

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale
Classe LM-31

Percorso Produzione

**Analisi della diffusione delle tecnologie verdi e digitali:
evidenze empiriche a livello globale**



Relatore:

Prof.ssa Alessandra Colombelli

Correlatore:

Dott.ssa Chiara Ravetti

Candidato:

Salvatore Lombardo

Anno accademico 2020/2021

Indice

ABSTRACT	5
OBIETTIVO E METODOLOGIA	6
1 SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E DIGITALIZZAZIONE	7
1.1 POTENZIALI SCENARI CLIMATICI IRREVERSIBILI	7
1.2 CONSAPEVOLEZZA, NEGAZIONISMO E INFLUENZA POLITICA.....	8
1.3 SFIDE FONDAMENTALI CHE GLI STATI DEVONO COMPIERE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE E NORMATIVE	9
1.4 MISURE DI INTERVENTO PER OTTENERE ZERO EMISSIONI ENTRO IL 2050	10
1.5 STRATEGIE PER LO SVILUPPO DI PRODOTTI VERDI	12
1.6 MACRO TENDENZE TECNOLOGICHE IN OTTICA GREEN ECONOMY	14
1.7 TECNOLOGIE VERDI CHE OSTACOLANO IL CLIMATE CHANGE ED IMPATTO DELLE TECNOLOGIE DIGITALI	15
1.8 TECNOLOGIE DIGITALI ABILITANTI DI BUSINESS SOSTENIBILI	30
2 MAPPATURA DELLE TECNOLOGIE GREEN E DIGITALI.....	35
2.1 INTRODUZIONE ALLO STUDIO	35
2.2 SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE DEI BREVETTI	36
2.3 CLASSIFICAZIONE ENVIRONMENT-RELATED TECHNOLOGIES.....	38
2.4 CLASSIFICAZIONE J TAG.....	41
2.5 RANGE TEMPORALE E AGGREGAZIONE DATI BREVETTUALI	43
2.6 TRENDS TECNOLOGICI VERDI E DIGITALI IN OTTICA COMPARATA ALLE ATTIVITÀ BREVETTUALI	44
2.7 TECNOLOGIE ENV-TECH IN OTTICA SOSTENIBILE	55
2.8 TECNOLOGIE J-TAG IN OTTICA SOSTENIBILE	62
2.9 INFLUENZE INCROCIATE E ASPETTI DI SVILUPPO TERRITORIALE	66
2.10 GEOGRAFIA DELL'INNOVAZIONE GREEN E DIGITALE.....	71
3 CONCLUSIONI	85
RINGRAZIAMENTI.....	87
BIBLIOGRAFIA	88
SITOGRAFIA.....	91
LISTA TABELLE.....	94
LISTA FIGURE	95

Abstract

Le preoccupazioni destinate dalle emergenze climatiche, indubbiamente legate anche alla sottovalutazione dell'impatto che le attività antropiche generano sulla natura e sull'ambiente, favoriscono una maggiore attenzione verso uno sviluppo tecnologico ecosostenibile. Il presente lavoro di tesi propone, quindi, di fornire un quadro approfondito dello stato dell'arte dei macro-filoni tecnologici relativi a Internet of Things, Artificial Intelligence, Big Data, Additive Manufacturing, Machine-to-Machine, e-Mobility, energie rinnovabili, green manufacturing, green building e biorisanamento prioritari in termini di competenze tecnico-scientifiche nell'affrontare il cambiamento climatico esistente, arricchito dall'utilizzo di dati brevettuali al fine di monitorare l'evoluzione temporale delle tecnologie verdi e digitali e la loro distribuzione geografica. Il primo capitolo mette in luce strategie e soluzioni green e digitali dettate dalla comunità scientifica che rispondano in maniera appropriata alle conseguenze del climate change, dopo aver evidenziato i potenziali scenari climatici irreversibili. In seguito, vengono illustrati un ventaglio di applicazioni verdi e digitali per ciascun macro-filone tecnologico in un'ottica di sostenibilità olistica, dalla produzione alla gestione dei rifiuti. Il secondo capitolo verte su un'analisi empirica di attività brevettuali, archiviate nelle classificazioni di pertinenza tecnologico-ambientale J-Tag e ENV-TECH, che fanno capo principalmente ai settori edile, informatico, agricolo e industriale. L'analisi è orientata a produrre trend temporali tecnologici settoriali, distribuzioni tecnologiche nei Paesi del mondo più esposti alle eco-innovazioni e a mostrare quanto un'invenzione tecnologica sia influenzata percentualmente dalla componente green e digitale. Infine, i risultati ottenuti sono stati argomentati con una serie di plausibili considerazioni.

Obiettivo e metodologia

Il presente lavoro di tesi tenta di riassumere i punti salienti dell'attuale dibattito internazionale del cambiamento climatico a partire dalle cause principali che hanno provocato l'inquinamento atmosferico e terrestre fino alle conseguenze dettate dallo squilibrio sugli ecosistemi naturali, potenzialmente rischiosi anche per la salute umana. In seguito, vengono messi in luce le macro tendenze eco-innovative ed illustrate alcune sue applicazioni che promuovono attività antropiche ecosostenibili, ostacolano l'innalzamento della temperatura globale e riducono l'emissione di inquinanti nei mari e nei terreni. Naturalmente lo sviluppo delle eco-innovazioni dipende dal contesto politico, sociale ed economico, ossia se sono presenti iniziative e agevolazioni che ne favoriscano lo sviluppo. Lo studio cerca, inoltre, di individuare, ove possibile, stadi del ciclo di vita del prodotto verde o digitale che producono sottoprodotti inquinanti e comprendere se gli effetti possano superare i benefici del prodotto verde finale, evidenziando anche l'impatto che le tecnologie verdi manifestano sulle tecnologie digitali e viceversa. Infine, si fornisce una panoramica a livello globale della diffusione delle eco-tecnologie e tecnologie digitali sulla base di dati empirici.

La metodologia adottata per lo svolgimento del presente lavoro di tesi si basa su una ricerca letteraria per comprendere i fenomeni che favoriscono oppure ostacolano lo sviluppo delle eco-innovazioni, una ricerca scientifica per analizzare le caratteristiche tecniche delle tecnologie verdi e digitali di tendenza e, infine, una ricerca brevettuale in due specifici sistemi di classificazioni tecnologiche, J Tag e ENV-TECH, mediante il software Orbit Intelligence, per misurare l'evoluzione delle tecnologie green e digitali a livello globale ed effettuare opportune analisi empiriche per individuare la geolocalizzazione e l'intensità dell'impatto green e digitale.

1 SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E DIGITALIZZAZIONE

1.1 POTENZIALI SCENARI CLIMATICI IRREVERSIBILI

In questi ultimi anni, il tema del cambiamento climatico si è affacciato nel dibattito internazionale come conseguenza di una progressiva e sempre più puntuale raccolta di informazioni di carattere scientifico, che consentono di leggere con nuove conoscenze l'evoluzione del sistema climatico e la sua interazione con i sistemi ecologici, sociali ed economici. L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) evidenzia come le attività antropiche (ossia la combustione di combustibili fossili, la deforestazione e l'allevamento di bestiame) siano il fattore dominante nel determinare problematiche ambientali legate al degrado dei beni ambientali primari (acqua, aria, suolo). È bene sottolineare che l'inquinamento ed il consumo delle risorse naturali non sono confinabili all'interno di una specifica area o territorio, ma vengono ad assumere una dimensione sempre più ampia, fino a diventare problematiche globali: il cambiamento climatico si riferisce anche all'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico, l'inquinamento degli oceani e dei mari e la perdita della biodiversità e degli ecosistemi [1].

La concentrazione in atmosfera di diossido di carbonio, metano e protossido di azoto rappresenta uno dei fattori di rischio ambientale principale in quanto determina un aumento della temperatura media terrestre, con conseguente parziale scioglimento delle calotte polari, la cui superficie è stata ridotta del 75% negli ultimi dieci anni, e innalzamento del livello dei mari. In tutto il mondo, l'aumento delle temperature ha provocato profonde alterazioni ai sistemi umani e naturali, inclusi eventi meteorologici estremi, come inondazioni, tempeste, ondate di calore. In un rapporto intitolato "Counting the Cost 2019: a year of climate breakdown" [2] pubblicato da Christian Aid nel 2019, si individuano più di 4500 vittime nel 2019 a causa degli effetti dei cambiamenti climatici e danni economici per decine di miliardi di dollari, senza tenere conto delle perdite di produttività, e solo una parte minoritaria delle perdite è risultata assicurata. In alcuni casi, il cambiamento climatico ha reso più probabile o più forte l'evento particolare, ad esempio con il ciclone Idai in Africa e le inondazioni in India e negli Stati Uniti. In altri casi, invece, l'evento è stato il risultato di cambiamenti nei modelli meteorologici, come temperature più elevate e precipitazioni ridotte, che hanno reso più probabili gli incendi o temperature dell'acqua più calde che hanno sovraccaricato le tempeste tropicali. Sebbene il rapporto si concentri sul costo finanziario degli eventi meteorologici estremi causati dai cambiamenti climatici, in molti paesi in via di sviluppo il costo umano del cambiamento climatico per le comunità vulnerabili è persino superiore al costo finanziario, e ci sono molte siccità a insorgenza lenta, cambiamenti meteorologici e invasione del mare che stanno progressivamente e devastando milioni di persone in tutto il mondo.

In Africa si stima che la popolazione a rischio malaria aumenterà di 170 milioni entro il 2030 e quella a rischio di dengue, malattia infettiva tropicale trasmessa da zanzare, di 2 miliardi entro il 2080. Le inondazioni

andranno ad intensificare la contaminazione delle riserve di acqua potabile, da qui i rischi per la salute di coloro che ne fanno uso. La siccità anche in questo caso, andrà a colpire la sicurezza alimentare e dei prodotti agricoli. A questi elementi si aggiungono anche effetti indiretti, ma a questi connessi, quali instabilità economica e aumento dei conflitti, entrambi legati alla scarsità delle risorse, che avranno poi le loro conseguenze sul piano della sicurezza e dell'equità e potranno essere fattori determinanti per la diffusione di fenomeni quali migrazioni climatiche. I Paesi in via di sviluppo sono forse i più esposti e i più vulnerabili alle malattie e agli eventi meteorologici estremi che si verificano a causa dei cambiamenti climatici e forse anche i meno attrezzati per superare le perdite e gli eventuali danni [3].

1.2 CONSAPEVOLEZZA, NEGAZIONISMO E INFLUENZA POLITICA

Per contrastare in modo efficace il cambiamento climatico, quindi, sarebbe necessario un intervento immediato ed estremo dell'uomo stesso che coinvolga tutte le popolazioni e le autorità nel mondo, unite per raggiungere il comune obiettivo di salvare la Terra e la nostra stessa vita. Tuttavia, numerosi fattori sembrano ostacolare la strada da percorrere al fine di raggiungere risultati tangibili. Uno di questi è indubbiamente rappresentato dalla scarsa e, spesso, erronea informazione che circonda il tema del cambiamento climatico e dall'assente o solo parziale comprensione delle conseguenze dello stesso sulla società nella sua totalità, quindi anche sulla sfera economica e politica. I giornali e i canali di informazione di tutti i Paesi offrono una copertura incompleta quando si tratta di esporre argomenti riguardanti il cambiamento climatico e c'è voluto più tempo perché questi temi trovassero spazio nell'opinione pubblica, nonostante gli episodi climatici senza precedenti si stessero ripetendo a cadenza regolare da qualche anno. Per citare un esempio, l'articolo "Clima, una svolta senza catastofismi" pubblicato su "Il Mattino" del 29 settembre 2019 dal fondatore di Nomisma Energia e membro dell'Advisory Board dell'ENI sulla transizione energetica Davide Tabarelli, nega che le maggiori emissioni di CO₂ provengano da attività antropiche, bensì da cicli degli oceani, dagli assorbimenti delle piante, dalle emissioni della crosta terrestre, dalle eruzioni dei vulcani, con valori superiori da 5 a 10 volte quella umana [4].

Il problema si estende anche nella letteratura dove la riluttanza degli scrittori a descrivere la natura come mezzo e manifestazione di fenomeni incontrollabili e precedentemente etichettati solo come improbabili, forse perché non saprebbero nemmeno loro quali parole usare per affrontare avvenimenti di cui conoscono poco o niente, o perché sono scomodi e difficili da narrare in una forma che non sia quella del saggio o senza scadere nella fantascienza. Il fenomeno è stato ignorato e negato per decenni in molte zone del mondo, e quando si è compresa l'entità e ci si è resi conto dell'urgenza con cui lo si dovrebbe contrastare, esponenti delle diverse classi politiche nel mondo ed esperti in materia economica si sono affrettati a strumentalizzare la situazione per far prevalere la propria posizione e usarla come giustificazione per spingere o adottare determinate soluzioni [5]. La combinazione di una rete di informazione impreparata, imprecisa e superficiale

e di un generalizzato egoismo miope delle classi politiche ed industriali ha permesso che il problema del cambiamento climatico crescesse indisturbato, e che nella popolazione mondiale si facesse strada una percezione d'insieme errata, anche nella parte del mondo più industrializzata. Titoli sensazionalistici, notizie lanciate a ripetizione solo per colpire il lettore, programmi politici e ideologie lasciano influenzare spesso l'uomo verso ciò che conviene ai governatori. Anche esponenti di spicco mondiale, che esercitano una grande influenza su scala globale e rappresentano Paesi fortemente industrializzati, approfittano della situazione e della disinformazione dei cittadini per condurre campagne elettorali; inoltre, consentire che specifici provvedimenti vengano messi in atto assicura l'appoggio di grandi società e delle lobby. L'ingente investimento da parte delle grandi compagnie operanti nel settore dei combustibili fossili influenza in qualche modo la propaganda dei politici e i voti della loro area di appartenenza. Solo una piccola percentuale della popolazione mondiale, infatti, considera il cambiamento climatico una minaccia grave, e non è in alcun modo consapevole dei rischi che questo comporta [6].

1.3 SFIDE FONDAMENTALI CHE GLI STATI DEVONO COMPIERE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE E NORMATIVE

La risposta a come limitare il cambiamento climatico è da trovarsi, con buone probabilità, nelle decisioni di politiche economiche che quotidianamente vengono prese, sia a livello nazionale, comunitario, mondiale sia individuale e soggettivo (quindi legato alla particolarità di ognuno di noi), nelle decisioni di investimento, nelle politiche infrastrutturali, nei modelli di sviluppo sostenibile e in tutte quelle scelte che possano arginare il cambiamento climatico in corso.

Per sostenere programmi di liberalizzazione dai combustibili fossili, piuttosto che contenere le emissioni dalle discariche, i governi dovranno evitare di intraprendere iniziative politicamente rischiose (ad esempio riforme globali sulle tasse per disincentivare lo sviluppo di mezzi di trasporto pubblici elettrici o automobili elettriche) al fine di evitare impatti economico-sociali. Le politiche economiche, manovrate dai governi, rappresentano il punto di svolta della sostenibilità ambientale, in quanto esse sussidiano i modelli di sviluppo industriale. Tuttavia, le industrie dei combustibili fossili hanno una forte influenza sulle decisioni politiche dei governi così da indirizzare 5.3 trilioni di dollari l'anno di sussidi statali verso i loro obiettivi di ampliamento degli stabilimenti industriali a carbone, come risulta da uno studio dell'IMF (International Monetary Fund). Le Nazioni Unite, pur aderendo al Global green new deal, sono troppo deboli sia dal punto di vista politico sia nel loro attivismo nel proporre agli stati il modello di sviluppo alternativo necessario per prevenire il disastro climatico [7].

Gli investimenti privati da parte dei grandi gruppi industriali per favorire la transizione energetica ricopriranno un ruolo altresì importante per consentire all'Unione Europea ed al resto del mondo di soddisfare le sue ambizioni in materia di clima, generare crescita e migliorare il benessere. In questo contesto, è necessario che l'immagine dell'energia pulita trasmetta una visione convincente e realizzabile di modernizzazione nella

produzione, lavorazione, distribuzione e consumo. Ciò richiede un insieme integrato di misure per comunicare il messaggio di cambiamento, promuovere condizioni quadro favorevoli, espandere l'approvvigionamento sostenibile di materiali e mezzi, rafforzare le economie regionali e il valore aggiunto, trarre vantaggio dai recenti progressi tecnologici. In questa direzione, si riscontrano una serie di ostacoli come gli elevati costi di transazione, perché i progetti sono piccoli e non sufficientemente aggregati, i tempi di recupero dell'investimento relativamente lunghi, (ad esempio per le ristrutturazioni profonde degli edifici), uno scetticismo celato sotto alcuni investitori basato sul fatto che la realtà risponderà al livello di riduzione CO₂ previsto dopo la conversione energetica. Altre tendenze che ostacolano il percorso verso la neutralità carbonica, secondo gli esperti di Oxford Economics, si individuano nella debole crescita della produttività che spinge i prezzi verso l'alto incidendo negativamente sui consumi e negli sconvolgimenti economico-sociali dovuti dal coronavirus [8]. I rallentamenti della dinamica del PIL globale sono dovuti dal calo del commercio mondiale e dal deterioramento della fiducia delle imprese. Inoltre, le imprese che risultano impegnate in un percorso di miglioramento della sostenibilità della produzione sono ostacolate dalle poche agevolazioni riservate, le quali impediscono una maggiore competitività sul mercato. La Commissione Europea sta provvedendo a mostrare un atteggiamento collaborativo nei confronti di chi rispetta l'ambiente imponendo per tutte le aziende di fissare un'etichetta ambientale in grado di misurare l'impatto del prodotto sull'ecosistema in termini di emissioni di gas serra, utilizzo e inquinamento dell'acqua e sfruttamento del suolo, lungo tutto il suo ciclo di vita [9].

Il programma a favore dell'ambiente e dello sviluppo tecnologico potrà intervenire con norme volte alla semplificazione dei procedimenti per l'adeguamento di impianti di produzione e accumulo di energia, e ad incentivare la ricostruzione o il potenziamento di impianti obsoleti di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili, mediante un contributo a fondo perduto nell'ambito del nuovo fondo per l'ecosostenibilità.

1.4 MISURE DI INTERVENTO PER OTTENERE ZERO EMISSIONI ENTRO IL 2050

L'ambizioso percorso delineato nello scenario dello sviluppo sostenibile deve essere supportato da massicce azioni aggiuntive per instradare le emissioni globali verso lo zero netto entro il 2050. Oltre allo sviluppo delle tecnologie solari, eoliche e di efficienza energetica è necessario un notevole aumento della cattura, dell'utilizzo e dello stoccaggio dell'idrogeno e del carbonio, un nuovo slancio dell'energia nucleare e cambiamenti strutturali più rapidi nel modo in cui produciamo e consumiamo energia. Più specificamente, le infrastrutture energetiche esistenti, come gli impianti a carbone, le acciaierie e i cementifici dovrebbero essere modificate per ridurre le emissioni perché se gli stabilimenti produttivi continuassero a funzionare come hanno fatto finora, blinderebbero un aumento della temperatura di 1,65 °C, come mostra l'analisi dettagliata nel World Economic Outlook 2020 (WEO) effettuata dall'International Energy Agency (IEA). Azioni di contenimento delle

emissioni potrebbero interessare la produzione di carburanti come il metano dalla miscela di anidride carbonica ed idrogeno, la produzione di energia elettrica da biomasse con utilizzo del calore con teleriscaldamento in sostituzione di gasolio e altri combustibili convenzionali, lo sfruttamento del calore prodotto dall'incenerimento dei rifiuti urbani e del calore residuo generato dal processo di raffreddamento, un'impostazione di un'abitudine alimentare rispettosa del clima. In generale, gli interventi sulla progettazione del prodotto/processo si preoccupano di limitare gli impatti ambientali che ciascuna fase del ciclo di vita può determinare [10].

Un altro intervento per bloccare il climate change riguarderebbe la cattura diretta di CO₂ dall'aria e avrebbe anche grandi ripercussioni sui processi economici e fare da volano allo sviluppo di molti settori. L'utilizzo dell'anidride carbonica può essere destinato alla produzione di fertilizzanti organici, di prodotti alimentari e bevande, alla dissalazione dell'acqua marina, alla creazione o sintesi di combustibili puliti che non generano più emissioni di carbonio. In questa direzione, la CO₂ può essere attratta da composti chimici dieci volte più efficienti e durevoli dei solventi utilizzati finora e stoccata con l'aggiunta di acqua nelle viscere della terra, dove torna roccia in un paio di anni [11].

