, lo streaming on demand di musica e film inizia progressivamente a rimpiazzare i precedenti supporti fisici fra cui il CD e il DVD e digitali (Fastweb, 2015). Tale passaggio è stato possibile anche grazie alla consapevolezza che all'epoca lo streaming veniva considerato

come una alternativa più sostenibile rispetto ai classici dischi video digitali e compact disc, soprattutto in fase di produzione e di trasporto (Kurose J. et al., 2010) (Kooimey J. G., Matthews H. S., Weber C. L., 2010). A tal proposito, lo studio condotto da Masanet E., Shehabi A., Walker B. (2014) relativo al consumo di energia e alle emissioni derivanti dallo streaming video negli Stati Uniti, mostra infatti che nel 2011 il video streaming ha rappresentato in generale una soluzione più efficiente dal punto di vista ambientale rispetto alla visione di contenuti mediante DVD, richiedendo 7.9 MJ (Mega Joule) di energia ed emettendo 0.42 kg di CO₂-e per ora di visione, in confronto ai 7.8-12 MJ di energia richiesta e i 0.40-0.71 kg di CO₂-e per ora di visione dalle varie modalità di acquisizione del DVD *Mail Rented, Store Rented, Mail Purchased, Store Purchased* (figura 2 e 3). Mentre lo streaming presenta valori simili ai DVD *Mail Rented*, con 7.8 MJ richiesti ed una emissione di 0.40 kg di CO₂-e per ora di visione e *Mail Purchased*, con 7.9 MJ di energia richiesti con un impatto di 0.41 kg di CO₂-e per ora di visione, tale modalità di visione appare più efficiente rispetto all'acquisto e al noleggio di DVD, dove incide in maniera significativa l'utilizzo dei mezzi di trasporto. Lo *Store Rented* richiede infatti 12 MJ di energia e produce 0.71 kg di CO₂-e per ora di visione, mentre lo *Store Purchased* richiede 10.6 MJ di energia ed emette 0.60 kg di CO₂-e all'ora.

VIEWING PER HOUR PRIMARY ENERGY USE

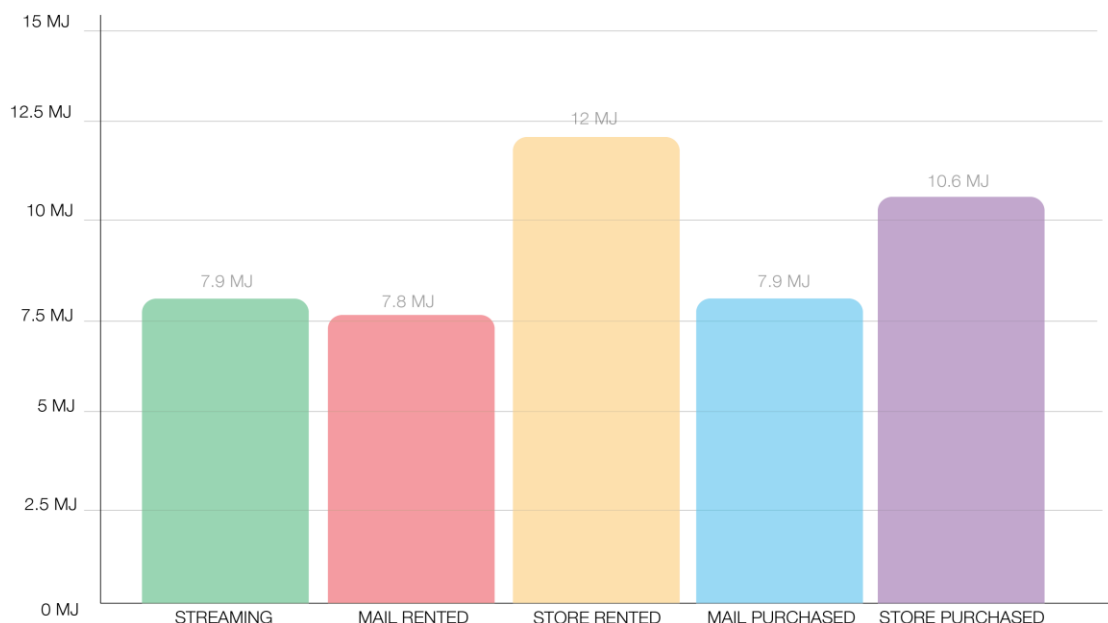


Fig. 2. Primary energy use by viewing method.