Nell'ottica di un futuro sostenibile, anche le tecnologie digitali e lo sviluppo innovativo si pongono come driver strategici di un percorso di cambiamento destinato ad impattare in maniera significativa sulle dinamiche economiche, politiche e sociali, offrendo utili soluzioni per lo sviluppo di modelli di business e di consumo sostenibili basate sull'ottimizzazione delle risorse e sull'efficientamento dei processi produttivi. A tal riguardo, un tema particolarmente discusso, che assume sempre più rilevanza nelle agende politiche di ogni Paese, è il passaggio da un modello di crescita economica lineare (dove le risorse e i materiali seguono un flusso continuo che inizia con l'estrazione delle materie prime e termina con lo smaltimento post-consumo dei prodotti finiti) ad uno circolare (nel quale, attraverso una serie di riciccoli, si cerca di raggiungere la massima valorizzazione dello stock di materiali, componenti e prodotti piuttosto che la vendita dei prodotti finiti). Al fine di ridisegnare i prodotti e riprogettare l'intera supply chain in chiave sostenibile è richiesto l'adozione di un approccio gestionale volto a rendere minimo l'impatto ambientale di un prodotto o servizio lungo il suo ciclo di vita e l'applicazione delle tecnologie 4.0 a tutto il processo produttivo [12]. Tale approccio, in virtù della sua natura trasversale, coinvolge non soltanto l'azienda e ciò che si svolge al suo interno ma l'intero ecosistema di relazioni e attori che concorrono alla creazione di valore e opportunità per tutta la società. Per quanto riguarda l'impiego delle tecnologie digitali nell'intera supply chain, basate su un uso intensivo di dati come il cloud computing, su metodi di analisi dei big data e di data mining e sulla virtualizzazione/simulazione dei processi, esso potrebbe estendere la vita utile dei prodotti, recuperare il valore a fine ciclo di vita ed incrementare l'efficienza. In generale, la trasformazione digitale non impatta solo sui processi produttivi, cambiando il modo in cui si fanno le cose, ma contribuisce anche nello sviluppo di una nuova società dove le persone diventano parte integrante della creazione del valore sostenibile, utilizzando flussi di energia, materiali e servizi. Le loro interazioni diventano intelligenti facendo un uso strategico delle informazioni e delle infrastrutture di

comunicazione e dei servizi, in un processo di pianificazione urbana trasparente e di gestione in grado di rispondere ai bisogni sociali ed ambientali. In questa accezione, la rivoluzione digitale si prefigura in sistemi di monitoraggio degli inquinanti atmosferici derivanti dalle autovetture e dal trasporto pubblico locale, monitoraggio dell'energia consumata nelle abitazioni e luoghi di lavoro, in servizi digitali per accedere ad informazioni della vita urbana [13].

1.5 STRATEGIE PER LO SVILUPPO DI PRODOTTI VERDI

Le considerazioni fatte finora sulle misure che debbano essere attuate non sono volte soltanto alla riduzione dell'inquinamento mediante l'introduzione di normative restrittive da parte di organi nazionali ed internazionali e politiche industriali per la riduzione dell'inquinamento ma anche alla possibilità di ottenere efficienza produttiva e generare nuova ricchezza. Il valore dei servizi eco-sistemici offerti dalle risorse naturali deve essere riconosciuto attraverso un meccanismo di prezzi competitivi, in grado di soddisfare i bisogni umani sia dal lato del produttore che del consumatore finale [14]. Di fatto, è necessario un sistema di contabilità verde che analizzi l'effettivo risparmio di risorse generato dall'innovazione prodotta dall'impresa. Si tratta di comprendere in quanto tempo sarà ammortizzato l'investimento grazie all'adozione della nuova tecnologia e come questa intervenga sul processo produttivo. Allo stesso tempo, è opportuno che le imprese, per una gestione ambientale efficiente, prevedano un focus sulla tipologia di risorse per prevenire l'inquinamento ed a loro impiego, organizzandolo in maniera ottimale [15].

Non solo, al fine di sviluppare quindi tecnologie che risultino sostenibili per l'ambiente e allo stesso tempo realizzabili dal punto di vista economico, è opportuno adottare un modello di gestione della conoscenza chiamato open green innovation che descriva processi di innovazione di natura sostenibile caratterizzati dall'apertura verso l'esterno, ossia azioni intraprese a partire da idee e progetti che giungono da altri membri del network a cui appartiene l'azienda (centri di ricerca, università, start-up) in sostituzione al modello convenzionale del closed innovation dove l'azienda compete con le sue uniche risorse. L'open innovation diventa vantaggioso per le aziende soprattutto in un contesto in cui i settori sono sempre più labili, i costi di ricerca e sviluppo sempre più elevati ed i cicli tecnologici più corti. Infatti, questo modello permette di creare un ecosistema attraverso il quale le aziende possono scambiare know-how, condividere piattaforme di sviluppo di un progetto e spese R&D [16]. Questi aspetti implicano avere una maggiore crescita economica per le imprese che accolgono l'Open innovation, come dimostrano i dati risultanti da uno studio condotto da Accenture (2015) in riferimento alla collaborazione tra aziende e startup in ottica OI con un tasso di crescita del fatturato pari a 1,35% il PIL nazionale. Tra le migliori pratiche di Open green innovation vi sono il crowdsourcing open network, strumento che permette al committente (azienda, ente, gruppo di interesse ecc..) di delegare un'attività di ricerca ad un ampio gruppo di partecipanti, relativamente aperto e spesso in rapida evoluzione, fortemente stimolati dall'esigenza di contribuire alla risoluzione di problemi di rilevanza

ambientale, e il cluster tecnologico, una rete di soggetti pubblici e privati che può operare nel territorio nazionale o internazionale e che raccoglie in modo coordinato e organico le migliori esperienze e competenze esistenti sul territorio di riferimento, realizzando allo stesso tempo sinergie tra settori industriali diversi sulle stesse tipologie tecnologiche [17]. Uno studio condotto dal MIT su oltre 3000 aziende in 113 paesi, ha rilevato che la maggior parte delle imprese riesce a coniugare i propri obiettivi di sostenibilità al profitto solo cambiando il proprio modello di business. E tra le migliori pratiche che favoriscono l'innescare di questo processo virtuoso, spicca appunto l'attitudine delle aziende a collaborare non solo con clienti e fornitori, ma anche con le comunità locali. Oltre a trovare soluzioni per risolvere problemi ambientali come, ad esempio, lo sviluppo di sistemi di gestione dei rifiuti elettronici, l'open green innovation può essere utile a ricercare metodologie di valorizzazione delle imprese eco-innovative [18].

Sebbene l'eco-innovazione di prodotto o servizio per l'economia circolare sia promossa da numerose attività politiche europee, incontra ostacoli nella sua attuazione verso le piccole e medie imprese (PMI) a causa della mancanza di competenze specialistiche e della scarsa consapevolezza ambientale. Le barriere sono di natura tecnica e gestionale (ad esempio la mancanza di un efficiente sistema di scambio dati o la difficoltà nel mettere in piedi e mantenere un sistema di certificazione), ma anche culturali, economiche e legate alla regolamentazione. L'ambiente è ancora percepito come un problema economico da gestire, che richiede nuovi investimenti in infrastrutture e ricerca, e significativi cambiamenti del processo produttivo, con evidenti conseguenze in termini di aumento del costo di produzione e di perdita della competitività. Tuttavia, come dimostrato da diversi studi, circa il 60% dei produttori sostiene e intraprende iniziative in Europa volte a favorire lo sviluppo di prodotti verdi. Alla luce delle difficoltà sopra descritte, l'agenda europea, che poggia sul Piano di Azione per l'eco-innovazione e trova gli strumenti finanziari attraverso il Programma Horizon 2020, ha identificato come prioritario lo sviluppo di azioni specifiche volte a supportare l'eco-innovazione nelle PMI. Per esempio, le PMI sono il principale destinatario del programma quadro per la competitività e l'innovazione (Competitiveness and Innovation Framework Programme), finalizzato a stimolare la competitività delle imprese europee attraverso azioni di supporto nei seguenti ambiti: i processi di eco-innovazione, l'utilizzo delle tecnologie informatiche e di comunicazione e lo sviluppo di una società dell'informazione. Inoltre, è stato previsto un programma dedicato a sostenere progetti di ricerca e innovazione rivolto maggiormente ad università e centri di ricerca ma tendente a coinvolgere sempre più le piccole e medie imprese (Seventh Framework Programme) [19].

In generale, per garantire che le persone possano acquisire le competenze necessarie per ricoprire un'occupazione a sostegno delle transizioni verdi e digitali, è opportuno adottare strategie nazionali che coinvolgano tutti i portatori di interesse, sia privati che pubblici, che condividano lo sviluppo delle competenze e riqualificazione della forza lavoro [20]. Inoltre, facilitare l'accesso alle informazioni sugli strumenti di sovvenzione dell'UE per le competenze, offrendo uno sportello unico a livello dell'UE, rappresenta un mezzo finanziario significativo. Le strategie a sostegno dello sviluppo di tecnologie verdi sono state anche l'occasione

per tante imprese (ma lo stesso potremmo dire di associazioni e istituzioni) l'occasione per mettersi in movimento, per rispondere alla crisi economica e sociale, per evocare le energie migliori del Paese e attivarle per un progetto comune [21]. Lo dimostrano anche i numeri di GreenItaly 22 2019, il rapporto della Fondazione Symbola e Unioncamere nel quale risulta che sono 432 mila (31.2% del totale) le aziende italiane che dal 2015 hanno investito in tecnologie green per ridurre l'impatto ambientale. La quota sale al 35.8% se si considera l'industria manifatturiera, dove questo orientamento si conferma un driver strategico per il made in Italy, traducendosi in maggiore competitività, crescita delle esportazioni, dei fatturati e dell'occupazione. Solamente nell'ultimo anno i ricavi delle imprese italiane, che hanno investito nella green economy, sono aumentati del 35% [22].

1.6 MACRO TENDENZE TECNOLOGICHE IN OTTICA GREEN ECONOMY

A fronte delle dinamiche socio-politiche, come la nascita di aree locali a bassa emissione o la carbon tax che rende costoso l'utilizzo delle risorse naturali nei sistemi produttivi, improntate su una più chiara consapevolezza degli effetti dell'inquinamento sugli ecosistemi naturali, e soprattutto ambientali che, come detto in precedenza, si stanno dirigendo verso scenari irreversibili, lo sviluppo tecnologico dovrebbe promuovere la nuova visione dell'economia nell'era della crisi climatica che miri a ridurre rischi ambientali e scarsità ecologiche, tutelando il capitale naturale. Non solo, le tecnologie dovrebbero nascere anche all'interno di un sistema olistico, il quale tiene in considerazione interazioni tra l'esterno e ciascuna fase del ciclo di vita di un prodotto o processo, ben diverso da quello tradizionale, dove l'analisi di tutela ambientale è limitata a valle di un processo. Ciò vuol dire che non è sufficiente sviluppare semplicemente una tecnologia sostenibile, sia che essa sia rivolta al mondo dei servizi o del manifatturiero, ma occorre, inoltre, valutare gli eventuali danni ambientali indotti da ciascuna risorsa che contribuisce al funzionamento del bene finale. Sottostando, invece, ad un concetto più generale di economia circolare, le attività relative all'invenzione, allo sviluppo, alla produzione e all'uso di prodotti e tecnologie che promuovono comportamenti più ecocompatibili dovrebbero rispettare particolari condizioni di sostenibilità dei propri processi legate al mantenimento più a lungo possibile del valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse, favorendo l'allungamento della vita dei prodotti stessi, e alla minimizzazione della produzione dei rifiuti, prevedendo già in fase di progettazione il riutilizzo degli scarti o delle materie prime secondarie[23].

Tenuto conto del modello green economy e, in particolare, del modello economico circolare, tra le applicazioni di gruppi di discipline, metodi e materiali in continua evoluzione che risultano essere sostenibili, riciclabili e alternative rispetto a quelle tradizionali vi sono le eco-tecnologie. Ad oggi, il mercato delle tecnologie verdi affronta la crescente preoccupazione globale per l'aumento dei tassi di emissione di carbonio e l'aumento della temperatura mondiale. Per contrastare al meglio e nel minor tempo possibile queste problematiche le tecnologie ambientali rivestono un ruolo molto importante nei settori green manufacturing, energie

rinnovabili, green building, additive manufacturing, gestione dei rifiuti, trattamento delle acque reflue, agricoltura e della mobilità sostenibile. Oltre alle tecnologie verdi, dando uno sguardo al mondo delle innovazioni digitali verso cui si stanno proiettando le imprese per raggiungere nuovi livelli di produttività, le macro tendenze che hanno un impatto considerevole nello sviluppo di modelli di business eco-sostenibili racchiudono l'Internet of Things (IoT), i Big Data analytics, l'Intelligenza Artificiale e il Machine-to-Machine [24].

1.7 TECNOLOGIE VERDI CHE OSTACOLANO IL CLIMATE CHANGE ED IMPATTO DELLE TECNOLOGIE DIGITALI

Nello scenario di adozione di pratiche e tecnologie verdi che incentivano sia lo sviluppo di sistemi produttivi a zero rifiuti inquinanti o, comunque, in quantità tali da non compromettere un peggioramento delle condizioni ambientali, sia la crescita economica, trovano un primo impiego nel settore energetico, in particolare nello stoccaggio di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili come l'energia eolica o solare. I sistemi di accumulo caratterizzati da dimensioni, capacità, livelli di tensione anche molto differenti tra loro, possono svolgere diverse funzioni quali mantenere l'equilibrio tra domanda e offerta di energia elettrica, massimizzare l'autoconsumo, gestire il carico e combinarsi con generatori volatili (es. le turbine eoliche), erogare energia in presenza di black-out o più in generale regolare la frequenza di tensione sulla rete. Ciò consente alle aziende di produrre energia quando è più economica ed efficiente, perchè nei periodi in cui il prezzo di mercato della materia prima utilizzata nelle centrali termoelettriche è alto, l'energia immagazzinata negli accumulatori verrà venduta al mercato elettrico. In questo contesto, le tecnologie digitali intervengono al fine di sfruttare tutto il potenziale degli impianti di accumulo, in particolare vengono impiegate come gateway per l'accesso alla rete energetica. Di conseguenza, vari sensori vengono collegati a questi gateway e tramite l'accesso ad internet trasferiscono i dati delle unità di accumulo su cloud. I telecontrollori sono elementi centrali per la gestione del carico di tensione, della frequenza e direzione del flusso di energia, consentendo di attivare una produzione intelligente, autonoma ed ottimizzata dal punto di vista dell'efficienza [25].

Nell'ottica della valutazione del ciclo di vita del prodotto, è fondamentale, quindi, considerare gli impatti ambientali che avrebbe l'adozione di qualsiasi unità di accumulo (rete locale, rete di massa o industriale) per immagazzinare l'elettricità e capire se questi siano gestibili o meno. L'impatto ambientale delle diverse batterie ricaricabili (di tipo elettrochimica, termica, elettrica o chimica) afferenti all'impianto di stoccaggio è variabile con la tecnologia ma, in generale, è più incisivo nella fase di riciclaggio piuttosto che durante la produzione e l'impiego, imputabile sia alle caratteristiche intrinseche dell'elettrolita della batteria sia alle procedure di riciclaggio dei materiali poco efficaci o, addirittura, non applicate. Quest'ultimo caso accade, ad esempio, per

le batterie litio-ioni perchè il prezzo sul mercato dei componenti non è sufficientemente elevato da rendere conveniente il riciclo. Tuttavia, in relazione agli effetti che hanno gli altri tipi di accumulatori (Pb – acido, Ni – Cd, NiMH, Ni – Zn) sulla salute a lungo e breve termine in caso di esposizione e sull’ambiente, quelli a litio hanno un impatto minore. I maggiori rischi per l’ambiente sono legati alle batterie in mercurio, piombo e cadmio che caratterizzano in quanto metalli, attraverso le diverse vie di smaltimento dei RSU (l’incenerimento o l’immissione in discarica), possono diffondersi nell’ambiente dando luogo a fenomeni di accumulo e di ingresso nella catena alimentare. Queste sostanze sono impiegate, in quantità modeste, anche nei moduli fotovoltaici delle diverse tecnologie energetiche presenti nel mercato e, senza una gestione adeguata di smaltimento dei pannelli a fine ciclo di vita, i metalli potrebbero entrare in contatto con aria o acqua, con effetti potenzialmente molto dannosi per la salute umana. La fase di costruzione dei pannelli fotovoltaici è quella che ha attirato maggiormente, negli ultimi anni, l’attenzione del mondo scientifico perchè prevede un processo chimico altamente inquinante per la purificazione del silicio policristallino che rilascia il tetracloruro di silicio e trovandosi a contatto con l’acqua produce fumi tossici e acidifica il suolo. Pensando anche a nuove tecnologie alternative al silicio, come la tecnologia a film sottile, competitiva in termini di efficienza energetica e meno costosa, si riscontrano problemi di inquinamento in quanto i semiconduttori a base di cadmio sono cancerogeni e teratogeni. Quindi, in generale, le green tech apportano un cambiamento radicale nella qualità dell’ambiente e nella salute umana solo se sono previste regole rigide di prevenzione e protezione delle sostanze chimiche utilizzate per la loro realizzazione. In questo contesto ambientale, dove le tecnologie rinnovabili assumeranno il ruolo principe nella generazione elettrica, è sempre richiesta maggiore intelligenza e capacità di dialogo tra i sistemi distribuiti di generazione e i sistemi di trasporto. Questo è reso possibile con le tecnologie digitali che vanno a modulare con frequenza e flessibilità i processi di trasmissione e distribuzione di energia. Alla luce dei potenziali rischi di inquinamento legati ad una gestione di riciclaggio non ottimizzata, la chimica verde, che si propone di introdurre nell’industria materie prime agricole e naturali non dannose per l’ambiente, comincia ad investire un ruolo importante nell’innovazione tecnologica. Infatti, grazie ad essa sono nate, ad esempio, nuove batterie di flusso redox, sostituendo l’elettrolita liquido di materiali pesanti ecologicamente dannosi con la molecola vanillina prodotta dalla lignina, trasformata in un materiale redox attraverso reazioni chimiche che non fanno uso di catalizzatori metallici dannosi [26].

Altri esempi di invenzione energetica riguardano le tecnologie di conversione in energia delle biomasse, sulla base di processi termochimici, che possono essere ricondotte in: carbonizzazione, processo che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti cellulose in carbone vegetale ottenuta mediante l’eliminazione dell’acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, gassificazione, mediante la quale la biomassa liquida o solida subisce un’ossidazione incompleta per reazione con aria in un ambiente ad alte temperature (1000 °C), pirolisi, processo di decomposizione ad alte temperature e in assenza di agenti ossidanti. Invece, al fine di ricavare energia per reazione chimica, dovuta al contributo di enzimi, funghi, e micro-organismi che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, si richiamano delle tecnologie di

conversione biochimica, così suddivise: digestione anaerobica, attraverso la quale la biomassa è sottoposta ad un processo di fermentazione per via di micro-organismi e si trasforma in una miscela gassosa di CH₄, H₂S, CO, H₂ e CO₂ (25%), digestione aerobica, che produce un elevato riscaldamento del substrato della biomassa a causa di un processo di degradazione, fermentazione alcolica e steam explosion, attraverso la quale un vapore saturo ad alta pressione riscalda rapidamente la biomassa trasformandosi in energia termica [27]. Ad ogni modo, qualunque sia la tecnologia adottata, i sottoprodotti sono impiegati per la produzione di energia elettrica o per cogenerazione in diversi stabilimenti, quali: impianti tradizionali con forno di combustione della biomassa solida e caldaia che alimenta una turbina a vapore accoppiata ad un generatore, impianti con turbina a gas alimentata dal syngas ottenuto dalla gassificazione di biomasse, impianti a ciclo combinato con turbina sia a vapore che a gas, impianti di cogenerazione, impianti termoelettrici ibridi che utilizzano biomasse e fonti convenzionali (eventualmente co-bruciate all'interno della stessa fornace). A differenza di altre fonti rinnovabili, come il solare e l'eolico, la produzione di energia da biomasse può essere regolata e programmata, semplicemente riducendo o aumentando il consumo di combustibili in base alla necessità. Ne deriva un livello produttivo simile a quello delle centrali a base di combustibile fossile e, se impiegato per impianti di cogenerazione o teleriscaldamento, l'efficienza di conversione della biomassa in energia può raggiungere livelli prossimi all'80% [28].

A fronte di un legittimo dubbio sul reale beneficio ambientale, determinato dalla liberazione di CO₂ nell'aria, si può affermare che non si incrementano i livelli di gas serra in quanto le piante assorbono mediante fotosintesi clorofilliana la stessa quantità rilasciata durante il ciclo produttivo. Tuttavia, gli studi sugli impatti ambientali indotti dalla combustione di biomasse in impianti industriali per la produzione di elettricità inducono grande cautela, se ci si focalizza sull'intero ciclo di vita delle biomasse. In questa direzione, la comunità scientifica ha mostrato un crescente interesse verso i danni derivanti dagli inevitabili effluenti gassosi prodotti dal processo di trasformazione dell'energia posseduta dalle biomasse vegetali e dai residui solidi. Specificamente, le biomasse provocano l'immissione nell'ambiente di sostanze non trascurabili di polveri sottili ed ultra sottili, ossidi di azoto, idrocarburi policiclici aromatici, diossine, in quantità proporzionale alla massa di biomasse trattate, con effetti potenzialmente pericolosi per la salute della popolazione esposta. Nel bilancio ambientale, inoltre, occorre sommare anche le emissioni prodotte dal traffico pesante indotto dall'entrata in funzione dell'impianto e parte integrante della attività dell'impianto stesso, ovvero tutti gli automezzi necessari per i conferimenti di biomasse e per il ritiro e lo smaltimento delle ceneri e l'inquinamento delle polveri fini e di ozono prodotti dalle reazioni fotochimiche a seguito dell'immissione nell'ambiente degli inquinanti primari prodotti dalla combustione (ossidi di azoto e composti organici volatili) delle biomasse e dal traffico indotto dall'entrata in funzione della centrale. Tenendo in considerazione macro e micro inquinanti che si possono formare dall'impiego delle biomasse, è importante verificare il bilanciamento degli inquinanti tra i grandi impianti di combustione, tenendo conto del fattore di emissione per gli ossidi di azoto (NO_x) e le polveri, espressi in mg/KWh. A tal proposito, ci si appresta all'implementazione di biomasse digitali, ossia

sistemi di monitoraggio digitali delle emissioni in impianti di combustione di biomassa di piccola e media potenza (da 100 kW a 5 MW), soprattutto in ambienti urbani, costituiti da sensori chimici e ambientali che registrano ed elaborano dati rapportabili con parametri di riferimento [29]. Le tecnologie digitali intervengono in ciascuna fase della catena del valore della biomassa a partire, ad esempio, dalle coltivazioni di alcune erbacee ed arboree idonee ai processi di trasformazione termochimica (canapa, mais, salice, pioppo) con il monitoraggio dell'umidità del suolo, pH, precipitazioni, vento e tasso di crescita, indicando la necessità di fertilizzazione e massimizzando la produzione. Altra area di intervento interessa il trasporto di biomassa negli stabilimenti dove avviene il processo di conversione al fine di monitorare il contenuto di acqua negli scarti agroalimentari o nei reflui degli allevamenti per evitare carico non necessario per il trasporto, preservando allo stesso tempo i parametri desiderati. Inoltre, i fornitori possono utilizzare il rilevamento della posizione per ottimizzare i loro servizi attraverso una gestione della flotta efficiente e la comunicazione con i clienti. Con un mercato della bioeconomia in crescita, numerose soluzioni ICT, come database e piattaforme online, possono essere cruciali nell'includere dati di mappatura delle biorisorse disponibili e potenziali e contribuire alla formazione di nuove filiere produttive e/o ottimizzare quelle già esistenti [30].