CO₂(e) EMISSIONS BY VIEWING METHOD

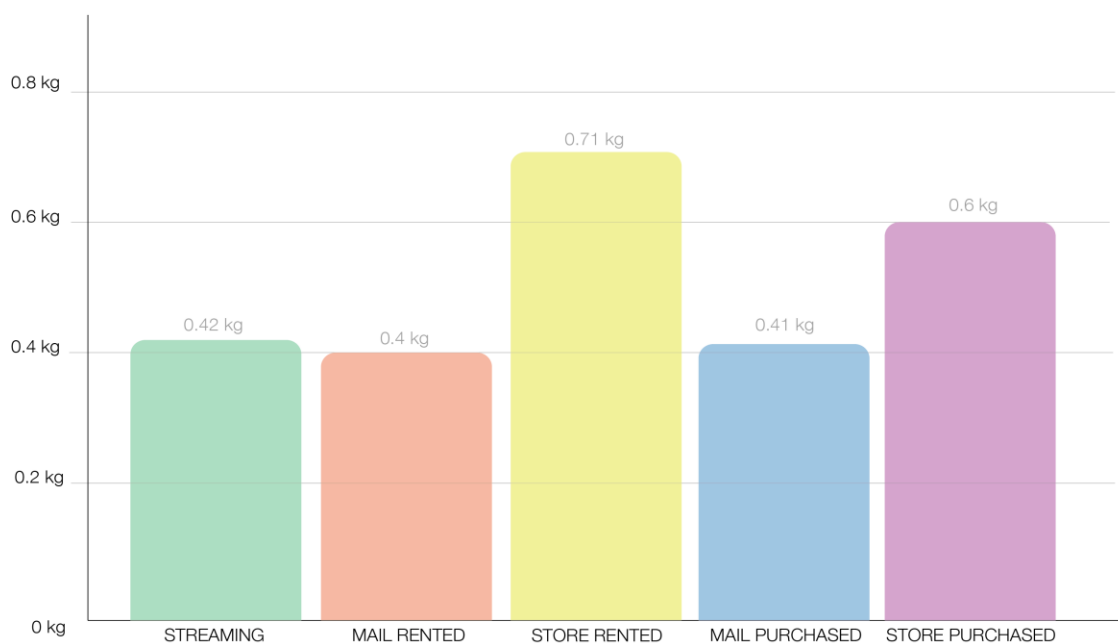


Fig. 3. CO₂(e) emissions by viewing method.

Fonte fig. 2 e 3: Masanet E., Shehabi A., Walker B. (2014)

Negli ultimi anni il fenomeno dello streaming è esploso, e sono quindi sempre più rilevanti gli impatti ambientali ad esso associati: uno studio eseguito nel 2019 dalla O.n.g. *The Shift Project* afferma infatti che le attività che effettuiamo tramite smartphone e computer inquinano più dell'intera industria aeronautica. Il trasporto aereo emette circa il 2.5% delle emissioni di gas serra, ma questa percentuale raggiunge il 4% se si considera l'energia necessaria per spedire email, inviare messaggi su WhatsApp e soprattutto guardare video online. Riguardo quest'ultimo punto, infatti, la quantità di energia consumata dalle piattaforme streaming come Netflix o YouTube è in continua crescita non solo per un aumento di persone nel mondo che le utilizzano, ma anche per la qualità sempre più elevata dei video stessi.

Lo studio rileva inoltre come, nel 2018, i video online hanno generato 300 milioni di tonnellate di CO₂, che equivalgono alle emissioni annuali di nazioni come la Francia. Un altro elemento che contribuisce in maniera rilevante a tale problematica è il consumo energetico associato al video streaming: il sito web di Google *Greening the Beast* rileva infatti che ogni anno vengono utilizzati 75 miliardi di kilowatt ora solo per i videogiochi su PC, che equivalgono all'energia prodotta da 25 centrali elettriche. Negli Stati Uniti l'inquinamento associato solamente all'utilizzo dei videogiochi (escludendo quindi la produzione) è pari a quello prodotto da 2.3 milioni di automobili.

La situazione, purtroppo, negli ultimi mesi non è andata a migliorare; anzi, lo scoppio della pandemia da Covid-19 ha portato ad una maggiore attenzione sui futuri impatti ambientali dello streaming. Le piattaforme digitali nel 2020 hanno infatti occupato buona parte del nostro tempo di quarantena (più di cinque ore e mezza al giorno secondo Il Corriere della Sera). Secondo i dati pubblicati a giugno 2020 dalla *International Energy Agency* (IEA), tra febbraio e aprile 2020 il traffico internet globale è aumentato di quasi il 40%, spinto da una importante crescita dello streaming video, dei giochi online, delle videoconferenze e dei social network. L'IEA prevede inoltre che la domanda di dati e servizi digitali continuerà con una crescita esponenziale nei prossimi anni: si stima che il traffico internet globale raddoppierà entro il 2022, raggiungendo i 4.2 trilioni di gigabyte. Il numero degli utenti connessi a Internet passerà da 3.8 miliardi nel 2019 a 5 miliardi entro il 2025. La diffusione di questa modalità di accesso alla rete avrà un importante impatto sull'ambiente: la *Purdue University* ha rilevato come un'ora di streaming emetta dai 150 a 1000 grammi di anidride carbonica, richiedendo un consumo di acqua associata a ogni gigabyte di dati utilizzati su internet dai 2 ai 12 litri e di superficie terrestre pari alle dimensioni di un Ipad Mini.

CAPITOLO 3 - INTERNET OF THINGS: BENEFICI E IMPATTI AMBIENTALI

Le tecnologie digitali e la relativa l'industria ICT stanno avendo quindi un ruolo sempre maggiore nell'impatto inquinante del nostro pianeta. A far fronte a tale situazione però, la stessa Industria 4.0 si è mossa al fine di implementare specifiche misure che possano ridurre le emissioni derivanti dalle tecnologie digitali. Fra le innovazioni a sostegno dell'ambiente, in particolare, l'Internet of Things sta ricoprendo un ruolo sempre più centrale all'interno della nostra società. Il termine Internet of Things si riferisce generalmente ad un gruppo di infrastrutture che collegano *connected objects* e permettono la loro gestione, l'estrazione e l'accesso ai dati che tali oggetti generano. I *connected objects* sono rappresentati da sensori o attuatori destinati alla raccolta dati e in grado di comunicare con ulteriori apparecchiature. (Dorsemaine B. et al., 2015).

Le tecnologie e gli sviluppi dell'IoT hanno diversi campi di applicazione. Liu R. e Wang J. (2016) individuano tre macroaree: quella industriale, la quale raggruppa elementi quali la logistica, l'agricoltura e i processi industriali, la macroarea relativa al concetto di *smart city*, che comprende a sua volta le nozioni di *smart home* e *smart building*, la sicurezza pubblica e il monitoraggio/impatto ambientale (oggetto del capitolo corrente), e infine la macroarea dell'*health care*.

3.1 Applicazione dell'IoT in ambito ambientale

L'Internet of Things presenta importanti implicazioni che hanno come obiettivo la sostenibilità ambientale. A tal proposito, Chivaravuri A., Feroz A.K. e Zo H. (2021) rilevano differenti ambiti di applicazione dell'Iot nell'ambiente ed evidenziano il ruolo che tali tecnologie hanno nel *pollution control*, nella *waste management*, nella *sustainable production* e nell'*urban sustainability*.

3.1.1 IoT e pollution control

L'IoT riveste un ruolo centrale nel monitoraggio delle emissioni inquinanti dannose per l'ambiente. Sono infatti molteplici i sistemi e i dispositivi che differenti studiosi hanno progettato e sperimentato al fine di rilevare tali dati.

Per quanto riguarda alcune soluzioni adottate al fine di monitorare e ridurre l'inquinamento dell'aria, Jayanthi S. et al. (2018) hanno sviluppato un sistema in grado di ridurre o dirottare il

traffico dei veicoli a seconda delle concentrazioni di inquinanti nell'aria. Questo avviene attraverso l'installazione di dispositivi wireless, alimentabili anche mediante fonti rinnovabili, in alcune infrastrutture urbane come, ad esempio, i pali della luce. All'interno di tali dispositivi sono presenti sensori in grado di misurare la concentrazione di alcuni gas presenti nell'aria come il monossido di carbonio, l'ammoniaca, il gas metano e l'ossigeno. Dopo una attenta elaborazione dei dati, gli apparecchi trasferiscono tali informazioni ad un server o ad una stazione di servizio, al fine di favorire un maggior controllo del traffico nelle aree dove l'inquinamento dell'aria è elevato.

Il controllo del traffico stradale rappresenta anche un obiettivo dell'approccio sperimentato da Kazmi A., Serrano M., Tragos E., (2018), che utilizza un sistema l'IoT al fine di monitorare, gestire e, di conseguenza, ridurre, l'inquinamento acustico. Tale sistema prevede, fra i vari software e dispositivi, l'utilizzo di sensori acustici e della piattaforma IoT *open-source VITAL-OS* la quale permette la raccolta, l'integrazione e la gestione di dati che derivano da tali sensori. I dati che riguardano il livello di rumore del traffico vengono quindi analizzati; se il livello di rumore in una particolare strada supera un determinato valore soglia, le autorità cittadine provvederanno a migliorare il flusso del traffico regolando la tempistica dei semafori e favorendo la circolazione verso strade meno congestionate.

3.1.2 *IoT e waste management*

Una delle principali contromisure all'inquinamento ambientale all'interno di una smart city (si veda Abuarqoub A. et al., 2018) è un sistema intelligente destinato alla gestione dei rifiuti. L'obiettivo è di implementare una soluzione innovativa in merito alla programmazione della raccolta urbana delle diverse frazioni di rifiuti e l'instradamento, cioè la pianificazione del percorso che i mezzi per la raccolta seguiranno fino agli impianti destinati allo smaltimento. Bharti P., Manvi S.S. e Shyam G. K. (2017) hanno sperimentato per la città di Pune, in India, un sistema intelligente di raccolta dei rifiuti dove il parametro che viene elettronicamente monitorato è la quantità di rifiuti presente nei cestini. Tali dati sono ottenuti mediante dei sonar che misurano il livello di riempimento dei rifiuti, che li inviano successivamente ad un server remoto tramite un collegamento wireless. Il server presenta un database finalizzato all'immagazzinamento dei dati raccolti e, mediante un algoritmo di intelligenza artificiale, definisce quali saranno i cestini da svuotare. Inoltre, l'algoritmo fornisce una previsione del livello di rifiuti futuri nei vari cassonetti. Una volta identificati i cassonetti, l'algoritmo di ottimizzazione calcola i percorsi più brevi che i mezzi dovranno seguire, che verranno poi

inviati agli operatori tramite dispositivi mobili. La simulazione eseguita presso la città di Pune considera un totale di 5000 cestini per i rifiuti in dieci località della città. Essa porta alla conclusione che l'utilizzo di tale sistema integrato di waste management comporta una riduzione della distanza percorsa, del tempo impiegato per coprire la lunghezza del percorso, e dei costi associati alla raccolta e allo smaltimento.

3.1.3 *IoT e sustainable production*

Una produzione sostenibile permette alle organizzazioni di ridurre l'uso di risorse, l'inquinamento e il degrado, raggiungendo allo stesso tempo gli obiettivi europei per lo sviluppo sostenibile. L'internet delle cose, a tal proposito, presenta dispositivi e sistemi in grado di rendere sostenibile il settore manifatturiero.

In tale ambito infatti, *l'Industrial Internet of Things*, termine che esprime l'applicazione dell'IoT in tale industria, utilizza sistemi di monitoraggio wireless al fine di rendere la produzione 'predittiva', ossia capace di monitorare errori, lo stato della produzione e l'output del prodotto al fine di prevedere e rilevare i problemi di processo alla radice. In questo modo si migliora l'efficienza della produzione, attraverso un minor consumo di energia e un aumento della produttività (Bugtai N. T., Pacis D. M., Subido E. D., 2017). In particolare, per far sì che l'industria manifatturiera sia predittiva, sono necessari strumenti di previsione avanzati in modo che i dati possano tramutarsi in informazioni che spieghino le incertezze e che permettano al personale di attuare corrette decisioni. (Bagheri B. et al, 2013). A tal scopo, sensori intelligenti possono essere utilizzati per la raccolta dati al fine di sviluppare un algoritmo di autoapprendimento o di intelligenza artificiale. Questo processo di raccolta e sviluppo permette di comprendere in quale fase del ciclo di vita del prodotto si rilevano i maggiori impatti inquinanti. Ciò permette uno sviluppo del design del prodotto e del materiale che consente una riduzione della quantità di rifiuti prodotta e uno sviluppo delle capacità di riutilizzo aziendali (Kaebernick, Kara, Sun, 2003). Tali sensori consentiranno inoltre di prevedere i tempi di fermo macchina non programmati, al fine di ridurre il consumo energetico (Ghosh, Lade, Srinivasan, 2017).