In ambito industriale, l'Additive Manufacturing (AM), è considerata una tecnologia chiave del futuro per incrementare la sostenibilità dei processi produttivi e l'efficienza nell'uso delle risorse attraverso alcune peculiarità nella progettazione e produzione che si focalizzano nella riduzione degli scarti, in linea anche con il modello economico circolare, e del consumo energetico. In particolare, un aspetto peculiare si identifica nella possibilità di adottare una progettazione assistita dal computer che consente di realizzare oggetti più complessi mediante l'uso di funzioni integrate nei software, ottimizzare le geometrie, il numero di parti di un assieme e le prestazioni meccaniche, il tutto traducendosi, dunque, in una minimizzazione degli stadi produttivi, dei flussi di materiali impiegati e del consumo energetico. La fase di manufacturing è completamente rivisitata perché, grazie alla capacità della tecnologia AM di poter sfruttare una varietà estesa di materiali, dai polimeri ai metalli, pur non scemando le performance dei prodotti finali, vengono introdotte procedure di riciclo sia per il materiale avanzato dalla produzione, che con alcune tecniche di fabbricazione non si può fare a meno della sua esistenza, sia per i componenti vecchi o difettosi fusi e trasformati in materiale vergine. Inoltre, la natura additiva di questa tecnologia dà una chiara indicazione dell'applicazione dell'AM sui processi di riparazione, estendendo il ciclo di vita del prodotto e diminuendo l'energia e le risorse necessarie alla realizzazione di un prodotto nuovo. Congiuntamente al miglioramento continuo dei macchinari nelle fabbriche che implementano la tecnologia AM, si evidenzia uno sviluppo di stampanti 3D domestiche prefigurando le basi di una grande opportunità ambientale perché incoraggia la realizzazione di prodotti on-site riducendo la dipendenza dell'individuo dal trasporto e dall'infrastruttura logistica, talvolta gravemente incidenti sull'impatto economico ed ambientale. A tal proposito, in una visione d'insieme, è bene comprendere anche in che modo le filiere di approvvigionamento si evolvono a fronte dell'importante ruolo rivestito dalla gestione dei flussi di materiale con la nascita dell'additive manufacturing. L'AM rimodella la filiera,

influenzandola in diversi modi e a diversi stadi, offrendo la possibilità di rendere le operazioni più flessibili, non solo in termini di quale tipo di prodotto possa essere realizzato ma anche di dove la produzione avverrà, decentrandola e avvicinandola al mercato di sbocco o addirittura presso il cliente. L'attuazione di questa pratica prevede un immediato riscontro positivo nella riduzione degli inventari e dei lead times, indiretti responsabili delle emissioni di inquinanti, in certi casi notevole se si pensa, per esempio, alla rottura di un componente su una nave al largo o sulla Stazione Spaziale Internazionale [31].

In ultima analisi, è utile esplicitare il ruolo delle tecnologie digitali, in particolare dei software implementati in apparecchi elettronici per il re-engineering e l'ottimizzazione topologica, nello sviluppo dell'additive manufacturing al fine di realizzare prodotti con migliori performance, specie energetiche. L'AM ha sfruttato il potenziale del reverse engineering, processo mediante il quale un oggetto artificiale viene decostruito per estrarne conoscenza ed apportare modifiche, grazie alla tecnologia informatica che ha permesso di generare dati 3D effettuando una serie di misurazioni digitali sull'oggetto interessato. Mentre, l'alleanza dell'additive manufacturing con l'ottimizzazione topologica è stata resa possibile mediante software di simulazione al computer che migliorano la geometria del prodotto, in base a vincoli ed obiettivi predefiniti dall'utente, come i carichi o le condizioni di funzionamento, e guidano le decisioni verso soluzioni più efficienti. Così come l'AM ha ridotto, se non eliminato in certi casi, i flussi di materie, similmente, le tecnologie digitali hanno anche eliminato le distanze per i flussi di informazione in quanto trasformato tutti i modelli 3D prodotti digitalmente in codice binario o ASCII (STL) che rispondono ai requisiti di progetto ed immagazzinati in piattaforme cloud rese accessibili da remoto a qualsiasi macchina [32].

Per quanto concerne il settore building, i progettisti hanno illustrato innovative strutture architettoniche urbane che promuovono lo sviluppo di tecnologie sostenibili e sono in grado di riflettere l'ambiente circostante senza risultare invasivo. I trend green del futuro a sostegno dell'edilizia riguardano la costruzione modulare prefabbricata, approccio secondo il quale le case sono assemblate negli stabilimenti al fine di operare al meglio nella procedura di isolamento e i moduli (infissi, pavimenti, rivestimenti ed elettrodomestici) sono spediti sul sito di costruzione dove verranno completate; la circolarità dei materiali, modello che conferisce beni industriali di lunga durata e riciclabili ai progetti di costruzione con l'obiettivo di ottimizzare lo sfruttamento delle risorse; l'efficienza energetica, che si denota mediante la conformazione strutturale degli edifici o case per trattenere il calore, sfruttare la ventilazione naturale ed incrementare la superficie esposta al sole [33].

Senza la visione d'insieme di un progetto costruttivo, che raccoglie e combina tutti i dati rilevanti, l'edilizia non potrebbe fare delle scelte chiare che effettivamente riducano i consumi di materiali, energia ed emissioni inquinanti. A riguardo di ciò, gli strumenti digitali consentono di costruire in modo notevolmente più veloce e con una qualità più elevata perchè sono in grado di sia costruire un modello tridimensionale e di simulare una serie di parametri che integrano l'intero processo di costruzione, a partire dalla fase di progettazione fino alla dismissione, sia di suggerire in modo automatico scelte su parametri termici delle pareti e comfort ambientali,

procedure di sicurezza e di manutenzione. In particolare, la Building Information Modeling (BIM) permette, tramite l'aiuto di software ad hoc, di generare un modello digitale contenente le informazioni sull'intero ciclo di vita dell'opera, assicurandosi che i problemi di costruzione siano indicati in anticipo, e di ottimizzare la pianificazione, realizzazione e gestione di fabbricazione, rendendo più efficienti i flussi di lavoro collaborativi ed ottenendo una riduzione del quantitativo di materiale richiesto. Inoltre, questa tecnologia si occupa anche di analisi e archiviazione delle caratteristiche dell'edificio relative alla sostenibilità ambientale e di riduzione dei consumi energetici prevedendo sia l'utilizzo di una quota parte di energie da fonti rinnovabili a seconda del contesto, sia l'avviamento di procedure per evitare dispersioni termiche ed idriche [34].

Le tecnologie che intervengono, invece, sulla gestione autonoma e costante dell'edificio sono associate al cloud computing, come basi di archiviazione dei dati, e al deep learning, uno degli approcci del machine learning. Quest'ultima utilizza modelli di reti neurali, dove enormi quantità di dati di input vengono elaborati attraverso una serie di layer, che sfruttano i progressi computazionali e tecniche di allenamento per apprendere fino ad arrivare al risultato finale. In questo modo, è possibile prevedere il carico termico adeguato dell'edificio con una riduzione del 20-40% dell'impronta carbonica e, mediante un insieme di sensori collegati (IoT) ed un sistema di controllo, far funzionare riscaldamento, ventilazione e condizionamento in tempo reale. In ultima analisi, soluzioni di intelligenza artificiale sono adottate per analizzare i dati raccolti dai sensori ed effettuare sia manutenzione predittiva, che contribuisce all'efficienza energetica, sia il coordinamento della catena di fornitura, con l'aumento della quantità dei moduli prodotti lontano dal cantiere, al fine di ridurre i consumi di carburante ottenuti dall'utilizzo dei mezzi di trasporto [35].

La lotta al cambiamento climatico può manifestarsi anche in un rinnovamento nell'approccio della gestione e selezione dei rifiuti. Sebbene sia ritenuto che la gestione dei rifiuti sia responsabile di solo il 3% delle emissioni di gas ad effetto serra a livello mondiale, modelli personalizzati e olistici a livello locale possono contribuire a ridurre fino al 5% le emissioni globali di anidride carbonica, pari al fermo di tutti i voli commerciali mondiali o del 65% delle automobili che viaggiano in tutto il mondo in un anno. Una delle tecnologie innovative implementate nei sistemi di raccolta e riciclaggio riguarda la combinazione tecnologica tra la spettrometria a infrarossi (NIR) e la Dual Full-Colour Camera, dedicata alla selezione dei flakes, ossia scaglie che si ottengono nella fase del processo di selezione delle bottiglie, derivanti sia dal PET (polietilene tereftalato) che dalle Poliolefine (categoria di plastiche che comprende polietilene e polipropilene). Nello specifico, dopo aver selezionato i flakes in poliolefine (PO) in base a materiale e colore, la tecnologia NIR emana radiazioni elettromagnetiche nel campo del vicino infrarosso (lunghezza d'onda tra 760 nm a circa 2500 nm) ai flakes e contemporaneamente la tecnologia a doppia telecamera a colori interviene per raccogliere le informazioni spettrali sufficienti a separare accuratamente i flakes di polipropilene (PP) e polietilene (PE) fino a 2 mm. L'utilizzo di una telecamera anteriore e posteriore consente di vedere il colore di ogni flake e di identificare anche i più piccoli dettagli, come le stampe o l'inchiostro. L'unità complessiva è in grado di purificare sia il flusso di PE che quello di PP identificando e rimuovendo la contaminazione polimerica indesiderata, nonché le

impurità del colore. Migliorando il processo di selezione delle poliolefine si può ottenere un grado di purezza e resa delle materie plastiche riciclate ad un livello tale da validare il loro riutilizzo per gli imballaggi alimentari perseguendo così un modello di economia circolare. Il contenuto sostenibile si rileva anche nella tecnologia stessa in quanto produce un basso impatto di consumo energetico [36].

Altro fattore che assume una rilevante importanza nella sostenibilità ambientale è l'attenzione verso il trattamento dei residui organici a bassa emissione di gas serra (es. il metano) ed il panorama attuale mostra delle tecnologie con enormi potenzialità di sviluppo. Una di queste è costituita dal compostaggio, un processo di maturazione biologica controllata, in ambiente aerobico, che porta alla produzione di compost, utilizzato per la concimazione delle colture agrarie, a partire da reflui agroalimentari, agricoli e zootecnici, nonché fanghi derivanti dalla depurazione di acque reflue civili. All'interno della matrice organica, si ha un'interazione sinergica di microrganismi aerobi quali batteri e funghi, che porta alla rottura dei legami chimici della frazione organica più facilmente degradabile, con conseguente produzione di energia sotto forma di calore. Con il progredire del processo diminuiscono le sostanze solubili e si sviluppano altri tipi di microrganismi, come gli attinomiceti, responsabili della decomposizione delle molecole organiche più complesse e della produzione di composti aromatici, che conferiscono al compost il tipico odore di terriccio di bosco. Specificamente, le attività di sintesi degli attinomiceti e le trasformazioni biologiche di materiali a struttura polimerica (es. cellulosa e lignina), dovute dal contributo di animali di piccole dimensioni che sminuzzano il composto organico, danno origine alla polimerizzazione ossidativa degli acidi fenolici e dei fenoli e conseguente produzione di composto con una struttura chimica stabile, ossia il compost maturo. L'evoluzione di un processo di compostaggio dipende non solo da una corretta composizione della biomassa organica, ma anche dal mantenimento delle condizioni di respirazione e fermentazione, vie metaboliche fondamentali per la produzione di energia da parte dei microrganismi aerobi. La temperatura, invece, è il parametro di più facile monitoraggio e anche quello che indica meglio la corretta trasformazione della sostanza organica perché sotto certi livelli (inferiori ai 70°C) i batteri sono in grado di sopravvivere. Al fine ricercare soluzioni volte a valorizzare le potenzialità in termini di recupero di energia, gli impianti di compostaggio affrontano un intervento di ampliamento e adeguamento che li conduce ad un sistema integrato anaerobico-aerobico. Tale sistema innovativo consente di ricavare il digestato per la produzione di compost di qualità ed il biogas, da cui derivano energia termica ed elettrica. La digestione anaerobica, processo che coinvolge diversi gruppi microbici tra cui i metanigeni, responsabili della formazione di metano e biossido di carbonio, associata ad una successiva fase aerobica (compostaggio), consente di limitare o, in alcuni casi, annullare gli impatti negativi del materiale in uscita dal digestore (fango liquido) che non è completamente degradato, mediante tecnologie di centrifuga o presse a vite che attivano un processo di disidratazione. Il biogas proveniente sia dall'impianto integrato sia dalla discarica viene sottoposto ad un processo di purificazione (rimozione di H₂S e CO₂) e convogliato ad un gasometro, successivamente aspirato da motori a ciclo otto per la produzione di energia elettrica utilizzata principalmente per l'impianto e l'eccesso ceduto alla rete. Il calore generato dalla combustione è recuperato

e convertito in energia termica per mezzo di scambiatori, usato in parte per il digestore (in cui la biomassa deve mantenersi ad una temperatura costante) e per riscaldare utenze, oppure può essere sfruttato per il teleriscaldamento urbano. I vantaggi ravvisati nel sistema integrato anaerobico-aerobico riguardano la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto, il minor impatto dovuto agli odori, che in un processo chiuso vengono notevolmente limitati, la riduzione di emissione di CO₂ da un minimo del 25% sino al 67% (nel caso di completo utilizzo dell'energia termica prodotta in cogenerazione) rispetto al solo trattamento aerobico, la minore quantità di superficie occupata per unità di tonnellate trattate e la riduzione della frazione organica inviata a discarica [37].

In un contesto di efficientamento energetico, soluzioni digitali come l'intelligenza artificiale possono intervenire nell'ottimizzazione della fase di digestione anaerobica, simulando e controllando mediante tecniche automatiche basate su digital twin del digestore le interazioni tra le varie specie presenti nella flora batterica. Oltre al controllo di processo, sensori IoT, collegati al sistema informativo di fabbrica, possono intervenire per il monitoraggio dell'ossigeno, delle emissioni, dei consumi energetici e idrici, e per la segnalazione di polveri o sostanze chimiche nell'aria, consentendo di qualificare il processo produttivo in maniera documentale [38].

Per quanto concerne la gestione dei rifiuti, piuttosto che il riciclo degli stessi, sono state sviluppate tecnologie di biorisanamento aerobico per terreni contaminati da idrocarburi del petrolio, solventi non clorurati, pesticidi, preservanti del legno, e tra quelle maggiormente ecosostenibili rientrano il Soil Vapor Extraction (SVE), mediante la quale vengono create nel sottosuolo sacche di vuoto che favoriscono la rimozione dei contaminanti con la volatizzazione, e il Bioventing Passivo. Quest'ultima risulta essere più interessante in quanto impiega un consumo di energia elettrica nettamente inferiore alla tecnologia SVE e differisce dal sistema Bioventing convenzionale nel modo in cui è recapitato ossigeno al sottosuolo, ossia dall'utilizzo delle soffianti elettriche per arieggiare il terreno. Utilizzando una valvola passiva, l'ossigeno può entrare nel pozzo di venting (chiamato così perché progettato con condotti che guidano l'aria del sottosuolo verso l'atmosfera) solo quando la pressione interna risulta inferiore a quella atmosferica e, quando si verifica il gradiente inverso, la valvola si chiude per impedire la fuoriuscita dell'aria prima iniettata. Oltre ai pozzi di venting impiegati per l'iniezione o l'estrazione dell'aria, vengono impiegati dei pozzi di monitoraggio per effettuare valutazioni sulle concentrazioni di biossido di carbonio e di ossigeno immessi nel sottosuolo mediante il sistema di aerazione e determinare, di conseguenza, il tasso di degradazione degli inquinanti nel sito. L'ossigeno contenuto nell'aria permette di stimolare la biodegradazione naturale ad opera di microrganismi aerobici attivando processi catabolici nella maggior parte dei composti organici a catena aperta, come ad esempio gli idrocarburi, ed in presenza di bassi livelli di alogenazione. Combinazioni di particolari variazioni della temperatura atmosferica, dovute alla situazione meteorologica, profondità del suolo, pH, permeabilità del suolo all'aria, grado di saturazione dei terreni ed il contenuto di nutrienti (azoto e fosforo) ottimali per creare l'habitat di crescita per i microrganismi possono sviluppare gradienti negativi di pressione tra l'atmosfera ed il sottosuolo che

ostacolano il passaggio dell'aria, misurabili nei punti di monitoraggio come un vuoto.

L'efficienza e l'efficacia dei sistemi di estrazione del vapore dal suolo (SVE) e bioventing (BV) per il risanamento dei terreni contaminati possono essere massimizzate attraverso simulazioni al computer che illustrino l'interazione tra processi fisici, come il trasporto di contaminanti tramite avvezione, chimici e biologici, come la degradazione degli idrocarburi. Successivamente, i risultati delle simulazioni possono essere analizzati al fine di costruire modelli predittivi con l'utilizzo di statistiche e tecniche di machine learning, applicabili in una varietà di condizioni [39].

L'innovazione svolge un ruolo chiave anche per la sostenibilità ambientale delle imprese agricole, capace di superare le sfide sul miglioramento della produttività, minimizzando gli sprechi, e sulla riduzione dell'inquinamento, dovuto da fertilizzanti, pesticidi e sostanze organiche. A tal proposito, strumenti e tecnologie avanzate ecosostenibili mettono in atto interventi puntuali ed efficienti, monitorando in tempo reale l'operato sul campo e consentendo di ottimizzare la distribuzione dei fitofarmaci per ridurre l'impatto ambientale del loro uso, come la dispersione del 50% dei fertilizzanti azotati applicati ai campi nelle acque di drenaggio per effetto della deriva, primariamente sotto forma di nitrati NO_3 . In particolare, diversi esperimenti in importanti centri universitari di meccanica agricola hanno condotto alla realizzazione di atomizzatori pneumatici innovativi con diffusore anti-deriva per la polverizzazione o nebulizzazione di fitofarmaci che consentono una riduzione della quantità di acqua opportuna al trattamento fino a dieci volte rispetto alla quantità normalmente utilizzata dai macchinari tradizionali e della perdita nel suolo di pesticidi fino al 20%. La forma aerodinamica della turbina posta nei diffusori esalta il principio dell'effetto Venturi e genera un forte flusso d'aria necessario per attivare il processo di polverizzazione della miscela chimica liquida che si trova a bassa pressione. Il risultato ottenuto è rappresentato dalla disgregazione delle gocce piuttosto fine (10 – 150 μm) che consente una copertura della vegetazione più omogenea rispetto all'irroratrice convenzionale. La presenza di un diffusore anti-deriva, altro elemento innovativo, permette di contenere il movimento del prodotto fitosanitario nell'atmosfera nel momento in cui viene effettuata la distribuzione perché è in grado di produrre all'occorrenza gocce di maggiori dimensioni senza modificare il volume e la velocità dell'aria erogata, i litri per ettaro di liquido distribuito e la capacità di penetrazione della miscela chimica nella vegetazione. Una soluzione alternativa ai nebulizzatori con diffusori anti-deriva è data dai nebulizzatori a tunnel, dotati di una barra bifila su cui è montata una coppia di pannelli che consentono il recupero del liquido nebulizzato fino al 25%, riducendo drasticamente le perdite a terra e nell'ambiente [40].

Tuttavia, la salvaguardia dell'ambiente raggiunge maggiore attenzione combinando soluzioni di nebulizzatori con sensori NIR (del vicino infrarosso) e GPS, che permettono di misurare le carenze nutritive delle colture e valutare se vi è bisogno di un fertilizzante, nonché di strumenti che consentono di misurare le caratteristiche del suolo e della coltura al fine di integrare attività di campo e strumenti in maniera sinergica. Il passaggio di un sensore tecnologicamente avanzato su tutta la superficie di ogni appezzamento consente di fotografare per intero e con precisione la variabilità del terreno, misurare la quantità di sostanza organica, l'intensità dei

raggi solari, la conducibilità elettrica per valutare il contenuto di sali solubili del suolo ed inviare i dati grezzi raccolti ad un sistema integrato per definire qualsiasi operazione come fertilizzazione o irrigazione [41].