3.1.4 *IoT e urban sustainability*

L'IoT rappresenta uno dei componenti chiave al fine di rendere sostenibile l'urbanizzazione. Una città sostenibile porta ad una maggiore consapevolezza nell'utilizzo delle risorse naturali

e nella produzione di rifiuti (Chivaravuri A., Feroz A.K. e Zo H., 2021) portando quindi ad un miglioramento del benessere della popolazione. Essa rappresenta infatti una delle componenti della città intelligente, o smart city, la quale ha come obiettivo primario il miglioramento della vita dei cittadini, migliorando la sostenibilità e l'efficienza nel lavoro mediante l'utilizzo delle tecnologie digitali (Abuarqoub A. et al., 2018). L'internet delle cose, grazie alla sua capacità di integrare entità digitali e fisiche, consente una classe tutta nuova di applicazioni, dispositivi e servizi big data i quali, se realizzati e sfruttati, permettono un progredire in termini di sostenibilità ambientale.

In relazione al concetto di smart energy, ossia un approccio in cui le reti elettriche, termiche e dei gas intelligenti sono coordinate e combinate per identificare sinergie tra di loro al fine di giungere ad una soluzione ottimale a livello settoriale e per il sistema energetico complessivo (Lund H., 2014), l'utilizzo dell'IoT e dei big data possono supportare il processo decisionale relativo alla fornitura di energia, mediante l'analisi della domanda effettiva dei cittadini e delle altre condizioni contestuali. I *decision makers* e le aziende energetiche possono basare infatti le loro decisioni in base al monitoraggio costante dei dati, rispondendo facilmente alle fluttuazioni del mercato. Ciò permette una maggiore flessibilità in termini di aumento o diminuzione di produzione energetica, contribuendo così a renderla più efficiente. L'uso delle stesse tecnologie permette, oltre un'analisi dei dati raccolti, una loro memorizzazione per scopi previsionali.

Un sistema di fornitura energetica intelligente riveste anche un ruolo centrale nei luoghi che il consumatore frequenta, contribuendo in maniera rilevante alle definizioni di ambienti intelligenti come la smart home o lo smart office. Dispositivi e sensori IoT raccolgono infatti dati su tutte le forme di elettrodomestici e dispositivi che consumano energia, come lampadine, interruttori, trasferendo in tempo reale alle società di fornitura, in modo tale da bilanciare con efficacia la generazione, la distribuzione e l'uso dell'energia. (Claise B., et al, 2014). Essi permettono ai consumatori e agli utenti di controllare a distanza i loro dispositivi come prese ed interruttori elettrici, in modo tale da migliorare la loro programmazione, cambiando le condizioni di illuminazione di un particolare ambiente. Cresce quindi il numero di dispositivi di consumo controllabili tramite IoT, con risvolti positivi in termini ambientali. L'associazione delle imprese digitali tedesche *Bitkom*, nel rapporto *The digital economy's impact on the climate* (2021), stima infatti che una maggiore digitalizzazione delle abitazioni, degli impianti produttivi, dei trasporti e del lavoro sia capace di garantire un contributo pari al 46% degli obiettivi prefissati dal governo tedesco in termini di abbattimento di CO₂ (-262 milioni di tonnellate) e che il 15% della diminuzione di CO₂ attribuibile alla digitalizzazione deriverebbe dalle smart home.

3.2 Crescita e diffusione dell'IoT

I dispositivi e i sistemi IoT hanno quindi contribuito in maniera rilevante a ridurre l'emissione di sostanze inquinanti e la generazione dei rifiuti. Grazie ai numerosi benefici che l'IoT porta nei suoi differenti ambiti di applicazione, negli ultimi anni si è verificata una crescita rilevante del mercato IoT. Il portale web tedesco per la statistica *Statista* (2021) ha previsto infatti che il mercato globale dell'IoT ha raggiunto nel 2017 ricavi pari a 100 miliardi di dollari, prevedendo che tale cifra crescerà fino ai 1,6 trilioni di dollari entro il 2025. Inoltre, in riferimento alla *smart city*, il sito web tedesco afferma che i ricavi globali previsti dalle aziende che realizzano prodotti, servizi e tecnologie destinati alle città intelligenti dovrebbe raggiungere i 129 miliardi di dollari nel 2021. Ciò porterà ad una relativa crescita del numero di dispositivi connessi tramite rete: il presidente esecutivo di Cisco ed ex CEO John Chambers, nella conferenza annuale *Fortune Global Forum* del 2015, ha infatti affermato che 500 miliardi di dispositivi saranno connessi a Internet nel 2025, prevedendo inoltre che le tecnologie digitali tra cui l'IoT, il cloud e il mobile renderanno il 40% delle aziende mondiali irrilevanti in 10 anni, dal momento che non riusciranno ad adeguarsi al ritmo innovativo del digitale (Business Insider, 2015). In ambito lavorativo, infatti, l'Iot sta assumendo maggiore rilevanza da parte delle imprese italiane: secondo i dati Istat infatti, già citati nel primo capitolo, nel 2020 l'internet delle cose è stato presente nei processi aziendali di una impresa su cinque.

3.3 Inquinamento derivante dall'IoT

La continua crescita dei dispositivi connessi alla rete porta all'emergere di alcune problematiche relative all'impatto inquinante che tali tecnologie possono avere nei confronti dell'ambiente. Nei successivi paragrafi si analizzeranno alcuni problemi di tipo ambientale di cui la diffusione dell'IoT è la fonte principale.

3.3.1 IoT: consumo energetico e scarsità di chip

Una delle sfide ambientali che l'IoT pone riguarda il consumo energetico. Il continuo moltiplicarsi dei dispositivi connessi a Internet, con la previsione che entro il 2025 moltissimi oggetti della nostra vita quotidiana saranno connessi alla rete, comporta notevoli implicazioni in termini di consumo energetico. Ogni tag RFID attivo, sensore che permette di digitalizzare

l'entità sulla quale viene applicato per permetterne la sua identificazione tramite segnale radio, necessita di una piccola quantità di energia per funzionare in modo tale da garantire servizi efficienti (Kim D.-H., Kim J.-D, Lee C.-S., 2014). Ciò implica quindi che, in futuro, miliardi di dispositivi che consumano energia su base quotidiana e trasmettono milioni di GB di dati richiederanno di essere analizzati ed elaborati da enormi centri dati, necessitando di un elevato consumo di risorse energetiche (M.-C. Chiang et al., 2014) (Banerjee A. et al. 2014). Inoltre, ogni tag RFID attivo è a sua volta composto da elementi fra cui il chip, che contiene la memoria del dispositivo, e l'antenna, la quale riceve e trasmette i segnali da e verso il sistema di lettura o di scrittura. In aggiunta, a differenza dei tag RFID passivi, che ricevono energia dal dispositivo di lettura, i tag attivi sono dotati di batteria. La moltiplicazione attuale e futura degli strumenti IoT ha portato quindi a un sempre più elevato utilizzo di tali componenti elettronici: *The Guardian*, infatti, in un articolo sul web pubblicato nel 2021 dal titolo *Global shortage in computer chips 'reaches crisis point'*, evidenzia come Samsung, ad esempio, una delle maggiori aziende consumatrici di chip tra le aziende del pianeta, li utilizza per un valore complessivo pari a 36 miliardi di dollari l'anno. La richiesta di chip è talmente elevata da provocarne una loro scarsità: secondo lo stesso articolo, infatti, la carenza di chip è stato un fenomeno rilevante nell'ultimo anno, con aziende automobilistiche che investono in veicoli elettrici ad elevato contenuto tecnologico e di elettronica del consumo che hanno sempre più richiesto tali dispositivi. Il quotidiano britannico evidenzia inoltre come tale carenza non sia solamente derivata da un aumento della domanda, bensì anche da un calo della loro produzione derivante dalla forzata chiusura delle fabbriche a causa dello scoppio della pandemia da Coronavirus.

3.3.2 E-waste e riciclaggio

L'elevato utilizzo di componenti elettroniche e di dispositivi IoT che li incorporano, inoltre, porta a delle problematiche relative alla generazione di rifiuti elettronici (*electronic waste* o *e-waste*) ed al loro smaltimento e riciclaggio.

Il report *The Global E-waste Monitor 2020* realizzato nel 2020 dalla *Global E-waste Statistics Partnership* (GESP), gruppo di associazioni che ha come obiettivo principale quello di migliorare e raccogliere statistiche a livello mondiale sui rifiuti elettronici, rileva che un record di 53.6 milioni di tonnellate metriche (Mt) di tali rifiuti è stato generato in tutto il mondo nel 2019, con un aumento del 21% in soli cinque anni. Tale rapporto inoltre prevede che i rifiuti elettronici globali, ossia i prodotti scartati con una batteria o con una spina,

raggiungeranno i 74 Mt entro il 2030, rendendo i rifiuti elettronici il flusso di rifiuti domestici in più rapida crescita a livello mondiale. Tale crescita deriva principalmente da tassi di consumo più elevati e cicli di vita più brevi degli stessi dispositivi. In particolare, secondo l'articolo web dal titolo *The Internet of Trash: IoT Has a Looming E-Waste Problem* pubblicato nel 2018 nel sito Internet *IEEE Spectrum*, associazione professionale statunitense per l'ingegneria elettronica ed elettrica, il maggior utilizzo di sensori e strumenti IoT incorporati in oggetti comporta una drastica riduzione della loro vita, trasformando prodotti che potrebbero durare quindici anni in prodotti che invece devono essere sostituiti ogni cinque. Questo deriva dal fatto che molti piccoli dispositivi connessi tra di loro come i tracker o wearable sono progettati per fallire ogni volta che la batteria muore. Ciò porta il consumatore a buttare via l'oggetto e a ricomprarne un altro. Sono quindi anche delle scelte di progettazione e di produzione di tipo aziendale che vogliono rendere sempre più smart i loro prodotti a influenzare l'incremento di rifiuti elettronici: l'azienda di attrezzature sportive Wilson, ad esempio, ha creato un pallone da basket collegato al Bluetooth. Non essendo riusciti a mettere una batteria sostituibile all'interno del pallone senza compromettere la prestazione, l'azienda ha deciso di adottare la soluzione meno adatta dal punto di vista ambientale, con lo spegnimento della batteria che comporta l'annullamento della connettività del dispositivo IoT.