Altre fonti di inquinamento causate dalle coltivazioni agricole intensive sono costituite dai combustibili fossili utilizzati dai mezzi per la lavorazione dei terreni e per il trasporto di tutti i prodotti utilizzati, che sono responsabili per l'8% delle emissioni dei gas serra, dall'ammoniaca, emessa dagli effluenti zootecnici, che reagisce con i nitrati e solfati presenti nell'aria formando particolato, e dal protossido di azoto derivante principalmente dai concimi azotati sui terreni. Soluzioni che possono rendere ecologicamente sostenibile le moderne pratiche di coltivazione riguardano l'adozione di tecnologie e attrezzature energeticamente efficienti, di tecniche di fertirrigazione e di pratiche inerenti all'agricoltura conservativa. In primo luogo, intensi studi per la diminuzione dei gas inquinanti hanno portato all'introduzione di un additivo innovativo chiamato AdBlue, ossia una soluzione acquosa composta da urea al 32,5% (sostanza di derivazione organica composta da carbonio, ossigeno, idrogeno e azoto) con contenuto di metalli al di sotto dello 0,2 mg/kg per ciascuno di essi e acqua demineralizzata al 67,5%, utilizzato sinergicamente con un catalizzatore. L'AdBlue, proveniente da un serbatoio, viene iniettato nella tubazione di scarico a monte del catalizzatore e riscaldandosi per mezzo dei gas di scarico si decompone in ammoniaca in un processo di idrolisi. Successivamente, l'ammoniaca viene convogliata all'interno del catalizzatore, che reagendo con gli ossidi di azoto nocivi (Nox) si generano sostanze non impattanti sull'ambiente, come l'azoto molecolare atossico e vapore acque. Oltre ai benefici di carattere ecologico, l'AdBlue consente di ridurre i consumi di carburante grazie all'eliminazione di qualsiasi tipo di ricircolo di aria inquinata, come avviene invece nei sistemi tradizionali, in quanto il motore aspira aria pulita consentendo al motore di operare al massimo delle sue prestazioni [42]. Per quanto riguardano, invece, le azioni mirate alla riduzione dell'ammoniaca nell'aria a causa del processo di azotofissazione, determinando l'inquinamento atmosferico e l'acidificazione delle acque, esse tengono conto dell'adozione di concimi a base di nitrato di potassio KNO_3 per la fertirrigazione, che sviluppano perdite di ammoniaca più basse del 90% rispetto all'urea, e della combinazione d'uso di inibitori della nitrificazione che abbassano la lisciviazione (processo chimico di separazione di uno o più componenti solubili da una massa solida mediante un solvente) limitando l'arrivo dei nitrati all'interno dei corpi idrici e di inibitori dell'urea (che agiscono sul passaggio urea-ammoniaca), capaci di abbassare anche del 90% il tasso di degradazione. Per ridurre le emissioni di protossido di azoto vengono implementati dei sistemi d'iniezione, come distributori a bande o iniettori collegati a un sistema ombelicale, che assolcano il suolo ed iniettano il fertilizzante a diverse profondità e secondo tempistiche appropriate, decrementando il potenziale di lisciviazione dei nitrati. Inoltre, l'incorporazione dei concimi sui terreni riduce anche le perdite per ruscellamento delle sostanze nutritive, evitando così gli sprechi di fertilizzante con una conseguente riduzione dell'uso di fertilizzanti azotati supplementari [43].

Insieme alle tecniche di fertirrigazione, la non lavorazione del suolo, promossa dalle pratiche conservative, contribuisce alla riduzione delle emissioni di CO₂ equivalenti e a mitigare il riscaldamento globale in quanto i residui colturali non sottoposti a rivoltamento formano uno strato superficiale di protezione dall'azione erosiva

delle precipitazioni atmosferiche e stabilizzano il terreno dal punto di vista del contenuto idrico e termico, determinando un minore run-off (scorrimento di acqua sul terreno) ed evaporazione dell'acqua che avverrebbe dal suolo nudo. Di conseguenza, questo strato diviene un habitat per insetti, funghi, batteri e altri organismi che macerano i residui e li decompongono fino a creare humus che struttura il suolo e preserva la biodiversità del terreno. L'assenza di aratura o il rivoltamento delle zolle operata con macchine agricole di elevata potenza si traduce in una riduzione del carburante del 30-40% ma non in una sua totale assenza perchè vengono, tuttavia, utilizzati dei macchinari specializzati per l'agricoltura conservativa [44].

In questo contesto, l'adozione di tecnologie digitali "intelligenti" rappresenta un fattore significativo a vantaggio della crescita sostenibile perchè oltre a facilitare la gestione, il processo e lo scambio di molti dati prelevati in più ambienti diversi, consente di acquisire una maggiore consapevolezza di tutte le azioni che vengono messe in atto per l'agricoltura. In particolare, l'integrazione di sensori, telecamere ed attuatori che gestiscono il funzionamento di ogni macchina agricola nell'Internet of Things (IoT) permette la tracciabilità completa del trattamento fitosanitario effettuato, l'identificazione tempestiva di eventuali problematiche nel suolo o nelle acque reflue, il monitoraggio dei consumi produttivi e l'individuazione di eventuali attacchi da parte di parassiti al fine di ridurre il consumo di risorse idriche e trattamenti chimici. Rientrano nell'ecosistema dell'Agricoltura 4.0 o Agricoltura smart tecnologie di integrazione tra sistemi digitali aziendali ed enti esterni, come la blockchain, per la tracciabilità delle informazioni alimentari lungo l'intera filiera, che rafforzano la sostenibilità ambientale e sono sollecitate da un trend di consapevolezza dei metodi di agricoltura da parte dei consumatori. Soluzioni basate sulla blockchain possono portare all'acquirente finale del bene prodotto, in maniera del tutto trasparente, il risultato della produzione agricola, i valori aziendali, le azioni migliorative per ridurre l'impatto ambientale [45].

Nell'ambito della mobilità, il settore dei trasporti ha registrato un trend di emissioni GHG in continua crescita senza inversioni significative dal 1990 fino al 2017 (Fig.1.7.1), a differenza di quello della produzione di energia elettrica e del settore industriale, consumando un terzo di tutta l'energia finale nell'Unione Europea, la maggior parte proveniente dal petrolio. Sebbene oggi le emissioni inquinanti siano diminuite nelle maggiori aree del settore, dovute sia alle misure di blocco in risposta al Covid-19 sia all'introduzione di norme di qualità per i carburanti, le loro concentrazioni sono ancora piuttosto elevate, risultati guidati anche da un'economia in crescita [46]. Autovetture, furgoni, camion e autobus producono oltre il 70% delle emissioni inquinanti generate dai trasporti, soprattutto particolato (PM) e il biossido di azoto (NO₂), il 14% imputabile al settore dell'aviazione ed il 13% al trasporto marittimo, che rappresenta circa il 90% del commercio globale. In questo contesto, aeroporti e porti marittimi, definiti sia come nodi multimodali che hub logistici, hanno un grande potenziale per contribuire immediatamente a guidare la transizione verso un'aviazione, una navigazione e una più ampia mobilità multimodale neutrale rispetto ai gas serra già entro il 2025, come stabilito nel programma di finanziamento europeo Horizon 2020 [47].

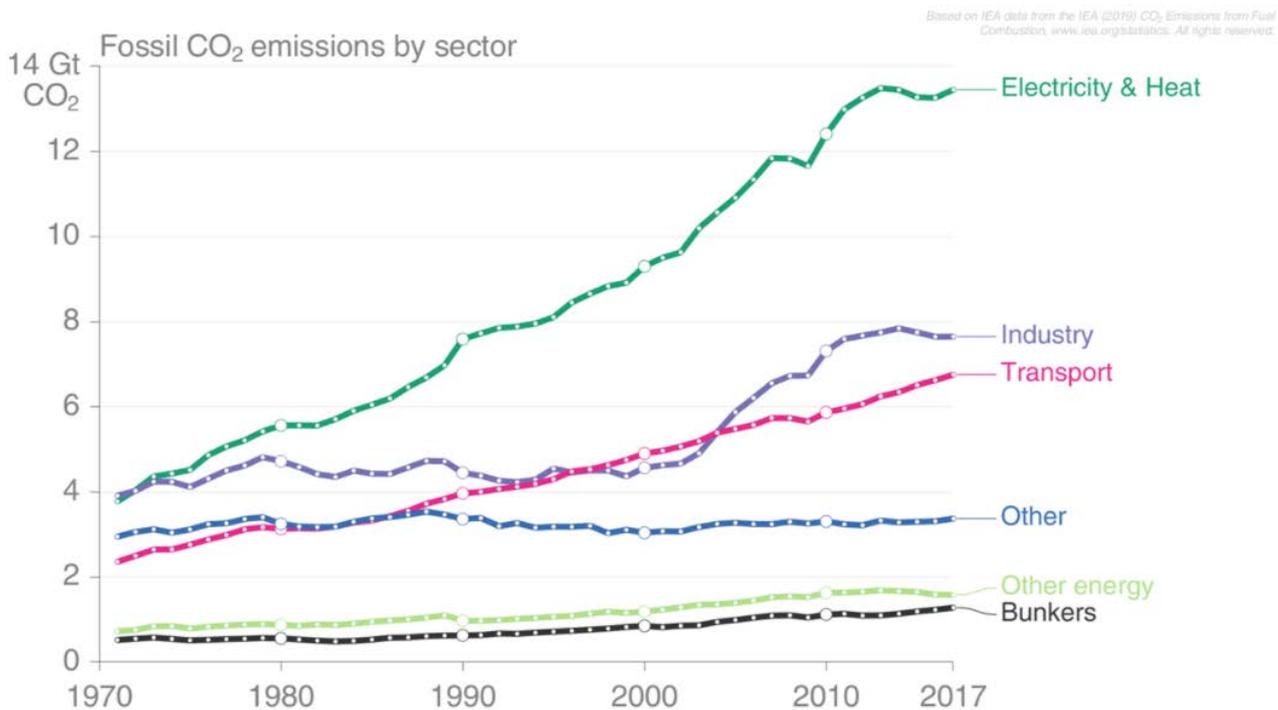


Fig.1.7.1 Global Carbon Project IEA (2019)

Il tema dell'inquinamento, quindi, affronta concetti e soluzioni tecnologiche innovative per aeroporti e porti, che intervengono in vari aspetti legati a trasporti, energia ed aspetti trasversali al fine di ridurre urgentemente le emissioni di gas serra nel settore dei trasporti e aumentare il loro contributo alla mitigazione del cambiamento climatico. Riguardo al trasporto aeroportuale interno, la tendenza mondiale del Ground Support Equipment (GSE) rivela la sostituzione dei mezzi tradizionali a diesel o alimentate da batterie al piombo con veicoli elettrici supportati da batterie a litio. In termini di sostenibilità, le batterie a litio non producono gas tonante durante la loro fase di ricarica, come invece avviene negli accumulatori al piombo per effetto della miscela idrogeno e ossigeno dopo l'elettrolisi, e di conseguenza non sono necessari introdurre sistemi di ventilazione con ulteriori consumi energetici. Inoltre, la combinazione tra capacità di carica rapida e assenza di manutenzione ordinaria, permette al parco macchine circolante nell'aerostazione di beneficiare di una notevole flessibilità di utilizzo, migliorando l'efficienza delle operazioni [48]. L'intervento sinergico delle tecnologie digitali conduce, in questo caso, alla manutenzione predittiva degli accumulatori al litio, mediante un sistema di controllo remoto che monitora a distanza lo stato di salute di ogni singola batteria, analizza i dati sul funzionamento ed attua piani di prevenzione per anomalie e/o guasti, evitando così anche i fermi macchina. Altre azioni sul lato aeroportuale dovrebbero coprire aspetti di fornitura di combustibili sostenibili, e a tal riguardo, diversi studi e ricerche sono state condotte all'Institute of Chemical Physics in Cina che hanno portato allo sviluppo di un tipo di biocombustibile completamente rivoluzionario rispetto ai precedenti, producibile in enormi quantità senza richiedere nuovi terreni da coltivare. Questo biojetfuel è ottenuto dalla miscela di

cellulosa, composto molto complesso, costituito da una lunga catena di molecole di carbonio, idrogeno e ossigeno, e di acido cloridrico in presenza di un catalizzatore di palladio che trasforma la molecola in una più semplice e riduce in maniera significativa la quantità di ossigeno, rendendola più energetica. In un secondo step avviene una trasformazione chimico-fisica, dove il fluido attraversa un doppio catalizzatore composto da nichel, magnesio e rame al fine di eliminare del tutto gli atomi di ossigeno, racchiudendo la molecola lineare in tanti anelli collegati fra loro ed ottenendo un policicloalcano fatto solo di carbonio e idrogeno. Il biocombustibile ottenuto non si presenta soltanto come carburante a zero impatto ambientale, bensì preserva benefici energetici perchè possiede un potere calorifico superiore al fuel jet più usato oggi, il cherosene-A1, con un punto di congelamento più basso rispetto a quello convenzionale. Il vantaggio veramente unico emerge quando si osserva l'intero ecosistema della produzione dell'innovativo biocombustibile, in quanto l'approvvigionamento della cellulosa non richiede emissioni di inquinanti perchè sussistono sorgenti come la paglia, le canne, i bambù, gli scarti dei raccolti, dell'industria forestale e la carta da macero in quantità esorbitanti. Altri carburanti alternativi, invece, come quelli prodotti da fonti di olio vegetale, seppur possiedono un buon poter calorifico, emettono CO₂ addirittura in quantità maggiore rispetto ai combustibili fossili, se si considerano le emissioni legate alle attività di coltivazione e deforestazione, necessarie per effettuare la produzione di massa [49].

Sul piano di accesso aeroportuale, promuovere soluzioni di interconnessioni innovative che trasformino le stazioni in hub multi servizi di mobilità rappresenta un passo verso il miglioramento della qualità della vita e dell'ambiente perchè incentivano l'utilizzo dei mezzi pubblici e veicoli a basso impatto ambientale, come i car-sharing elettriche, piuttosto che l'utilizzo dell'auto privata. Tra gli elementi di natura infrastrutturale, utili a favorire accessibilità e flessibilità degli itinerari, che costituiscono i nodi intermodali si individuano i cicloservizi, le stazioni ferroviarie, le stazioni di car-sharing elettriche, e la segnaletica specializzata, tale da favorire la riconoscibilità della rete. La struttura di coordinamento è definita da tecnologie digitali, come i sistemi IoT, attraverso le quali si otterrebbe un monitoraggio dello shift modale sia del trasporto delle persone che delle merci, e previsione del traffico aumentandone l'efficienza. L'efficienza nei consumi di carburante è ottenuta anche da un serie di tecnologie innovative che intervengono nella struttura della fusoliera in configurazione ibrida metallo/composito con particolare attenzione all'uso di matrici termoplastiche, ottimizzando il peso complessivo e riducendo il numero di componenti, e da un sistema di lavaggio a secco che permette di azzerare il quantitativo di acqua perchè viene applicata una piccola quantità di detergente rimossa con tessuti in microfibra, rendendo l'aeromobile più leggero [50].

Nell'ambito del trasporto marittimo-portuale, la combinazione della modalità multimodale strada-ferroviamare con sistemi IoT che raccolgono i Big Data consente di effettuare operazioni logistiche continue ed altamente efficienti in quanto l'analisi dei dati permette di creare modelli predittivi per la manutenzione e di attuare misure di ottimizzazione del flusso di merce e delle flotte veicolari, nonchè la pianificazione dei percorsi [51]. Si possono individuare anche tecnologie che intervengono nella progettazione navale, contribuendo a

ridurre l'impatto ambientale, tra cui: la modalità multimodale strada-ferrovia-mare, che consente operazioni logistiche continue ed altamente efficienti, i sistemi catalitici posizionati sulle ciminiere delle navi per una depurazione dei fumi composti da particolato (PM), ossidi di zolfo (SO_x) e di azoto (NO_x), carbonio organico volatile (VOC), metalli pesanti inclusi mercurio, diossine e furani fino al 97%-99%, i sistemi No Ballast (Fig.1.7.2), che creano un flusso costante sotto la linea di galleggiamento ed evitano l'accumulo nelle casse al fine di eliminare il problema di migrazione di microorganismi e sedimenti, caratteristici del porto di carica, verso altre località generando squilibri negli ecosistemi, i sistemi ibridi di propulsione con l'utilizzo di un aquilone che riducono del 30% il consumo di carburante ed i sistemi di ricircolo dei gas esausti che permettono di mettere in ricircolo ossidi di azoto NO_x tra il 5-15% riducendo così la percentuale di ossigeno e conseguentemente la temperatura del ciclo e delle emissioni di NO_x fino all'80% [52].

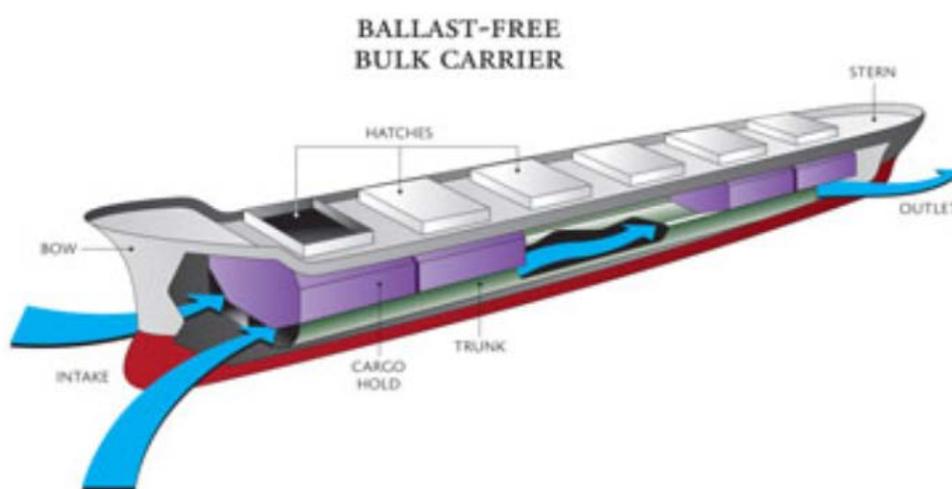


Fig. 1.7.2 Sistemi No Ballast

Nonostante il consolidamento e l'ampliamento significativo delle infrastrutture navali ed aeree, dedicate al trasporto di merci, il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) stima che queste linee saranno in grado di gestire in futuro solo un terzo dell'incremento di traffico delle merci, pertanto la maggior parte della merce finirà per essere trasportata su gomma. Questo aspetto accentua ancor di più il problema di fondo del 70% di emissioni di CO₂ provenienti dai mezzi su gomma e mette in moto lo sviluppo tecnologico per sostenere soluzioni ecosostenibili. A tal riguardo, l'implementazione su vasta scala di strade elettrificate con fonte energetica rinnovabile rileva un punto di svolta rivoluzionario per il sistema di trasporto a lungo raggio di mezzi pesanti. La tecnologia ha permesso di realizzare diversi sistemi di elettrificazione ad impatto ambientale nullo tra cui strade ad induzione magnetica, adatte per veicoli leggeri, dove bobine di rame rifornite di energia elettrica vengono inserite sotto la carreggiata e producendo un campo magnetico per induzione corrente a bobine di ricezione collocate alla base del mezzo di trasporto elettrico, strade dotate di una linea elettrica aerea e di un pantografo di collegamento automatizzato installato sopra il tetto della motrice in grado di trasmettere energia continua dalle aree di contatto al motore elettrico dei tir, anche a

velocità elevate, e strade basate su tecnologia conduttiva (Fig1.7.3), dove il trasferimento di energia dal binario al veicolo avviene mediante un braccio mobile connesso al motore elettrico che rileva automaticamente la posizione del binario sulla strada ed entra in contatto [53].

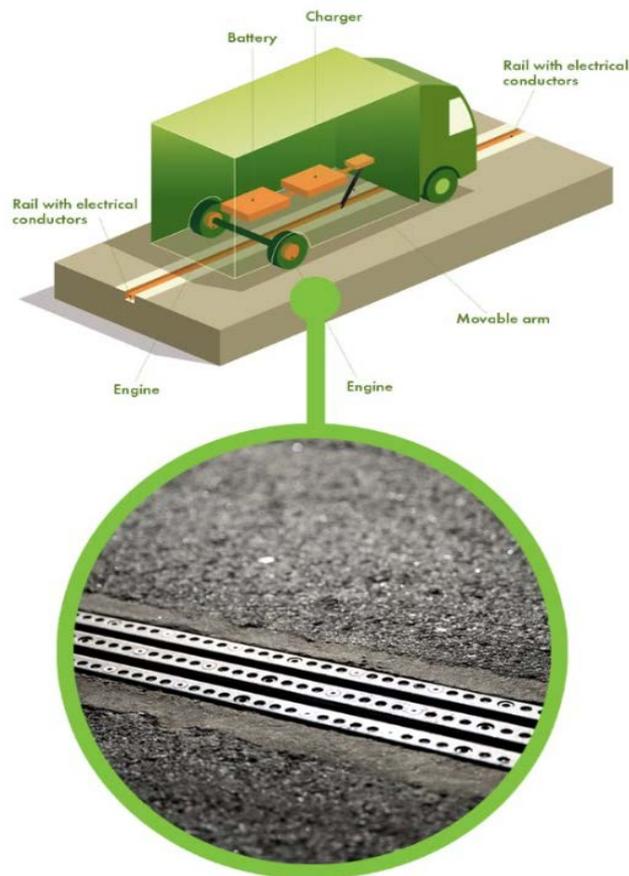


Fig.1.7.3 Sistema di elettrificazione conduttivo

1.8 TECNOLOGIE DIGITALI ABILITANTI DI BUSINESS SOSTENIBILI

Ponendo l'attenzione sull'adozione di soluzioni tecniche digitali, emerge dall'esperienza di interi settori, produttivi e di servizi, che esse introducono vantaggi ambientali oltre che di ottimizzazione di tempi ed efficienza perché consentono di ridurre drasticamente consumi di materiali ed energia. Questi obiettivi green sono anche in linea con i modelli di economia circolare insieme al reinserimento di prodotti second life, reso più efficiente dalle tecnologie digitali. Ogni parte di una filiera produttiva può adottare principi di ecosostenibilità privilegiando materiali da fonte rinnovabile e second life le cui caratteristiche risultino certificate. Non solo, si punta anche ad informare il cliente sull'autenticità del prodotto green attraverso sistemi digitali che creano smart label, dando accesso alla tracciabilità delle materie prime.