Per quanto riguarda invece lo smaltimento e il riciclaggio dei dispositivi elettronici e dei loro componenti, vi sono numerose questioni relative all'implementazione di tali attività: secondo l'articolo pubblicato nel 2018 dalla *Columbia Climate School* solo il 20% dei materiali presenti nei rifiuti elettronici a livello globale è stato adeguatamente riciclato nell'anno 2016. Il riciclaggio corretto o formale dei rifiuti elettronici, essendo molto costoso e laborioso, porta aziende e paesi a esportarli illegalmente nei paesi in via di sviluppo, dove il riciclaggio avviene tipicamente senza alcun tipo di regolamentazione e licenza (c.d. riciclaggio informale). Lo studio *Scam Recycling: e-Dumping on Asia by US Recyclers* realizzato nel 2016 dal gruppo *Basel Action Network*, un'organizzazione non governativa caritatevole che combatte l'esportazione dei rifiuti tossici della tecnologia e altri prodotti dalle società industrializzate ai paesi in via di sviluppo, ha rilevato che il 40% dei rifiuti elettronici destinati al riciclaggio negli Stati Uniti sono stati invece esportati in paesi in via di sviluppo. Il riciclaggio informale, quindi, basandosi su procedure non regolamentate e metodi primitivi e rudimentali di smaltimento dei rifiuti elettronici, porta all'esposizione dell'ambiente a sostanze chimiche pericolose derivanti dai rifiuti elettronici e dai prodotti della combustione.

CONCLUSIONI

Le molteplici criticità dal punto di vista ambientale che le tecnologie digitali sollevano pongono quindi in evidenza come lo sviluppo tecnologico e il fenomeno della digitalizzazione non abbiano solamente comportato dei benefici per l'ambiente, ma abbiano anche determinato delle problematiche che l'uomo dovrà affrontare al fine di poter ottenere delle soluzioni sostenibili per il nostro pianeta. La letteratura, inoltre, si è principalmente focalizzata sugli aspetti positivi che l'introduzione di tali strumenti può avere nei confronti della Terra, mostrando delle difficoltà e ponendo in secondo piano i possibili impatti inquinanti derivanti da una loro diffusione.

Questo non significa però che l'uomo debba smettere di usufruire dei servizi e dei dispositivi che il digitale fornisce. Anzi, la nascita di nuove tecnologie e la crescita nel loro utilizzo e nella loro adozione dovrebbero porre una maggiore rilevanza nel comprendere i possibili impatti ambientali derivanti dall'introduzione di tali innovazioni, garantendo così che una loro eventuale diffusione non aggravi ulteriormente la situazione.

Anticipare gli effetti negativi permetterebbe infatti di evitare situazioni future simili a quelle odierne, in cui l'uomo tenta di porre rimedio agli impatti inquinanti del digitale. Prendendo ad esempio l'IoT, è emblematico il ruolo che negli ultimi anni sta assumendo il *Green Internet of Things*, finalizzato a ridurre il consumo energetico derivante dalla moltiplicazione di sensori e dispositivi intelligenti attraverso l'adozione di pratiche sostenibili durante il loro intero ciclo di vita.

Sarà fondamentale quindi comprendere in maniera preventiva il possibile impatto inquinante di nuovi dispositivi e sistemi digitali, al fine di attuare una serie di interventi e regolamentazioni nelle fasi di produzione, utilizzo, smaltimento e riciclaggio. Ciò contribuirebbe sicuramente a indirizzare l'intera industria ICT al concetto di sostenibilità, permettendo quindi all'essere umano di soddisfare i bisogni odierni senza compromettere la capacità delle generazioni future di realizzare i propri.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[Data ultima di accesso al materiale online: 21/06/2021]

ABUARQOUB A., HUSSAIN M., MALIK K.R., SAM Y., 2018. *A methodology for real-time data sustainability in smart city: Towards inferencing and analytics for big-data*. [online]. Disponibile su: [A methodology for real-time data sustainability in smart city: Towards inferencing and analytics for big-data - ScienceDirect](#).

APPLE, 2016. *Environment Report*. [online]. Disponibile su: www.apple.com/environment/reports/. IN: BELKHIR L., ELMELIGI A., 2018. *Assessing ICT global emission footprint: Trends to 2040 & recommendations*.

AYALA N. F., BENITEZ G. B., DALENOGARE L. S., FRANK A. G., 2018. *The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance*. [online]. Disponibile su [The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance | Elsevier Enhanced Reader](#)

BAGHERI B., KAO H., LAPIRA B., LEE J., 2013. *Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment*. [online]. Disponibile su: [Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment - ScienceDirect](#).

BALBI G., MAGAUDDA P., 2014. *Storia dei media digitali. Rivoluzioni e continuità*. Edizione digitale. Roma-Bari: Laterza.

BANERJEE A., MUKHERJEE A., PAUL H.S., DEY S., 2014. *ANGELS for distributed analytics in IoT*. [online]. Disponibile su: https://www.researchgate.net/publication/271482280_ANGELS_for_distributed_analytics_in_IoT.

BASEL ACTION NETWORK, 2016. *Scam Recycling: e-Dumping on Asia by US Recyclers*. [online]. Disponibile su: <https://wiki.ban.org/images/1/12/ScamRecyclingReport-web.pdf>.

BELKHIR L., ELMELIGI A., 2018. *Assessing ICT global emission footprint: Trends to 2040 & recommendations*. [online]. Disponibile su: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261733233X>.

BHARTI P., MANVI S. S., SHYAM G.K., 2017. *Smart Waste Management using Internet-of-Things (IoT)*. [online]. Disponibile su: [Smart waste management using Internet-of-Things \(IoT\) | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

BITKOM, 2021. *The digital economy's impact on the climate*. [online]. Disponibile su: [Digitalisierung und Nachhaltigkeit \(bitkom.org\)](#).