Con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, la tecnologia Internet of Things (IoT) consente di raccogliere, archiviare ed analizzare dati di tipo diverso sull'utilizzo di apparecchiature con lo scopo, in ottica di sostenibilità ambientale, di effettuare un monitoraggio continuo dei consumi, della condizione del suolo, dell'aria, dello stato di salute delle aree boschive, una gestione ottimizzata della flotta di spedizione e un upgrade da remoto dei programmi per inglobare i miglioramenti tecnologici dal punto di vista dell'efficienza energetica. Spesso, l'Internet of Thing è associata al modello circular economy attraverso soluzioni pay-per-use, le quali consentono alle aziende di passare dalla vendita di prodotti alla vendita di servizi legati all'utilizzo del dispositivo. Sotto l'aspetto ambientale, la logica pay-per-use è quella di rendere gli utenti più consapevoli dell'effettivo utilizzo dei loro dispositivi smart, automobili o macchinari industriali. Un'applicazione pratica di soluzioni IoT pay-per-use può essere data da EcoStruxure, una piattaforma realizzata da Schneider Electric che collega diversi impianti (illuminazione, aria condizionata ecc..) e sensori posizionati negli edifici per migliorare le prestazioni energetiche di un edificio, ridurre circa il 30% di emissioni CO₂ ed anticipare le esigenze future. Uno dei settori più maturi dove la tecnologia IoT trova terreno fertile, sotto l'ottica green, è quello dell'automazione. L'interconnessione di macchine, prodotti e persone (smart manufacturing) aiuta a ridurre gli sprechi ed aumentare l'efficienza dei robot, traducibile in benefici energetici. Con lo stesso principio di funzionamento, la tecnologia Internet of Things può intervenire anche nel settore urbanistico (smart city) per la pianificazione intelligente dello smaltimento dei rifiuti, la quale prevede di svuotare solo i contenitori pieni attraverso un rilevamento del livello di riempimento, ottimizzando i percorsi dei mezzi di raccolta. Un altro settore sul quale si sta assistendo un maggior interesse verso l'integrazione di internet con gli oggetti è l'agrifood, dove si possono osservare applicazioni interessanti che riguardano tutte le fasi della filiera in ottica di sostenibilità ambientale. La tecnologia IoT è utilizzata, in questo caso, per monitorare coltivazioni, raccolti, utilizzo di acqua, azoto e pesticidi, impianti di trasformazione ed attori della distribuzione, ricoprendo un'offerta del settore del 30% ed è in continua espansione anche grazie alla tecnologia blockchain, la quale si preoccupa di monitorare il flusso informativo lungo la supply chain, evitando da un lato problemi legati alla sicurezza e alla salubrità degli alimenti, dall'altro impatti pesanti sui costi di gestione, traducibili in

segnali di emissioni di inquinanti. La blockchain, non fa altro che archiviare e verificare le informazioni scambiate tra gli utenti del sistema, a partire dal tracciamento della materia prima fino al consumatore finale, contenute in un certo numero di blocchi decentralizzati, dando così la possibilità a tutti i membri che interagiscono con il sistema di accedervi. La necessità di prendere decisioni più consapevoli grazie all'analisi rapida dei dati, è oggi accelerata da un contesto di crisi dalla quale non ci si aspettava, la pandemia, oltre a quello ambientale a cui da anni si va incontro. Tuttavia, è bene tenere a mente che la diffusione delle soluzioni green più vicine al paradigma Internet of Things nell'ambito della supply chain, eHealth (IoT per salute e medicina), domotica, smart car, smart metering (contatori domestici intelligenti), e dell'industria biomedicale (ovvero l'IoT applicato agli interventi chirurgici compiuti a distanza) procede lentamente, in parte legato all'impegno del soggetto pubblico che dovrebbe pensare ai vantaggi a lungo termine e agire di conseguenza finanziando i progetti, in parte vincolato dalle tempistiche di costruzione di un network che trasmetta pochi dati ma a distanze maggiori e che consuma poca energia.

Il concetto di Internet of Things è strettamente legato a quello dei Big Data in quanto gli oggetti IoT e i sensori sono in grado di raccogliere dati dell'ordine di Terabyte di memoria ma sono necessari algoritmi, implementati in software, in grado di trasformare e modellare milioni di dati con lo scopo, per esempio, di minimizzare le emissioni inquinanti ed aumentare l'efficacia dei sistemi energetici [54]. Infatti, la grande mole di informazioni raccolta, con notevole rapidità e nei formati più diversi, resterebbe allo stato grezzo, congelata in compartimenti stagni e prive di senso compiuto, se non fosse sottoposta a un processo di raccolta, elaborazione e analisi. L'aspetto più interessante degli strumenti di analisi dei big data (data mining, apprendimento automatico, deep learning e analisi predittiva) riguarda la loro capacità di rispondere a domande relative a cosa potrebbe accadere in futuro, sulla base di tecniche statistiche quali regressione e forecasting, dopo che i dati grezzi sono stati organizzati, configurati e partizionati correttamente per ottenere buone prestazioni in termini di estrazione, trasformazione, caricamento e query analitiche.

In occasione del Living Planet Symposium 2019, la più grande conferenza sull'osservazione della Terra, Telespazio, Leonardo/Thales, e-GEOS e GAF hanno presentato un'iniziativa chiamata GEOHub, la quale consente di fornire servizi innovativi che trasformino i big data spaziali in applicazioni mirate, tempestive e di facile utilizzo per il monitoraggio dell'ambiente, della mobilità dei cittadini e per la gestione delle foreste. L'Indice europeo della qualità dell'aria, che fornisce dati aggiornati al minuto, potrebbe essere ulteriormente sviluppato in modo da includere proiezioni accurate della qualità dell'aria, includendo fattori come i cambiamenti del vento o altre condizioni meteorologiche.

Per quanto riguarda l'Intelligenza Artificiale, il suo sviluppo è incentivato dalla sinergia con le altre tecnologie 4.0, in prima analisi con i software utilizzati per l'elaborazione dei Big Data perchè fanno uso di tecniche di machine learning e deep learning, in secondo luogo, anche con l'Internet of Things, in quanto i sistemi IoT integrano piattaforme avanzate di analisi dati ed algoritmi in grado di semplificare la gestione dei dispositivi connessi, riproducendo ragionamenti ed azioni differenti a seconda delle situazioni, tipici degli esseri umani,

a valle di una raccolta di una grande quantità di dati derivanti dagli oggetti IoT che la mente umana non sarebbe in grado di gestire. Dunque, come si è intuito, il machine learning è essenzialmente una strada per l'attuazione dell'intelligenza artificiale, un sottogruppo dell'AI, che si concentra sulla capacità delle macchine di ricevere dati e di apprendere da soli. La tecnologia machine learning viene innanzitutto alimentata da dati strutturati e categorizzati e quando riceve nuovi dati è in grado di classificarli a seconda del tipo e fare eseguire al sistema attività pertinenti. Successivamente, entra in gioco il feedback umano che svolge un ruolo di ottimizzazione dell'algoritmo del sistema, indicando le classificazioni errate e le categorizzazioni corrette. Il principio di funzionamento è simile a quello della rete neurale, dove le unità di calcolo del sistema, che utilizzano modelli statistici e ricerche operative, sono interconnesse (come i neuroni) ed elaborano informazioni nascoste nei dati rispondendo a input esterni, trasmettendo quindi le relative informazioni tra diverse unità. Nell'ambito della sostenibilità ambientale, una delle applicazioni del machine learning è rappresentato da sistemi computazionali in grado di acquisire immagini da sensori, elaborarle ed allo stesso tempo memorizzare le condizioni al fine di ispezionare impianti energetici ed effettuare manutenzione predittiva, aumentandone la loro efficienza.

Nel caso del deep learning, non è necessario fornire al sistema dati strutturati in quanto la tecnologia sfrutta reti neurali artificiali multistrato, sulle quali vengono dislocati elementi di elaborazione semplici ed altamente interconnessi per ricevere informazioni provenienti dall'esterno, imparare a riconoscerle e a processarle al fine di creare nuovi modelli computazionali, adatto in tutti i casi in cui le informazioni non possono essere categorizzate in anticipo. Quindi, il sistema stesso individua nei milioni di dati acquisiti, molti di più rispetto a quelli richiesti dal machine learning, le caratteristiche distintive adeguate e controlla ad ogni livello se le classificazioni vengono cambiate a causa di un nuovo input o se ne vanno introdotte di nuove. Sebbene il deep learning sia più complesso da implementare e richieda più risorse rispetto al machine learning, il suo ruolo è sempre più cruciale negli interventi di ostacolo al cambiamento climatico e, in particolare, si concentra principalmente sul miglioramento dei consumi energetici e sul sostentamento delle risorse naturali. Nel primo caso, i sistemi basati sul deep learning permettono di monitorare il rendimento dei motori elettrici segnalando agli operatori eventuali trend di dati inferiori ai valori ottimali e fornendo suggerimenti molto dettagliati per la manutenzione predittiva, dopo aver effettuato l'analisi di un grande mole di dati. Nel secondo caso, i software sono in grado di recapitare sul cloud contenuti multimediali sia provenienti per esempio da sensori IoT oppure da dispositivi tradizionali, e di elaborarli al fine di estrarre automaticamente indici di biodiversità, indici diretti della qualità della terra o indici di neve, e quindi indirettamente di acqua. Sulla base di questi, i sistemi effettuano previsioni sulla disponibilità di acqua, flora, fauna e sulla possibilità di coltivare un terreno, se sussistono condizioni di fertilità [55].

In uno studio del World Economic Forum, dedicato alle potenzialità dell'uso dell'intelligenza artificiale applicata, vengono indicate alcune applicazioni dell'AI in diversi ambiti per salvare il pianeta, come la guida di veicoli autonomi, servizi autonomi di condivisione dei percorsi, algoritmi di guida ecologica, una rete distribuita

per lo stoccaggio dell'energia rinnovabile e la gestione del carico, tutte focalizzate a garantire riduzioni sostanziali dei gas serra. Non solo, l'intelligenza artificiale mette anche in atto azioni di monitoraggio e risoluzione dei problemi al cambiamento climatico, alla conservazione della biodiversità, alla sicurezza idrica, alla tutela degli oceani, grazie alle interconnessioni esistenti tra le scienze informatiche e le scienze ambientali. Un altro pilastro importante dell'evoluzione tecnologica digitale si identifica con il Machine-to-Machine (M2M), ossia un insieme di algoritmi e procedure che consentono a sistemi fisici integrati di poter svolgere in maniera autonoma delle operazioni in funzione del trasferimento automatico dei dati, mediante una rete autonoma, da un dispositivo all'altro e curare la manutenzione in remoto, senza che ci sia alcun intervento da parte dell'uomo o che questo possa essere in percentuale bassa o irrisoria. La programmazione di azioni automatizzate avviene mediante un software di elaborazione autonoma che attinge ai dati dei sensori Rfid appartenenti al sistema M2M e collocati nelle apparecchiature interessate, li interpreta e successivamente prende decisioni inviandole alle macchine via rete con un obiettivo programmato che, di solito, coincide con l'efficientamento dei processi di produzione o del ciclo operativo. La bidirezionalità della comunicazione tra l'oggetto connesso e la rete cui si aggancia è garantita da una SIM M2M, che abilita il passaggio di dati con un alto livello di sicurezza e affidabilità e consente monitorare e controllare da remoto un macchinario o sensore industriale collegato in rete [56].

Sebbene abbia delle caratteristiche simili ai sistemi dell'Internet of Things, la tecnologia machine-to-machine adotta, come abbiamo accennato prima, una rete di comunicazione chiusa, come ad esempio il sistema wireless, che permette una trasmissione point-to-point tra i dispositivi a differenza dell'IoT che opera su reti basate su protocolli IP per inviare e gestire i dati raccolti ad apparati di rete specifici quali gateway, middleware o piattaforme cloud. Nella pratica, volendo fare un esempio con gli elettrodomestici intelligenti, il M2M effettua l'operazione di accensione fisica del forno, mentre il sistema IoT gestisce le fasi di accettazione della richiesta, di temporizzazione e di accensione. Quindi, come si può evincere da questo esempio, il potenziale dell'IoT si esprime principalmente nell'applicazione delle tecnologie machine-to-machine e lo sfruttamento di queste due tecnologie abilita diversi progetti ambientali al fine di affrontare alcune questioni legate all'inquinamento atmosferico o, più in generale, al danneggiamento dell'ecosistema naturale. Uno tra questi si riflette in un progetto per il tracciamento degli alberi della foresta amazzonica, utilizzando un dispositivo posto sugli alberi che aiuta a identificare le operazioni di disboscamento illegali, in particolare quando gli alberi raccolti illegalmente passano nell'area di copertura mobile, e supporta i governi del Sud America nel bloccarli, individuando i siti di produzione, e nel prevenire la deforestazione prima che debbano essere adottate misure per evitarle. In questo contesto, i sistemi M2M rappresentano un vero punto di svolta perchè molte attività di deforestazione illegale effettuate in aree remote passano inosservate dalle frequenze satellitari e frequenze radio a causa del segnale troppo debole. Un'iniziativa intrapresa, invece, sull'osservazione degli ecosistemi marini e sui cambiamenti climatici, grazie allo sviluppo dei sistemi machine to machine, riguarda il monitoraggio della biodiversità e dei danni alla Grande barriera corallina (Australia Nord-orientale) mediante

boe dotate di sensori in grado di raccogliere dati biologici, fisici e chimici e trasmessi alla stazione base a terra attraverso l'uso di varie tecnologie wireless, tra cui microonde, televisione e reti mobili 3G, a seconda della distanza dalla costa.

In ambito energetico, le Sim M2M sono all'origine dei sistemi smart metering (contatori intelligenti), i quali hanno innescato percorsi di efficientamento e riduzione delle emissioni, nonché una visibilità organica della correlazione tra fabbisogni energetici ed esigenze manutentive generali. Questi sistemi consentono, in ambito domestico, di tenerci informati da remoto (dati storici) o localmente (dati in tempo reale) non solo dei consumi di energia elettrica e gas ma anche su dati relativi alle emissioni di carbonio e ai periodi tariffari più economici in modo da disincentivare il consumo massiccio di energia nelle ore di punta che va a creare problemi di sovraccarico nelle centrali termoelettriche. Inoltre, il contatore intelligente è un abilitatore per la gestione dell'energia in quanto può controllare automaticamente apparecchi elettrici o elettronici inviando istruzioni di intervento atti ad ottimizzare il consumo attraverso un'infrastruttura di telecomunicazione data da sensori applicati agli oggetti interessati. A livello industriale, il settore manifatturiero è attualmente quello con il più alto tasso di consumi energetici ed essendo abbastanza complicato intervenire costantemente di persona sulle risorse per aggiustare i livelli di consumo di gas, elettricità e riscaldamento rispetto ai valori ottimali, le soluzioni smart metering garantiscono un monitoraggio e controllo a distanza tramite l'utilizzo delle Sim M2M integrati nei macchinari in grado di inviare dati ai contatori presenti all'interno delle fabbriche ed estrarre previsioni di consumo o anomalie nel ciclo produttivo [57].

2 MAPPATURA DELLE TECNOLOGIE GREEN E DIGITALI

2.1 INTRODUZIONE ALLO STUDIO

Questo capitolo propone di far luce sulla diffusione delle tecnologie verdi e digitali che contribuiscono in modo significativo a cambiare la direzione del cambiamento climatico mediante lo sfruttamento di informazioni brevettuali, fornendo una panoramica sulla localizzazione dello sviluppo tecnologico e sull'intensità dell'innovazione verde. In particolare, lo studio mette in risalto l'impatto della componente green sull'innovazione digitale e quanto influisce la tecnologia digitale sulla tecnologia verde. Al fine di produrre una mappatura globale dell'evoluzione delle tecnologie verdi e digitali viene sviluppato un set di dati brevettuali mediante l'utilizzo di un software di business intelligence chiamato Orbit Intelligence, reso disponibile da Questel, che oltre a generare analisi statistiche fornisce anche l'accesso al più ampio database accurato di brevetti e letteratura scientifica. Sono stati considerati brevetti registrati negli ultimi vent'anni legati all'ambiente, ossia che hanno un riscontro diretto con l'ecosistema ambientale, secondo classificazioni sviluppate dagli esperti degli uffici di proprietà intellettuale (PI) che partecipano alla IP Task Force guidata dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), come l'Ufficio brevetti e marchi degli Stati Uniti (USPTO), l'Ufficio europeo dei brevetti (EPO) e l'Ufficio brevetti giapponese (JPO). Per avere un profilo completo, verranno esposte tutte le classificazioni pertinenti sia alle tecnologie ambientali e di mitigazione del cambiamento climatico sia alle tecnologie digitali implementate nei prodotti ICT, ma per questioni di calcolo saranno oggetto di studio per l'analisi delle dinamiche eco-innovative due tipi di sistemi di codifica denominate J Tag e ENV-TECH. Successivamente, il dataset con le informazioni brevettuali viene importato sul software statistico STATA dove si producono grafici rappresentanti i trend sugli sviluppi tecnologici verdi nei settori della green economy e l'impatto delle leve di trasformazione digitale (IoT, Big Data analytics, Intelligenza Artificiale e Machine-to-Machine) nei vari Paesi del mondo.

2.2 SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE DEI BREVETTI

I primi passi verso l'analisi qualitativa della diffusione della green technology e digitalizzazione sostenibile condotta su STATA sono individuati nella comprensione dei sistemi di classificazione dei brevetti. Quest'ultimi hanno l'obiettivo di ordinare, in modo strutturato, e indicizzare il contenuto tecnico dei brevetti in aree tecnologiche accuratamente specificate e identificate con un codice in modo da supportare efficacemente le attività di ricerca dei brevetti che appartengono a determinate categorie svolte dagli organismi esaminatori della proprietà intellettuale, dagli uffici di Intellectual Property delle aziende o da ricercatori.

Esistono più sistemi di classificazioni utilizzati a livello internazionale e la ragione risiede sostanzialmente nello sviluppo di diverse leggi sui brevetti a seconda del Paese considerato. Tuttavia, ai fini di consolidamento, sono stati adottati quattro schemi di classificazioni che racchiudono la maggior parte dei brevetti globali e si identificano in:

- International Patent Classification (IPC)
- Cooperative Patent Classification (CPC)
- US Patent Classification (USPC)
- Classificazioni giapponesi File Index (FI) e F-term

L'International Patent Classification (IPC), amministrato dal World Intellectual Property Organization (WIPO), rappresenta il sistema gerarchico di classificazione dei brevetti più conosciuto nel mondo e viene costantemente aggiornato per far fronte alle evoluzioni del contesto da un Comitato di esperti, composto da rappresentanti degli Stati contraenti l'Accordo di Strasburgo (1971) con osservatori di altre organizzazioni, come l'Ufficio europeo dei brevetti (EPO). Alla pubblicazione di un brevetto può essere assegnato un codice IPC, costituito da una sezione, che indica l'argomento a cui si riferisce l'invenzione ed è rappresentata da una lettera da A fino a H, seguita a sua volta da una classe, sottoclasse, gruppo, formato da uno a tre cifre, e da un sottogruppo, rappresentato almeno da due cifre per fornire ulteriori dettagli sul contenuto informativo. In seguito, si riportano la struttura base pubblicata dal WIPO e la suddivisione in sezioni di tutti i settori tecnologici.

Position(s)	Content	Values
1	Section	A,...,H
2,3	Class	01,...,99
4	Subclass	A,...,Z
5 to 8	Main Group (right aligned)	1,...,9999, blank
9	Separating character	/ ("Slash")
10 to 15	Subgroup (left aligned)	00,...,999999, blank

Fig. 2.2.1 Struttura base dell'International Patent Classification.

Section	Content
A	Human Necessities
B	Performing Operations, Transporting
C	Chemistry, Metallurgy
D	Textiles, Paper
E	Fixed Constructions
F	Mechanical Engineering, Lighting, Heating, Weapons
G	Physics
H	Electricity

Fig. 2.2.2 Suddivisione delle tecnologie brevettabili in sezioni.

Per quanto concerne la Cooperative Patent Classification (CPC), il sistema rappresenta un ampliamento della IPC sviluppato congiuntamente dall'Ufficio brevetti europeo (EPO) e dall'Ufficio statunitense dei brevetti e marchi (USPTO) al fine di armonizzare i loro sistemi di classificazioni esistenti ECLA (Sistema di Classificazione Europea), nonché una versione più dettagliata del sistema di classificazione internazionale dei brevetti (IPC), e USPC, rispettivamente. Questa classifica mantiene, dunque, la stessa struttura del IPC, ossia è suddivisa in classi, sottoclassi, gruppi e sottogruppi, ma include una nuova sezione denominata Y (Emerging Cross-Sectional Technologies) che racchiude brevetti di tecnologie che hanno impatti trasversali su tutte le industrie.

La US Patent Classification (USPC) è il sistema di classificazione dei brevetti introdotto e gestito dal United States Patent and Trademark Office (USPTO). Tale classificazione è formata da oltre 450 classi, ciascuna si articola gerarchicamente in più sottoclassi, contandone oltre 150,000, opportunamente descritte e identificate da un numero che può essere intero o può contenere una parte decimale e/o caratteri alfabetici. Un'identificazione completa di una sottoclasse richiede sia il numero della classe che quello della sottoclasse e qualsiasi designazione alfa o decimale. Ad esempio, una classificazione USPC è tipicamente espressa come 417 / 161.1A dove 417 identifica la Classe dell'invenzione e 161.1A la Sottoclasse.

La classificazione giapponese File Index (FI) è molto simile a quella europea (ECLA), ovvero si tratta di una sotto-classificazione IPC con una struttura gerarchica più ricca di sottodivisioni rispetto alla classificazione internazionale, specificate da codici alfanumerici, che interessa tutti i documenti brevettuali giapponesi. Tuttavia, l'eccessiva segmentazione della documentazione brevettuale presenta degli svantaggi e mal si adatta alle invenzioni riguardanti tecnologie combinate. In questo contesto, il File Forming terms gioca un ruolo fondamentale in quanto raggruppa intervalli di FI in unità tematiche sotto un codice a cinque cifre (theme code), rappresentante un settore tecnologico, seguito da un codice a quattro cifre (term code) che è assegnato in funzione di vari punti di vista tecnici, ad esempio materiali di partenza, uso, prodotti o struttura chimico-fisica.

C	0	1	B	3	1	0	2	1	0	1	F
Section	Class		Subclass	Group		Subgroup	Subdivision			File discriminaton symbol	

Fig. 2.2.3 Esempio di struttura base classificazione giapponese File Index.

4C146	BC	0	9
Theme code	Term code		

Fig. 2.2.4 Esempio di classificazione giapponese con schema F-terms.

È bene esplicitare che ogni brevetto può essere caratterizzato da più codici di classificazioni diverse, ciò dipende dell'ente esaminatore presso cui la domanda di brevetto viene esaminata. Inoltre, ciascun documento, indipendentemente dal Paese in cui si deposita la domanda, è sempre caratterizzato da almeno un codice IPC.

2.3 CLASSIFICAZIONE ENVIRONMENT-RELATED TECHNOLOGIES

Fino a questo momento si è discusso dei sistemi di codifica più utilizzati in tutto il mondo per archiviare le invenzioni brevettabili e rendere efficace il processo di estrazione delle informazioni di brevetti. Adesso l'attenzione si incentra su una delle due classificazioni gerarchiche scelte per lo sviluppo della mappatura globale delle tecnologie verdi e digitali, ossia la classificazione environment-related technologies (ENV-TECH). Quest'ultima, sviluppata dall'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), racchiude brevetti che contengono informazioni sullo sviluppo tecnologico a carattere green sustainability ed è basata sui sistemi International Patent Classification (IPC) e Collaborative Patent Classification (CPC). La classificazione comprende nove famiglie ambientali, ciascuna divisa in gruppi e sottogruppi (raramente i sottogruppi includono un livello inferiore), separate in 4 aree differenti tra cui gestione ambientale, protezione della biodiversità e salute dell'ecosistema (menzionato ma non ancora disponibile), tecnologie di adattamento legate all'acqua e tecnologie per la mitigazione dei cambiamenti climatici (CCMT).

In seguito sono riportati i gruppi dinamici delle tecnologie ambientali appartenenti alle 8 famiglie disponibili della classificazione ENV-TECH ciascuna caratterizzata da una serie di codici IPC o CPC che fanno riferimento ai brevetti delle sottoclassi, non indicati per chiarezza espositiva e per indifferenza ai fini dell'analisi brevettuale condotta successivamente¹.

1. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	IPC code
-----------------------------	----------

1.1. AIR POLLUTION ABATEMENT	B01D53/34-72, F23G7/06, F23J15, F27B1/18, C21B7/22,
1.3. WASTE MANAGEMENT	E01H15, B65F A23K1/06-10, A43B1/12, B03B9/06, B22F8,
1.4. SOIL REMEDIATION	B09C
1.5. ENVIRONMENTAL MONITORING	F01N11, G08B21/12-14, E03B 5, E03B 3/06-26, E03B 9, E03B 3/04; 28- 38 E03B 3/02, E03B 3/03, E03B 11

Tab. 2.3.1 Tecnologie brevettabili appartenenti all'area di gestione ambientale della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

2. WATER-RELATED ADAPTATION TECHNOLOGIES	IPC or CPC class
2.1. DEMAND-SIDE TECHNOLOGIES (water conservation)	F16K21/06-12 F16L 55/07 E03C 1/084
2.2. SUPPLY-SIDE TECHNOLOGIES (water availability)	E03B 5 E03B 3/06-26 E03B 9
4. CLIMATE CHANGE MITIGATION technologies related to ENERGY generation, transmission or distribution	CPC code
4.1. RENEWABLE ENERGY GENERATION	Y02E10/70-766 Y02E10/40 Y02E10/10
4.2. ENERGY GENERATION FROM FUELS OF NON-FOSSIL ORIGIN	Y02E50/10 Y02E50/30
4.3. COMBUSTION TECHNOLOGIES WITH MITIGATION POTENTIAL (e.g. using fossil fuels, biomass, waste, etc.)	Y02E20 Y02E20/10- 185, Y02E20/12,
4.4. NUCLEAR ENERGY	Y02E 30/10-18 Y02E 30/30-40
4.5. TECHNOLOGIES FOR AN EFFICIENT ELECTRICAL POWER GENERATION, TRANSMISSION OR DISTRIBUTION	Y02E40/10-18 Y02E40/20-26
4.6. ENABLING TECHNOLOGIES (Technologies with potential or indirect contribution to emissions mitigation)	Y02E60/30-368 Y02E60/50-566

Tab. 2.3.2 Tecnologie relative alla generazione di energia della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

5. CAPTURE, STORAGE, SEQUESTRATION OR DISPOSAL OF GREENHOUSE GASES	Y02C
5.1. CO2 CAPTURE OR STORAGE (CCS)	Y02C10/00-14
5.2. CAPTURE OR DISPOSAL OF GREENHOUSE GASES OTHER THAN CO2	Y02C20/00-30

Tab. 2.3.7 Tecnologie brevettabili appartenenti allo stoccaggio di gas serra della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

6. CLIMATE CHANGE MITIGATION technologies related to TRANSPORTATION	Y02T
6.1. ROAD TRANSPORT	Y02T10/10-56 Y02T10/12-18 Y02T10/40-48 Y02T10/50-56 Y02T10/20-26 Y02T10/30-38
6.2. RAIL TRANSPORT	Y02T30 Y02T30/00-42

6.3. AIR TRANSPORT	Y02T50 Y02T50/00-90
6.4. MARITIME OR WATERWAYS TRANSPORT	Y02T 70 Y02T 70/00-90
6.5. ENABLING TECHNOLOGIES IN TRANSPORT	Y02T 90/10-169 Y02T 90/30-38 Y02T 90/40-46

Tab. 2.3.3 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale del trasporto della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

7. CLIMATE CHANGE MITIGATION technologies related to BUILDINGS	Y02B
7.1. INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN BUILDINGS	Y02B10 Y02B 10/00-72
	Y02B 10/00-72
7.2. ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS	Y02B20 Y02B 20/00-72 Y02B30 Y02B 30/00-94 Y02B40 Y02B 40/00-90 Y02B40 Y02B 40/00-90 Y02B60 Y02B 60/00-50 Y02B70 Y02B 70/00-346
7.3. ARCHITECTURAL OR CONSTRUCTIONAL ELEMENTS IMPROVING THE THERMAL PERFORMANCE OF BUILDINGS	Y02B80 Y02B 80/00-50
7.4. ENABLING TECHNOLOGIES IN BUILDINGS	Y02B90 Y02B 90/00-2692

Tab. 2.3.4 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale dell'edilizia della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

8. CLIMATE CHANGE MITIGATION technologies related to WASTEWATER TREATMENT or WASTE MANAGEMENT	Y02W
8.1. WASTEWATER TREATMENT	Y02W 10/00-45
8.2. SOLID WASTE MANAGEMENT	Y02W 30/10 Y02W 30/20 Y02W 30/30-38 Y02W 30/40-47 Y02W 30/50-97 Y02W 30/52-528 Y02W 30/54-543 Y02W 30/62-628 Y02W 30/70-706 Y02W 30/72
8.3. ENABLING TECHNOLOGIES OR TECHNOLOGIES WITH A POTENTIAL OR INDIRECT CONTRIBUTION TO GHG MITIGATION	Y02W 90

Tab. 2.3.5 Tecnologie brevettabili appartenenti all'area di gestione dei rifiuti della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

9. CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OR PROCESSING OF GOODS	Y02P
9.1. TECHNOLOGIES RELATED TO METAL PROCESSING	Y02P 10/10 Y02P 10/10-146 Y02P 10/20 Y02P 10/20-34

9.2. TECHNOLOGIES RELATING TO CHEMICAL INDUSTRY	Y02P 20/10 Y02P 20/20 Y02P 20/30 Y02P 20/40 Y02P 20/50
9.3. TECHNOLOGIES RELATING TO OIL REFINING AND PETROCHEMICAL INDUSTRY	Y02P 30/10 Y02P 30/20 Y02P 30/30
9.4. TECHNOLOGIES RELATING TO THE PROCESSING OF MINERALS	Y02P 40/10 Y02P 40/20 Y02P 40/30 Y02P 40/40
9.5. TECHNOLOGIES RELATING TO AGRICULTURE, LIVESTOCK OR AGROALIMENTARY INDUSTRIES	Y02P 60/10 Y02P 60/10-18 Y02P 60/20 Y02P 60/20-25 Y02P 60/30 Y02P 60/40 Y02P 60/50 Y02P 60/50-56
9.6. TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION PROCESS FOR FINAL INDUSTRIAL OR CONSUMER PRODUCTS	Y02P 70/12-145 Y02P 70/16-187 Y02P 70/20 Y02P 70/22 Y02P 70/24 Y02P 70/26-281 Y02P 70/30 Y02P 70/32-405 Y02P 70/52-527 Y02P
9.7. CLIMATE CHANGE MITIGATION TECHNOLOGIES FOR SECTOR-WIDE APPLICATIONS	Y02P 80/00-40
9.8. ENABLING TECHNOLOGIES WITH A POTENTIAL CONTRIBUTION TO GHG EMISSIONS MITIGATION	Y02P 90/00-95

Tab. 2.3.6 Tecnologie brevettabili appartenenti ai processi produttivi della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

2.4 CLASSIFICAZIONE J TAG

La classificazione J Tag nasce da un'attenta analisi delle tecnologie e prodotti dell'Information and Communication Technologies (ICT) guidata dagli esperti del Japan Patent Office, al fine di definire una nuova tassonomia sulla base delle classi tecnologiche IPC che escluda alcune classi brevettuali originariamente taggati come ICT poiché non propriamente correlate alla tecnologia ICT come ad esempio la classe B41J relativa ai meccanismi di stampa e, per tale correlazione, si intende tecnologie rilevanti per l'elaborazione delle informazioni o la comunicazione. Inoltre, a fronte di inclusioni dubbie di tecnologie ICT, gli esperti hanno valutato la rilevanza di queste classi tecnologiche mediante statistiche sulla misura in cui le invenzioni sono utilizzate sia per la comunicazione che per dispositivi non ICT (ovvero le co-occorrenze) come ad esempio la classe H01L21 che comprende la fabbricazione o il trattamento di semiconduttori o dispositivi a stato solido, i quali possono o meno essere utilizzati per l'elaborazione delle informazioni e comunicazione. Non solo, questa classificazione proposta aggiunge classi di brevetti che precedentemente non esistevano, ad esempio la classe B82Y10 in merito alla nanotecnologia per l'informazione o al calcolo quantistico. La tassonomia J tag suddivide le tecnologie in 13 aree (Tab 2.4.1), ciascuna delle quali può ramificarsi in sub aree ai fini di una maggiore accuratezza, definite dalle caratteristiche tecniche specifiche e dalle funzioni che dovrebbero svolgere, tenendo conto di dettagli forniti sui modi in cui le tecnologie si relazionano ai prodotti ICT.

In seguito è riportata la classificazione J Tag in linea con le definizioni del settore ICT (2007) e di prodotti ICT (2008) proposte dall'OCSE.

¹ OCSE [https://www.oecd.org/environment/consumption-innovation/ENV-tech%20search%20strategies,%20version%20for%20OECDstat%20\(2016\).pdf](https://www.oecd.org/environment/consumption-innovation/ENV-tech%20search%20strategies,%20version%20for%20OECDstat%20(2016).pdf)

Technology area	Sub area	IPC
1. High speed network	Digital communication technique	H03K, H03L, H03M, H04B1/69-1/719, H04J, H04L (excluding H04L9, H04L12/14) *H04L9, *H04L12/14
	Exchange, selecting	H04M3-13,19,99, H04Q
	Others	H04B1/00-1/68, H04B1/72-1/76, H04B3-17 (excluding H04B1/59, H04B5, H04B7), H04H
2. Mobile communication		H04B7, H04W (excluding H04W4/24, H04W12) *H04W4/24, *H04W12
3. Security	Cyphering, authentication	G06F12/14, G06F21, G06K19, G09C, G11C8/20, H04K, H04L9, H04M1/66-665, H04M1/667-675, H04M1/68-70, H04M1/727, H04N7/167-7/171, H04W12
	Electronic payment	G06Q20, G07F7/08-12, G07G1/12-1/14, H04L12/14, H04W4/24 *G06Q30/02
4. Sensor and device network	Sensor network	G08B1/08, G08B3/10, G08B5/22-38, G08B7/06, G08B13/18-13/196, G08B13/22-26, G08B25, G08B26, G08B27, G08C, G08G1/01-065
	Electronic tag	H04B1/59, H04B5 *G01S13/74-84, *G01V3, *G01V15
	Others	*H04W84/10
5. High speed computing		G06F5, G06F7, G06F9, G06F11, G06F13, G06F15/00, G06F15/16-15/177, G06F15/18, G06F 15/76-15/82
6. Large-capacity and high speed storage		G06F3/06-3/08, G06F12 (exclude G06F12/14), G06K1-7, G06K13, G11B, G11C (exclude G11C8/20), H04N5/78-5/907 *G06F12/14, *G11C8/20
7. Large-capacity information analysis	Database	G06F17/30, G06F17/40
	Data analysis, simulation, management	G06F17/00, G06F17/10-17/18, G06F17/50, G06F19, G06Q10, G06Q30, G06Q40, G06Q50, G06Q90, G06Q99, G08G (exclude G08G1/01-065, G08G1/0962-0969) *G08G1/01-065, *G08G1/0962-0969
8. Cognition and meaning understanding		G06F17/20-17/28, G06K9, G06T7, G10L13/027, G10L15, G10L17, G10L25/63,66 *G06F15/18
9. Human-interface		H04M1 (exclude H04M1/66-665, H04M1/667-675, H04M1/68-70, H04M1/727), G06F3/01-3/0489, G06F3/14-3/153, G06F3/16, G06K11, G06T11/80, G08G1/0962- 0969, G09B5, G09B7, G09B9 *H04M1/66-665, *H04M1/667-675, *H04M1/68-70, *H04M1/727, *G06F17/50,

10. Imaging and sound technology	Imaging technique	H04N (excluding H04N5/78-5/907, H04N7/167-7/171), G06T1-9 (excluding G06T7), G06T11 (excluding G06T11/80), G06T13, G06T15, G06T17-19, G09G
	Sound technique	H04R, H04S, G10L (excluding G10L13/027, G10L15, G10L17, G10L25/63,66) *G10L13/027,* G10L15,*G10L17,*G10L25/63,66
11. Information communication device	Electronic circuit	H03B, H03C, H03D, H03F, H03G, H03H, H03J
	Cable and conductor	H01B11
	Semiconductor	H01L29-33, H01L21, 25, 27, 43-51
	Optic device	G02B6, G02F, H01S5
	Others	B81B7/02, B82Y10, H01P, H01Q
12. Electronic measurement		G01S, G01V3, G01V8, G01V15
13. Others	Computer input-output	G06F3/00, G06F3/05, G06F3/09, G06F3/12, G06F3/13, G06F3/18
	Other related technique	G06E, G06F1, G06F15/02, G06F15/04, G06F15/08-15/14, G06G7, G06J, G06K15, G06K17, G06N, H04M15, H04M17

Tab 2.4.1 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale del trasporto della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

2.5 RANGE TEMPORALE E AGGREGAZIONE DATI BREVETTUALI

Entrando nel merito dell'analisi brevettuale, è opportuno fare alcune considerazioni e circoscrivere condizioni al fine di elaborare una ricerca brevettuale più in linea con gli obiettivi dello studio, quali illustrazione della diversificazione tecnologica territoriale, in ambito green, dei trend emergenti e dell'evoluzione tecnologica nel settore di riferimento.

L'attività di ricerca inizia dal tenere conto soltanto di brevetti eco-innovativi attualmente attivi depositati dalle imprese globali dal 2001 al 2020 come compromesso tra disporre dati aggiornati e tenere conto delle dinamiche innovative passate in modo da avere un quadro evolutivo più ampio nel settore verde. Sulla base di questa scelta, l'attività di ricerca è basata sulla manipolazione dei dati appartenenti alla famiglia FamPat presente su Orbit in quanto comprende informazioni brevettuali più complete rispetto agli altri prodotti introdotti (PlusPat, FullPat e fulltext), provenienti da oltre 100 autorità competenti in tutto il mondo, inoltre, è possibile trovare documenti internazionali degli anni 2001. La ricerca non si limita ai brevetti verdi e digitali depositati in un singolo Paese, bensì all'estrazione documentale proveniente da qualsiasi Stato per far fronte all'analisi geografica, partendo dall'inserimento nella query dei codici delle classificazioni ENV-TECH e J Tag, esplicitati nelle tabelle dei paragrafi 2.3 e 2.4, insieme ad opportune restrizioni di domini tecnologici creati su Orbit sulla base di classi e sottoclassi IPC per individuare sia i brevetti appartenenti all'area innovativa più appropriata sia le invenzioni che abbiamo un considerevole impatto nella contribuzione alla sostenibilità ambientale. In altre parole, nella fase di ricerca dei brevetti ENV-TECH e J Tag è stato applicato il filtro "Environment Technology" in tutte le ricerche e, inoltre, per ciascuna sottoclasse delle classificazioni ENV-TECH e J-Tag sono stati applicati domini tecnologici inerenti più pertinenti in modo da trovare brevetti più coerenti alle sottoclassi.

Si costruisce così una ramificazione delle informazioni suddivise per aree, verde e digitale, e a sua volta catalogate per gruppi tecnologici relativi alle classificazioni (es. trasporti, processi termici o high speed computing). D'altra parte, affinché i dati brevettuali siano comparabili tra loro, è ragionevole confrontare codici di classificazione dello stesso livello gerarchico, e in questa ricerca si esaminano quelli inerenti ai sottogruppi per catturare tecnologie approssimativamente dello stesso dettaglio. È opportuno, inoltre, mettere in luce una considerazione rilevante riguardo la struttura documentale dei brevetti, ossia che ciascuna invenzione riporta più di un codice IPC o CPC i quali possono essere legati ad una eco-tecnologia piuttosto che una tecnologia digitale. Ciò è abbastanza plausibile perché un dispositivo può avere una componente meccanica, come ad esempio un ricevitore, ed una legata all'elaborazione di informazioni recapitate dal ricevitore, brevettata quest'ultima come tecnologia digitale.

In una prima fase di ricerca, dunque, l'unico parametro discriminante è stata l'appartenenza dei brevetti alla classificazione J Tag o ENV-TECH. Sebbene siano stati inseriti su Orbit Intelligence tutti i codici annunciati dall'OCSE nelle due classificazioni selezionate, il numero di brevetti totali è stato modesto rispetto all'immaginario comune in quanto cospicuamente veicolato dai filtri tecnologici adottati, raccogliendo così oltre seicentomila brevetti, con i dovuti filtri di domini tecnologici applicati e discussi in precedenza: 336571 brevetti digitali e 309764 brevetti verdi.

2.6 TRENDS TECNOLOGICI VERDI E DIGITALI IN OTTICA COMPARATA ALLE ATTIVITÀ BREVETTUALI

In seguito sono riportate delle prime osservazioni a valle della ricerca brevettuale (Fig. 2.6.1 e Fig. 2.6.3) suddivise nei sottogruppi delle rispettive classificazioni dei codici brevettuali e non sulla loro impronta meramente digitale o ecosostenibile.