BUGTAI N.T., PACIS D. M., SUBIDO E. D., 2017. *Research on the Application of Internet of Things (IoT) Technology Towards A Green Manufacturing Industry: A Literature Review*. [online]. Disponibile su: [\(PDF\) Research on the Application of Internet of Things \(IoT\) Technology Towards A Green Manufacturing Industry: A Literature Review \(researchgate.net\)](#)

BUSINESS INSIDER, 2015. *Former Cisco CEO John Chambers predicts 500 billion connected devices by 2025*. [online]. Disponibile su: <https://www.businessinsider.com/former-cisco-ceo-500-billion-connected-devices-by-2025-2015-11?r=US&IR=T>.

CANALYS, 2020. *Canalys: PC market shipments grow a stellar 13% in Q3 2020 to break 10-year record*. [online]. Disponibile su: <https://www.canalys.com/newsroom/canalys-pc-market-shipments-grow-a-stellar-13-in-q3-2020>.

CHIANG M.-C., LAI C.-F., TSAI C.-W., YANG L. T., 2014. *Data mining for Internet of Things: A survey*. [online]. Disponibile su: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6674155>.

CHIVARAVURI A., FERROZ A.K., ZO H., 2021. *Digital Transformation and Environmental Sustainability: A Review and Research Agenda*. [online]. Disponibile su: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1530>.

CLAISE B., PARELLO J., QUITTEK J., SCHOENING B., 2014. *Energy management framework*. [online]. Disponibile su: [http://doc: RFC 7326: Energy Management Framework](http://doc.rfc7326.org/).

COLLE D., DEMEESTER P., LAMBERT S., LANNOO B., PICKAVET M., VAN HEDDEGHEM W., 2014. *Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012*. [online]. Disponibile su: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366414000619>.

COLLE D., LAMBERT S., LANNOO B., PICKAVET M., VAN HEDDEGHEM W., VEREECKEN W., 2012. *Worldwide electricity consumption of communication networks*. [online]. Disponibile su: <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-20-26-B513&id=246736>.

COLUMBIA CLIMATE SCHOOL, 2018. *What Can We Do About the Growing E-waste Problem?*. [online]. Disponibile su: <https://news.climate.columbia.edu/2018/08/27/growing-e-waste-problem/>.

COMMISSIONE MONDIALE PER L'AMBIENTE E LO SVILUPPO, 1988. *Il futuro di noi tutti*. Prima edizione. Milano: Bompiani. P. 65.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 2016. [online]. Disponibile su: http://www2.dsu.cnr.it/relazione_ricerca_innovazione/volume/Relazione_sulla_ricerca_e_innovazione_in_Italia_webformat.pdf

CORRIERE DELLA SERA, 2020. *Quel piccolo schermo che riempie i giorni della nostra quarantena*. [online]. Disponibile su: https://www.corriere.it/sette/attualita/20_aprile_17/quel-piccolo-schermo-che-riempie-giorni-nostra-quarantena-fc8d45a6-7d84-11ea-bfaa-e40a2751f63b.shtml.

DAYARATHNA M., FAN R., WEN Y., 2015. *Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey*. [online] Disponibile su : <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7279063>.

DORSEMAINE B., GAULIER J., ORANGE N. K., PASCAL U., J. WARY, 2015. *Internet of Things: A Definition & Taxonomy*. [online]. Disponibile su: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7373221>.

ENEA, 2020. *Il tempo dello Smart Working. La PA tra conciliazione, valorizzazione del lavoro e dell'ambiente*. [online] Disponibile su: https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2020/smart_working_nella_pa.pdf

EUROPEAN ENVIRONMENTAL BUREAU, 2019. *Coolproducts don't cost the Earth*. [online]. Disponibile su: <https://eeb.org/library/coolproducts-briefing/>

FASTWEB, 2015. [online] Disponibile su: <https://www.fastweb.it/web-e-digital/breve-storia-dell-evoluzione-dello-streaming-online/>.

GHOSH R., LADE P., SRINIVASAN S., 2017. *Manufacturing Analytics and Industrial Internet of Things*. [online] Disponibile su: [Manufacturing Analytics and Industrial Internet of Things | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#).

GLOBAL E-WASTE STATISTICS PARTERSHIP, 2020. *The Global E-waste Monitor 2020*. [online]. Disponibile su: https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf.

GRASSO A., GRASSO L., 2019. *Ruolo ed impatto sull'economia delle tecnologie emergenti nel paradigma della globalizzazione 4.0*. [online] Disponibile su: <https://www.cemad.es/wp-content/uploads/2019/10/impatto-economia-tecnologie-emergenti-globalizzazione-4-0.pdf>.

GREENING THE BEAST, 2018. [online] Disponibile su: <https://sites.google.com/site/greeningthebeast/faqs>.

IEEE SPECTRUM, 2018. *The Internet of Trash: IoT Has a Looming E-Waste Problem*. [online]. Disponibile su: <https://spectrum.ieee.org/telecom/internet/the-internet-of-trash-iot-has-a-looming-ewaste-problem>.

IL SOLE 24 ORE, 2020. *Gli smartphone e la riduzione delle emissioni di CO2: missione impossibile?* [online]. Disponibile su: <https://www.ilsole24ore.com/art/gli-smartphone-e-riduzione-emissioni-co2-missione-impossibile-ADSh6Dz>

INFO-TECH, 2007. *Top 10 Energy-Saving Tips for s Greener Data Center.* [online] Disponibile su: http://static.infotech.com/downloads/samples/070411_premium_oo_greendc_top_10.pdf

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020. *Data Centres and Data Transmission Networks.* [online]. Disponibile su: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>.