Unrefined ENV-TECH Patents Mapping

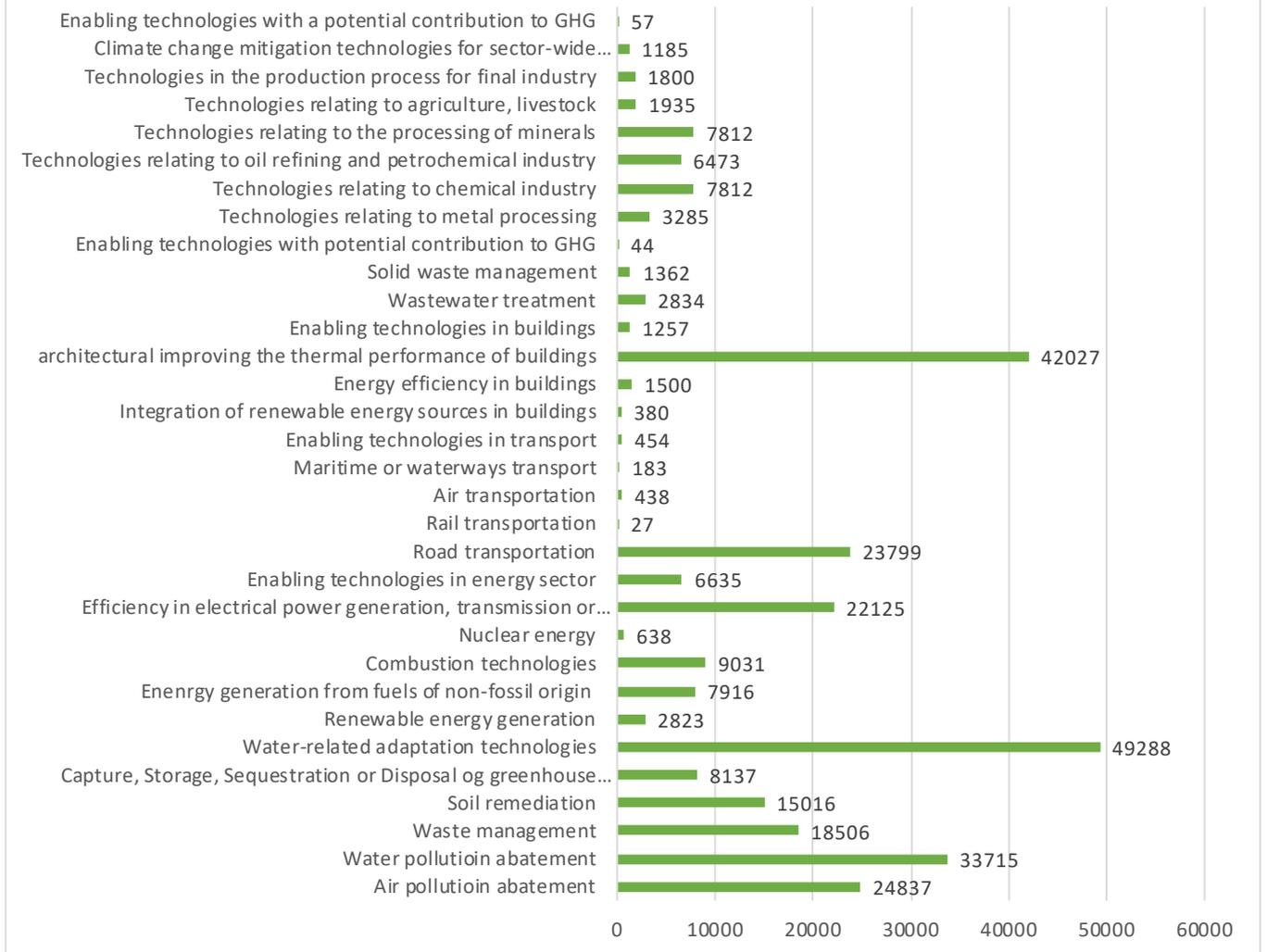


Fig. 2.6.1 Mappatura grezza di brevetti verdi nel mondo

In primo luogo, si può constatare che, con buona approssimazione, il numero di invenzioni digitali è distribuito più omogeneamente tra i vari campi di studi scientifici nel mondo delle telecomunicazioni ed elaborazioni delle informazioni rispetto al numero di dati brevettuali sull'innovazione verde. Focalizzando l'attenzione sul primo grafico (Fig. 2.6.1) e ragionando in termini aggregati, la macro area di gestione ambientale detiene circa il 32% dei brevetti totali e una motivazione plausibile può essere data dalle implicazioni che una impropria gestione del suolo, dell'aria, dei rifiuti e delle acque riversano sul raggiungimento di altri obiettivi di sviluppo sostenibile come, per esempio, quello legato all'adozione di tecnologie per la conservazione della specie marina, in quanto l'inquinamento idrico vicino le industrie chimiche, prodotto soprattutto da acido nitrico, acido cloridrico e ammoniaca, o la dispersione del petrolio in mare aperto provoca alterazioni patologiche o scomparsa di alcune specie viventi a causa della diminuzione della solubilità di O₂ e della modifica del pH dell'acqua. La mancanza di intervento contro l'inquinamento atmosferico ha effetti negativi anche nella produzione di colture adibite

alla biomassa per lo sfruttamento energetico perché, per mezzo delle piogge acide ricche di anidride solforosa, il suolo viene privato di calcio e potassio provocando una diminuzione dell'apporto di sostanze nutritive delle piante e, conseguentemente, il quantitativo di carbonio assorbito dai vegetali risulta insufficiente per compiere il cosiddetto <<ciclo del carbonio>> che avviene negli impianti alimentati da energia da biomassa. La quota parte maggiore dei brevetti di questa area risiede nelle tecnologie e metodi adibiti al controllo dell'inquinamento idrico e alla purificazione dell'acqua (water pollution abatement), come osservabile dalla figura 2.6.1. Questo trend è plausibile se si pensa alla domanda di acqua per uso industriale e agricolo notevolmente aumentata negli ultimi anni (ad oggi l'agricoltura rappresenta il 38% dei prelievi globali di acqua dolce) e, nel contempo, ad un quinto della popolazione mondiale che vive in condizioni di carenza idrica. A tal proposito, sono stati condotti numerosi studi sul trattamento delle acque sulla base di un approccio circolare che mira a minimizzare i rifiuti dei processi produttivi. In particolare, i brevetti raccolti fanno riferimento principalmente alla neutralizzazione delle acque reflue per regolare il valore del pH a un livello quasi neutro (5,8 - 8,6) in modo che possano essere scaricate in mare aperto senza causare alcun impatto negativo sull'ecosistema, al processo di ossidazione accelerato per la decomposizione delle sostanze chimiche organiche, alla trasformazione in fertilizzante di fanghi biologici e alle pulizie dei mari dalle fuoriuscite di petrolio.

La sezione ambientale delle tecnologie di adattamento legate all'acqua è quella che, a parità di numero di brevetti rispetto alle altre aree, sembra avere una minore valenza nel contesto sostenibile. Tuttavia la motivazione sottostante è dovuta semplicemente alla sola presenza dell'omonima famiglia ambientale che conta per il 16% dei brevetti totali raccolti per lo studio. Infatti, oggigiorno sussiste un'alta domanda per tecnologie di mitigazione degli eventi meteorologici estremi, che dovrebbero apportare miglioramenti nella capacità di stoccaggio e nella gestione delle dighe e delle opere di protezione dei fiumi, piuttosto che tecnologie per il riutilizzo dell'acqua alterata per condensare il vapore dallo scarico della turbina nelle centrali termoelettriche, riducendo così il prelievo di acqua dolce e gli impatti ad esso correlati sulla vita acquatica (ad esempio l'acqua calda uscente dalle centrali provoca un'alterazione della pressione degli animali marini e conseguente riduzione della fertilità).

In ultima analisi si può osservare come brevetti riguardanti soluzioni architettoniche per ottenere maggiore efficienza energetica nell'intero ciclo di vita di un edificio pubblico o residenziale e un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili siano largamente diffusi coprendo circa il 27% dei brevetti appartenenti alle tecnologie di mitigazione al cambiamento climatico. La necessità di ridurre continuamente il consumo di energia negli edifici è oggi al centro dell'attenzione pubblica, se si pensa che gli edifici siano responsabili del 38% del consumo totale di energia primaria (contro il 17% dell'industria ed il 43% dei trasporti), allontanando il settore dal suo contributo per arrestare il cambiamento climatico e raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi del 2015. Sebbene nel 2020 il Covid-19 abbia provocato un calo delle emissioni di CO₂ nel settore residenziale del 3% rispetto al 2019 (uno dei contributi meno significativi in relazione al trasporto terrestre e

alla produzione di energia elettrica), l'Agencia internazionale per l'energia (AIE) stima che per arrivare ad un saldo zero di carbonio nel settore dell'edilizia entro il 2050, le emissioni dirette di questo settore dovrebbero diminuire di circa il 6% all'anno fino al 2030. A tal proposito la bioarchitettura ha rappresentato un'ottima strategia in risposta al problema del risparmio energetico negli edifici.

E' interessante, infine, mettere in luce la dinamica i brevetti delle tecnologie a emissioni negative (capture, storage of GHG), ossia metodi che rimuovono fisicamente e chimicamente CO₂ o altri gas dall'atmosfera determinati da processi agricoli, dall'uso del suolo e dai mezzi di trasporto, seppur racchiudono soltanto il 2,6% di tutte le famiglie di brevetti verdi, in quanto è l'unica famiglia ad aver assistito ad un calo di domanda nel 2020 dello 0,55% (Fig. 2.6.2), mentre i trend tecnologici di tutte le altre famiglie, osservati con lo strumento di analisi di Orbit Intelligence, sono risultati in costante crescita.

Gli scienziati stimano che le negative emission technologies (NET), se aumentati con successo, potrebbero affrontare circa il 30% delle riduzioni di anidride carbonica necessarie per eliminare circa 10 miliardi di tonnellate di emissioni CO₂ ogni anno fino alla metà del secolo, secondo uno studio delle National Academies sulla base dei dati delle Nazioni Unite¹. A questi si aggiungono brevetti relativi a tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio (CCS) che rimuovono le emissioni di anidride carbonica direttamente da grandi fonti come le centrali elettriche a carbone e industrie pesanti. A valle della catena CCS vi sono serbatoi geologici appropriati come campi petroliferi, falde acquifere saline e giacimenti di carbone che restituiscono quantità significative di carbonio nei pozzi geologici. Recenti studi hanno dimostrato che i serbatoi geologici possono immagazzinare in sicurezza per molti secoli l'intera emissione globale di GHG e, pertanto, contribuiscono notevolmente alla riduzione delle emissioni di GHG.

In un approccio di economia circolare, invece, oltre che catturarla e stoccarla, è possibile anche riutilizzare la CO₂ per la produzione di polimeri (come policarbonati), per fissarla chimicamente in residui dell'industria mineraria, ottenendo materiali per l'edilizia, oppure per essere biofissate da parte di alghe microscopiche coltivate in modo intensivo all'interno di fotobioreattori attraverso un ventaglio di tecnologie innovative. A questi, inoltre, si aggiungono brevetti inerenti a tecnologie di rimozione di altri gas potenzialmente più dannosi dell'anidride carbonica a livello di riscaldamento, come le membrane di grafene che purificano le acque di scarico dalle molecole di metano, utilizzato successivamente per la produzione di energia termica o elettrica, garantendo il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza ambientale e sostenibilità.

Tuttavia, a fronte della consapevolezza che l'obiettivo delle zero emissioni nette entro il 2050 è "irraggiungibile", come dichiarato anche dall'Agencia Internazionale dell'Energia (IEA), senza una riduzione delle emissioni di CO₂ dai settori ad alta intensità energetica parallela alle tecnologie di sequestro del carbonio, dell'insufficiente capacità attuale di confinamento della CO₂, come dichiarato dalla Global CCS Institute, di tecnologie ancora molto costose per potersi imporre su larga scala (il costo per la rimozione di una tonnellata di carbonio è di circa 600 dollari), i ricercatori stanno cercando di trovare nuove soluzioni per la cattura e lo

stoccaggio al fine di massimizzare il rapporto rendimento/costi e ottenere tempi di ammortamento degli investimenti accessibili, ragione per cui si è assistito ad un numero minore di brevetti.

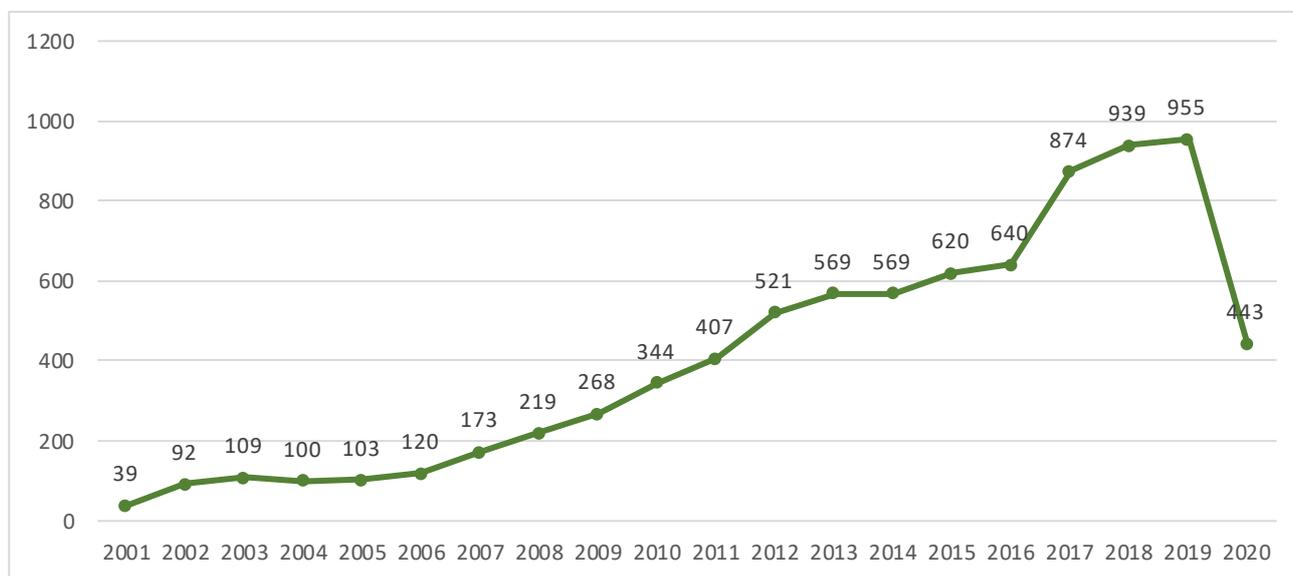


Fig. 2.6.2 Dinamica temporale dei brevetti annessi alla cattura ed immagazzinamento dei gas serra.

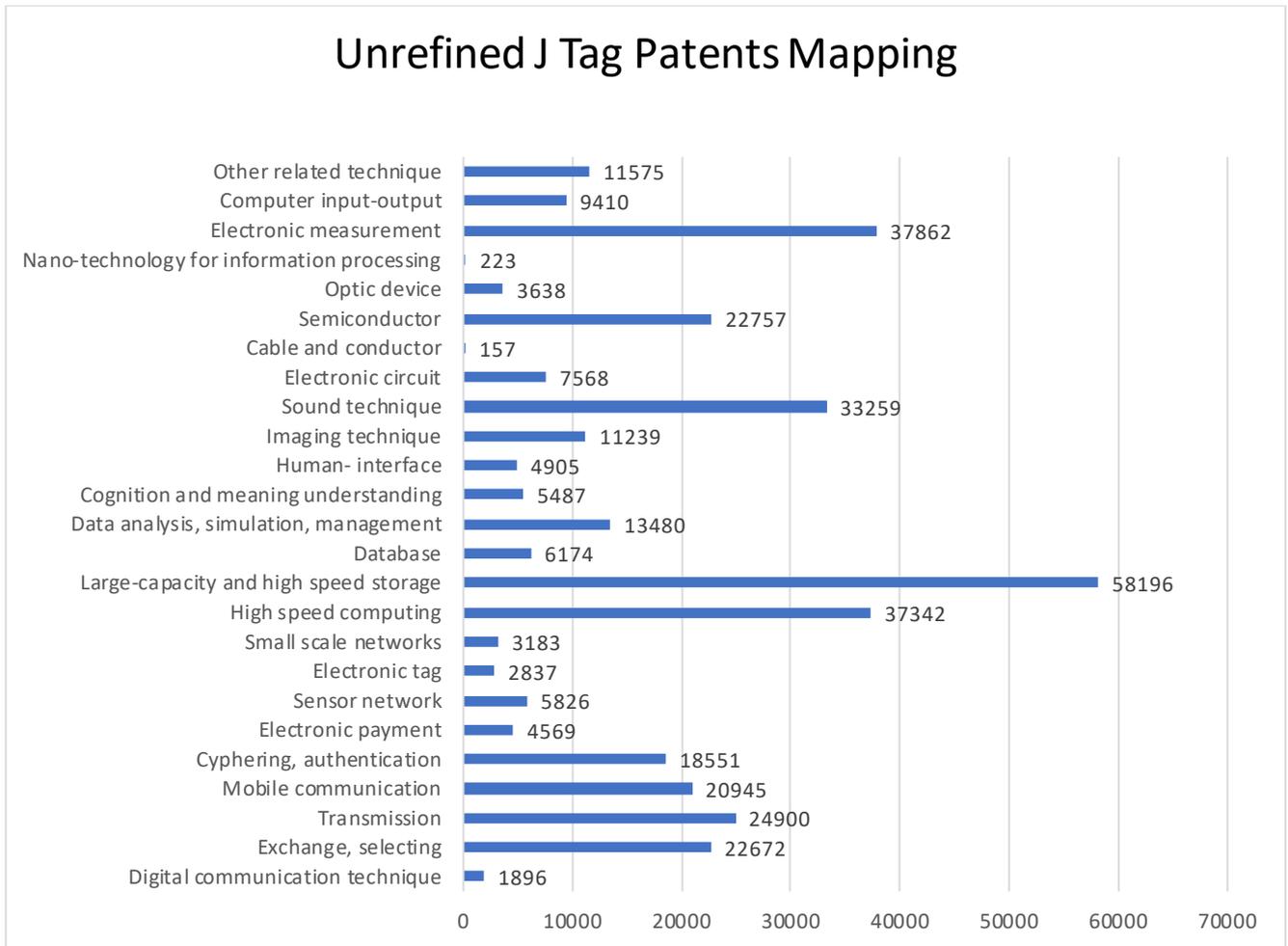


Fig. 2.6.3 Mappatura grezza di brevetti nel mondo

In secondo luogo, osservando il grafico a barre della figura 2.6.3, si può apprezzare una distribuzione più competitiva tra i brevetti delle sub-aree appartenenti alla classificazione J tag rispetto a quella ENV-TECH e una tendenza degli innovatori verso tecnologie digitali che hanno effetti a catena sociali ed ambientali. Il sottogruppo “Large-capacity and high speed storage”, racchiude tecnologie di memorizzazione simultanea dei dati, metodi per migliorare le prestazioni di condivisione ad hoc di contenuti tra dispositivi portatili, dispositivi e meccanismi di controllo per trasferimento di dati da e verso una macchina di elaborazione ad alta velocità, con il 16% di brevetti digitali totali. Da un lato, il panorama dell’archiviazione dei dati continua ad evolversi perché le aziende di tutto il mondo richiedono architetture più performanti al fine di soddisfare le crescenti esigenze di scalabilità nate con l’avvento di nuove tecnologie informatiche, come l’intelligenza artificiale e le fabbriche intelligenti. A tal proposito, secondo il report di Spiceworks³, “Data Storage Trends in 2020 and Beyond”, il mercato dell’hardware storage è fortemente indirizzato verso array di storage all-flash (ad elevate velocità di lettura-scrittura) per la gestione dei file, backup e archiviazione, con un incremento di domanda del 14% previsto entro il 2022, unità disco rigido ad alta capacità (almeno da 10TB) utilizzati

soprattutto nei data center con un guadagno futuro del 17% e cloud storage aziendale, i quali garantiscono accessi ai dati molto rapidi, con un'adozione pianificata del 20% (Fig. 2.6.4).

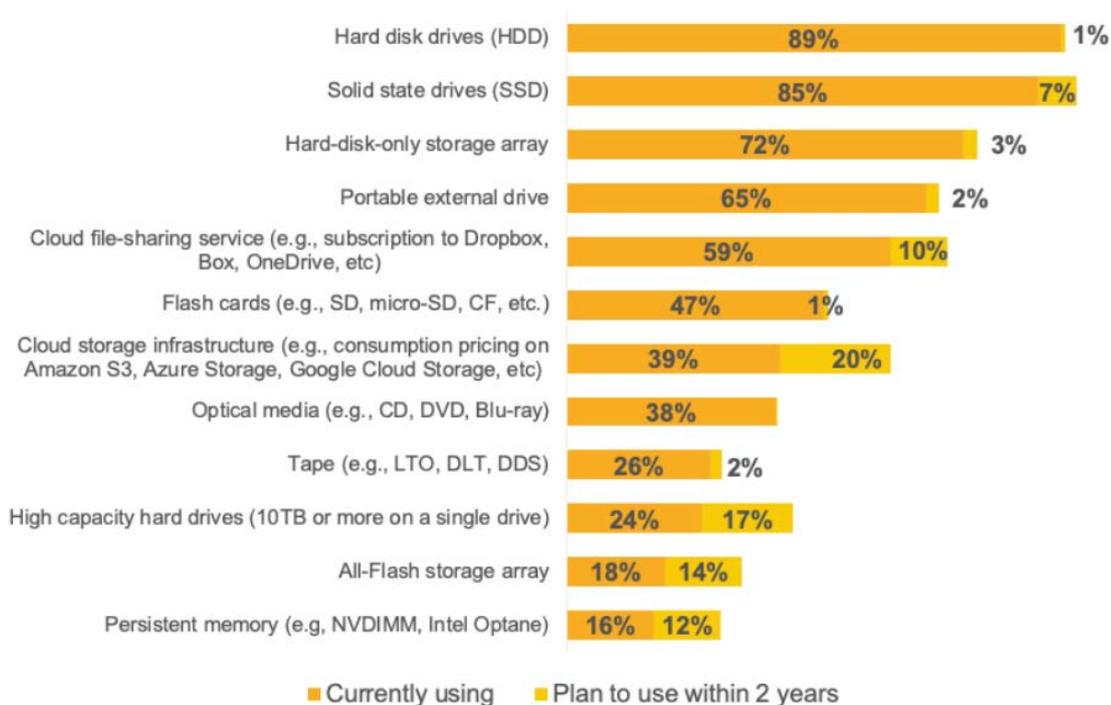


Fig. 2.6.4 Adozione pianificata e corrente delle tecnologie di storage da parte delle aziende

Dall'altro lato, vivendo nell'era digitale odierna, contornata da una miriade di servizi digitali quotidiani, dove i data storage stanno affrontando non solo il problema dei maggiori costi elettrici e la necessità di un'infrastruttura resiliente ma anche l'impatto indiretto spesso irreversibile sull'ambiente, con una generazione di emissioni di carbonio destinata a raggiungere il 14% di quella globale entro il 2040², la divulgazione di soluzioni alternative mediante brevetti e la realizzazione di sistemi di memorizzazione dati più efficienti giocano un ruolo cruciale nello sviluppo della circular economy e della sostenibilità ambientale. Per esempio, nella ricerca condotta, si possono apprezzare brevetti inerenti all'introduzione di elio (densità pari a 1/7 della densità dell'aria) nei dischi rigidi HDD che riducono notevolmente il consumo energetico rispetto a quelli tradizionali in quanto esso esercita una minor resistenza sui piatti rotanti.