ISTAT, 2020. *Le imprese usano il web ma solo le grandi integrano tecnologie più avanzate.* [online]. Disponibile su: https://www.istat.it/it/files/2020/12/REPORT-ICT-NELLE-IMPRESE_2019_2020.pdf.

IVF INDUSTRIAL RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION, 2007. *Lot 3. Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors.* [online]. Disponibile su: https://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Final_Documents/EuP_Lot3_PC_FinalReport.pdf.

JAYANTHI S., KIRUTHIGA R., MAHALAKSHMI M., MUTHUKUMAR S., SHERINE MARY W., 2018. *IoT based air pollution monitoring and control system.* [online] Disponibile su: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8597240>.

KAEBERNICK H., KARA S., SUN M., 2003. *Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements.* [online] Disponibile su: [Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements - ScienceDirect](#)

KANDLIKAR M., TEEHAN P., 2012. *Sources of Variation in Life Cycle Assessments of Desktop Computers.* [online]. Disponibile su: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2011.00431.x>

KAZMI A., SERRANO M., TRAGOS E., 2018. *Underpinning IoT for Road Traffic Noise Management in Smart Cities*. [online]. Disponibile su: [\(PDF\) Underpinning IoT for Road Traffic Noise Management in Smart Cities \(researchgate.net\)](#).

KIM D.-H., KIM J.-D, LEE C.-S., 2014. *An energy efficient active RFID protocol to avoid overhearing problem*. [online]. Disponibile su:
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6584733>.

KOOMEY J. G., MATTHEWS H. S., WEBER C. L., 2010. *The energy and climate change alteration of different music delivery methods*. [online]. Disponibile su:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x>.

KUROSE J., SEETHARAM A., SHENOY P., SOMASUNDARAM M., TOWSLEY D., 2010. *Shipping to streaming: is this shift green?* . [online]. Disponibile su:
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1851290.1851304>.

LACY P., LAMONICA B., RUTQVIST J., 2016. *Circular Economy: Dallo spreco al valore*. Prima edizione. Milano: EGEA.

LIM B., ROTH K., SHMAKOVA V, URBAN B, 2014. *Energy consumption of consumer electronics in U.S. homes in 2013*. [online] Disponibile su
<http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/06/electronics.pdf>.

LIU R., WANG J., 2016. *Internet of Things: Application and Prospect*. [online]. Disponibile su:
https://www.researchgate.net/publication/314783179_Internet_of_Things_Application_and_Prospect.

LONGO G.O., VACCARO A., 2013. *Bit Bang. La nascita della filosofia digitale*. Prima edizione. Milano: Apogeo Education.

LUND H., 2014. *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*. Seconda edizione. USA: Academic Press.

MASANET E., SHEHABI A., WALKER B., 2014. *The energy and greenhouse-gas implications of internet video streaming in the United States*. [online] Disponibile su: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/5/054007>.

NETWORK DIGITAL 360, 2021. *Osservatorio Mobile B2C 2021: aumenta ancora l'uso dello smartphone*. [online]. Disponibile su: <https://www.zerounoweb.it/trends/dinamiche-di-mercato/osservatorio-mobile-b2c-2021-aumenta-ancora-luso-dello-smartphone/>.

ORANTES-JIMÉNEZ S., VÁZQUEZ-ÁLVAREZ G., ZAVALA-GALINDO A., 2015. *Paperless Office: a new proposal for organizations*. [online] Disponibile su: <https://www.semanticscholar.org/paper/Paperless-Office%3A-A-New-Proposal-for-Organizations-Orantes-Jim%C3%A9nez-Zavala-Galindo/603ef7627e4f4ae040260e2a4adc3517a263f136>.

PURDUE UNIVERSITY, 2021. *Turn off that camera during virtual meetings, environmental study says*. [online]. Disponibile su: <https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2021/Q1/turn-off-that-camera-during-virtual-meetings,-environmental-study-says.html>.

ROY S. N., 2008. *Energy Logic: A Road Map to Reducing Energy Consumption in Telecommunications Networks*. [online]. Disponibile su: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4664025>.

STATISTA, 2021. *Global IoT end-user spending worldwide 2017-2025*. [online]. Disponibile su: <https://www.statista.com/statistics/976313/global-iot-market-size/>.

STATISTA, 2021. *Smart city revenue worldwide 2020-2025*. [online]. Disponibile su: <https://www.statista.com/statistics/1111626/worldwide-smart-city-market-revenue/>.

THE GUARDIAN, 2013. *Should I stop buying paper books and use e-reader instead?*. [online]. Disponibile su: <https://www.theguardian.com/environment/2013/jan/06/should-i-buy-an-e-reader>

THE GUARDIAN, 2021. *Global shortage in computer chips 'reaches crisis point'*. [online]. Disponibile su: <https://www.theguardian.com/business/2021/mar/21/global-shortage-in-computer-chips-reaches-crisis-point>.

THE SHIFT PROJECT, 2019. – *LEAN ICT- TOWARDS DIGITAL SOBRIETY. REPORT OF THE WORKING GROUP DIRECTED BY HUGUES FERREBOEUF FOR THE THINK TANK THE SHIFT PROJECT*. [online]. Disponibile su: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf.

TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2020. *How clean are electric cars?*. [online]. Disponibile su: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/electric-cars/how-clean-are-electric-cars>

TRECCANI. [online]. Disponibile su: <https://www.treccani.it/vocabolario/streaming/>.

UNITED NATIONS, 1972. *Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 5-16 June 1972*. [online]. Disponibile su: <https://undocs.org/en/A/CONF.48/14/Rev.1>