A contribuire con grande partecipazione, circa l'11% del totale, allo sviluppo sostenibile vi è anche la famiglia di brevetti Electronic measurement (Fig. 2.6.3) che racchiude sistemi elettronici che sfruttano la riflessione o

¹<https://cen.acs.org/environment/greenhouse-gases/Capturing-carbon-save-us/97/i8>

³ <https://www.spiceworks.com/marketing/reports/storage-trends-in-2020-and-beyond/>

la radiazione di onde elettromagnetiche la cui lunghezza d'onda è irrilevante (es. onde radio o ultravioletto) per catturare immagini tridimensionali, trasmettere segnali audio, riconoscere oggetti e calcolare una certa distanza da un sistema di riferimento o un tempo di propagazione di un'onda diretta emessa da una sorgente ultrasonica senza essere influenzata da un'onda riflessa. In una prima riflessione, e forse anche quella più istintiva, l'impatto di questi sistemi sull'ambiente è sicuramente positivo perché, connessi ad un pool di dispositivi IoT, sono in grado di aiutare ricercatori, pianificatori urbani e scienziati non solo a prevenire, ma anche a risolvere problemi ambientali come l'inquinamento delle falde acquifere e la riduzione del cambiamento climatico. Per esempio, i sistemi di misurazione elettronica possono monitorare l'andamento delle deforestazioni abusive al fine di raccogliere dati ed elaborare misure in grado di ridurre e contrastarla, oppure catturare immagini tridimensionali di un terreno così da studiarne conformazione orografica, topologia e biodiversità con lo scopo di realizzare piantumazioni a sostegno dell'ambiente. In misura diretta, invece, gli attuatori di onde elettromagnetiche possono fornire un importante contributo allo sviluppo di un'agricoltura sostenibile, finalizzata al miglioramento della produzione agricola in zone della terra in cui i raccolti sono scarsi in termini di qualità e quantità, perché l'energia trasportata dalle radiazioni, se controllata, facilita il movimento delle molecole d'acqua ed aumenta la capacità di assorbimento da parte degli embrioni di piante, sotto specifiche frequenze e densità di potenza. Tuttavia, non si escludono potenziali effetti negativi sull'ecosistema da parte di queste tecnologie a causa delle esposizioni di onde elettromagnetiche e del tempo di permanenza delle stesse se uniti anche ad altri fattori di stress ambientali (es. calamità naturali o mancanza di nutrienti), ma la soglia di radiazione per cui si può generare danno è diversa per ogni pianta e dipende principalmente dalle caratteristiche genetiche e fisiologiche della specie.

Altro gruppo tecnologico che ha riscontrato un discreto successo nella ricerca condotta, con lo stesso ordine di grandezza dei sistemi di misura elettronici a livello di numero di brevetti e quota percentuale del 9% (Fig. 2.6.2), si identifica nel Sound technique, il quale racchiude metodi e strumenti elettromeccanici acustici come trasduttori per la misura di particolari variabili, trasduttori che producono onde acustiche ad una certa frequenza, dispositivi di riconoscimento vocale e generatori di parametri per la sintesi vocale di un testo. Naturalmente i campi d'applicazione di questi dispositivi sono di varia natura e, come si può constatare dalla ricerca, sono stati investite molte energie nello studio di acquisizioni di informazioni in contesti critici, ma è interessante incentrare l'attenzione su attività di impatto ambientale.

Un'ultima quota significativa della nostra analisi che sintetizza oltre il 10% dei brevetti digitali totali è attribuibile al gruppo High Speed Computing (Fig. 2.6.3) che si riferisce a metodi e tecnologie utilizzate da computer cluster per creare dei sistemi di elaborazione in grado di fornire delle prestazioni molto elevate. Fattori come l'aumento degli investimenti nell'industria Internet of Things (IoT), nell'intelligenza artificiale (AI)

²<https://datastorageeas.com/news-press-releases/green-data-centres-benefits-and-growing-trend-sustainable-data-centres-smarter>

e nelle applicazioni Big Data guidano la ricerca e lo sviluppo di soluzioni più efficienti per il calcolo ad alte prestazioni perché l'utilizzo di risorse di calcolo in grandi volumi deteriorano l'ambiente terrestre per via dell'enorme consumo di energia e conseguente generazione di GHG. In questa prospettiva, sono stati introdotti sistemi di elaborazione ad alte prestazioni (HPC) su infrastrutture cloud che consentono di accelerare il ritmo di calcolo fino a scalare migliaia di core ed evitano l'acquisizione di risorse di calcolo da parte di aziende che, nella maggior parte dei casi, sarebbero sottoutilizzate in quanto adibite all'elaborazione per singoli progetti e continuerebbero a richiedere un'energia continuativa. Non solo, nel settore automobilistico, alcune aziende non dispongono di sufficienti risorse di calcolo necessarie per eseguire attività di ottimizzazione dei sistemi di propulsione in un lasso di tempo accettabile, così, progetti europei, hanno dimostrato che modelli fisici all'avanguardia basati sul cloud High-Performance Computing sono in grado di ridurre le emissioni di CO₂.

Per quanto controintuitivo possa sembrare, questa elasticità di calcolo garantita dai sistemi cloud che consente di avviare rapidamente macchine virtuali aggiuntive in base all'esigenza non si traduce in una maggiore flessibilità rispetto al provider in loco, quando si tratta di framework preinstallati o di scelta dell'hardware. Per esempio, applicazioni per il riconoscimento degli oggetti e processi decisionali adibiti per una guida autonoma hanno necessità sia di configurazioni software e hardware specifiche che solo i provider in loco possono supportare sia di inferenze più veloci (fase in cui l'algoritmo giunge a conclusioni ed etichetta nuovi dati usando le conoscenze precedenti) con un tempo di reazione più breve. A tal proposito, i ricercatori si sono concentrati anche sull'adattamento dei chip moderni alle esigenze dell'intelligenza artificiale e l'analisi brevettuale riporta nuove idee per aumentare l'efficienza della rete profonda attraverso hardware specializzati capaci di archiviare e riutilizzare i dati localmente attraverso i core di elaborazione del chip, piuttosto che sprecare energia per trasferire i dati da e verso un sito di memoria esterno. Una di queste si identifica, per esempio, nella progettazione di un chip abbastanza flessibile da adattarsi ai requisiti di larghezza di banda di diversi modelli di deep learning, sia grandi che piccoli, con un dispendio di energia dieci volte meno a quello di una GBU mobile.

Al fine di avere un quadro generale sul contributo alla sostenibilità ambientale da parte dell'Italia, sono stati identificati i brevetti della classificazione J Tag e ENV-TECH pubblicati e depositati in Italia e messi a confronto con quelli pubblicati nel resto del mondo in maniera aggregata (Fig.2.6.5 e Fig.2.6.6), attraverso una procedura di normalizzazione a causa della discrepanza numerica degli stessi brevetti. Inoltre, i brevetti sono raggruppati per ciascuna famiglia di appartenenza in quanto risulta più chiaro per un confronto di aree tecnologiche. La tecnica di normalizzazione adottata è di tipo MIN-MAX scaling e si presenta nella sottostante forma analitica, dove x rappresenta il numero di brevetti totali di ciascuna classe esaminata. I valori estremi per ciascuna area (Global e Italy) di entrambe le classificazioni sono considerati come punti di riferimento del metodo.

In seguito, è riportata la forma analitica della normalizzazione.

$$Z = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

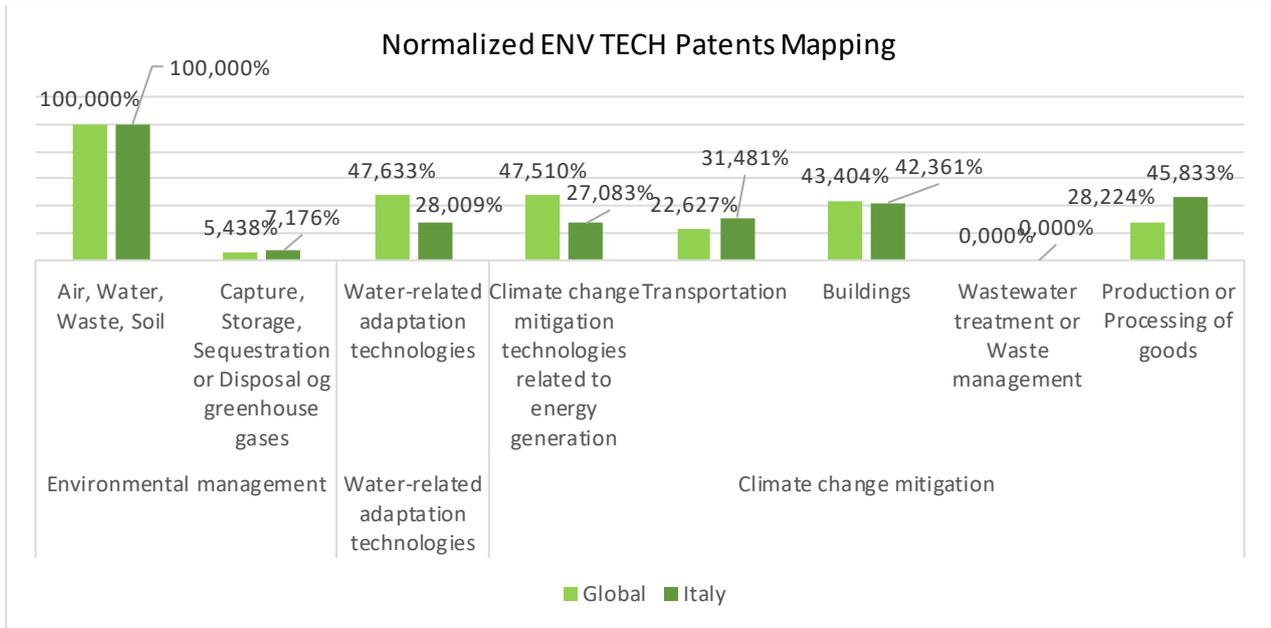


Fig. 2.6.5 Mappatura grezza normalizzata di brevetti verdi in Italia e nel mondo

Non è necessaria molta interpretazione per capire che le invenzioni tecnologiche per la riduzione dell'uso di combustibili fossili, per la gestione dei rifiuti produttivi e per il risparmio energetico siano tra quelle su cui l'Italia sta puntando maggiormente (Fig. 2.6.6). Quanto dichiarato dall'UIBM tra il 2009 e il 2018 il numero delle domande di brevetti green è cresciuto in Italia con una media pari al 9,6% del totale dei brevetti depositati. Secondo il rapporto GreenItaly 2020⁴, le imprese che hanno effettuato investimenti per la sostenibilità ambientale (il 47% delle imprese è under 35) hanno visto un incremento del fatturato più che proporzionale rispetto alle imprese non green e, tra queste hanno avuto maggior successo quelle orientate alla tecnologia 4.0. Dunque, l'accoppiata digitale e ambientale rafforza la capacità competitiva delle aziende italiane, premettendo che questa connessione tra tecnologie green e quella della quarta rivoluzione industriale diventerà la sfida per il futuro. In questa direzione, l'Italia risulta maggiormente orientata verso la digitalizzazione dei processi operativi abilitata dagli ambiti di automazione, dematerializzazione e cloud computing, utili per il decentramento produttivo che contribuisce alla riduzione di CO₂, e l'utilizzo di sensori e strumenti elettronici nell'ambito dell'IoT per monitorare l'impatto ambientale dell'inquinamento (electronic measurement e high speed computing in figura 2.6.6), legato non solo allo smog ma anche a tutte una serie di sostanze inquinanti derivanti da rifiuti e sorgenti radioattive, presenti in molti contesti della nostra quotidianità, da quelli ospedalieri fino agli impianti industriali.

⁴ <https://www.symbola.net/ricerca/greenitaly-2020/#>

Invece, nel resto del mondo si confermano le tendenze digitali brevettate sottostanti alla diffusione delle applicazioni I4.0 e IoT, high speed storage e high speed network.

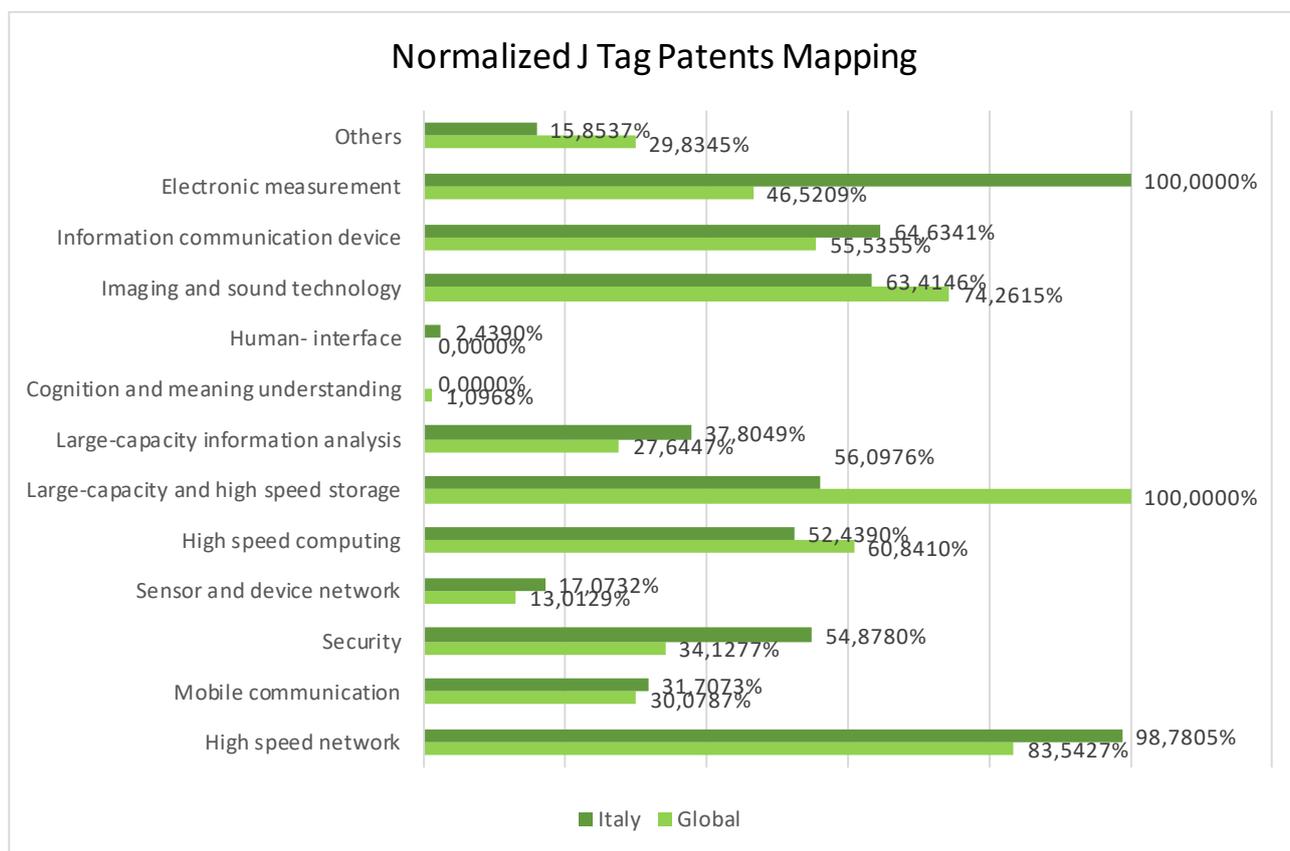


Fig. 2.6.6 Mappatura grezza normalizzata di brevetti digitali in Italia e nel mondo

L’approccio metodologico adottato ai fini dello studio della diffusione delle tecnologie verdi e digitali prevede, inoltre, un’accurata selezione di variabili di interesse contenute nei brevetti per poter cogliere mediante grafici aspetti di ubiquità geografica, emersione o sviluppo. In questa direzione, i brevetti ricercati su Orbit Intelligence vengono scaricati su una macchina locale in formato Excel a blocchi di 1000 tenendo conto delle informazioni più pertinenti per l’analisi:

- Numero di pubblicazione
- Data di pubblicazione
- Titolo
- Abstract
- Inventore
- Codice di classificazione internazionale (IPC)
- Codice di classificazione cooperativa (CPC)
- Paese d’origine dell’inventore
- Dominio tecnologico

- Data di priorità, momento di primo deposito
- Data di concessione
- Data di applicazione
- Paese di assegnazione

In uno step successivo, i singoli file excel vengono importati sul software STATA, convertiti automaticamente nel formato database DTA ed uniti mediante la funzione *append using "database_address"*, mantenendo sulla prima riga del foglio elettronico i nomi delle variabili citati sopra con l'obiettivo finale di creare un macro dataset per ciascuna classificazione ed elaborare statistiche con dati puramente verdi o digitali. A tal proposito, sono stati cercati ed eliminati nella colonna IPC del macro dataset digitale J Tag i codici IPC contenuti nella classificazione dei brevetti verdi (Tab. 2.3.1) in modo da ottenere tecnologie digitali che non avessero influenze verdi, ripetendo analogamente la procedura per il dataset ENV-TECH mediante l'ausilio di una funzione integrata su STATA:

```
drop if strpos (Variable Name,"Code IPC")>0
```

Per quanto concerne l'eliminazione dei codici CPC, l'operazione è stata resa possibile soltanto sui brevetti della classificazione J tag, eliminando da essa i codici CPC dei brevetti ENV-TECH, in quanto questi brevetti digitali sono costituiti, come risulta dalla tabella 2.4.1, solo da codici di riferimento IPC e, di conseguenza, l'eliminazione dei codici CPC della classificazione J tag sui brevetti verdi non è realizzabile, anche se ciascun documento brevettuale riporta al suo interno dati inerenti a codici CPC. Di conseguenza, il processo incompleto di separazione dei brevetti ha influenzato molto i risultati ottenuti da questa attività, confermando con buona approssimazione la stessa distribuzione grezza dei brevetti illustrata nelle figure 2.6.1 e 2.6.2. Infatti, STATA mostra una riduzione dell'1,27% dei brevetti ENV-TECH e del 2,86% dei brevetti J Tag con un calo complessivo pressoché irrilevante di 12583 brevetti su 646335 totali. Questo induce ad affermare che i trend sulla numerosità dei brevetti appartenenti a ciascuna famiglia tecnologica e le analisi precedentemente fatte restano con buona approssimazione invariati.

2.7 TECNOLOGIE ENV-TECH IN OTTICA SOSTENIBILE

In uno studio più dettagliato delle famiglie con il maggior numero di brevetti sulla base delle aree ambientali, è possibile osservare quali direzioni percorrono gli sviluppi tecnologici e su cosa la ricerca sta concentrando maggiormente le proprie energie.

In riferimento all'evoluzione temporale della famiglia brevettuale relativa ai metodi di abbattimento dell'inquinamento delle acque in figura 2.7.1, appartenente all'area di gestione ambientale, dinamiche particolarmente accentuate rispetto alla produzione di fertilizzanti e alla cattura del petrolio si riscontrano

nella neutralizzazione delle acque reflue, dove le concessioni brevettuali sono aumentate del 150% negli ultimi 4 anni. La ragione che spinge la ricerca a trovare soluzioni più efficienti per il trattamento delle acque è soprattutto legata al mantenimento della qualità delle risorse idriche, essenziale sia per la società che per la salute degli animali. Le conseguenze di un inadeguato trattamento delle acque reflue vanno dall'aumento della mortalità dei pesci, a livello locale, fino a problemi più diffusi, come la propagazione delle alghe che minaccia interi ecosistemi a causa dell'uso eccessivo di fertilizzanti da parte degli agricoltori.

Dalle attività di ricerca sono stati formulati diversi tipi di additivi, includenti prodotti chimici ad alte prestazioni (es. carbonato di calcio, acido solforico o acido cloridrico), prodotti a membrana ad osmosi inversa e calcare che sedimenta prodotti di reazione insolubili, i quali vanno a destabilizzare l'alcalinità degli effluenti industriali utilizzati con successo in tutto il mondo in molti ambienti di processo commerciale, municipale e industriale. I trattamenti di ossidazione, invece, dipendono sostanzialmente dal tipo di inquinante presente nell'acqua (es. ossidazione con cloro in presenza di cianuri e fenoli) e, in base al grado di difficoltà di ossidazione, si possono utilizzare catalizzatori di composti metallici per procedere velocemente a reazioni di sintesi. Sebbene i benefici di questi inibitori di polimeri organici e di sostanze tossiche siano certificati, le tendenze di mercato degli additivi per la purificazione ed il riutilizzo delle acque si stanno spostando verso la sostituzione di trattamenti chimici, che in alcuni casi rilasciano sottoprodotti nocivi (es. piombo, rame o cloroformio), con trattamenti biologici o naturali come la fitodepurazione che si basa sui principi estrapolati dall'ecologia degli ambienti palustri più o meno saturi di acqua dove gli inquinanti diventano sostanze nutritive per le piante coltivate appositamente, la fotocatalisi, tramite la quale nanopigmenti di biossido di titanio (TiO₂) scindono le molecole delle sostanze inquinanti in sostanze innocue. In un'ottica di economia circolare intervengono, invece, tecnologie sia per la depurazione delle acque reflue che per lo sfruttamento del loro contenuto energetico che fanno uso di microalghe per l'assorbimento di nutrienti (azoto e fosforo) e CO₂ (necessario per il loro metabolismo) da fanghi, effluenti zootecnici, digestati in uscita da impianti biogas e percolati di discarica e, successivamente, con le alghe in eccesso, producono biogas mediante il biodigestore anaerobico. Sempre in ottica circolare, gli aspetti innovativi sulla trasformazione di fanghi biologici in fertilizzanti fanno capo a sistemi che sfruttano l'idrolisi alcalina, calcio carbonato e trattamenti con acidi (es. acido solforico) per la produzione di biosolfato (gesso di defecazione) utile a migliorare le caratteristiche chimico-fisiche dei terreni alcalini, acidi e/o sabbiosi.

In ultima analisi, l'evoluzione dei metodi e delle tecnologie per il recupero delle fuoriuscite di petrolio ha assistito ad una forte ricrescita nel 2010 con un incremento brevettuale del 118% a seguito dell'esplosione dell'impianto di perforazione della British Petroleum Deepwater Horizon nel Golfo del Messico, rilasciando in mare 5 milioni di barili di petrolio greggio. Da quel momento, l'attività di ricerca scientifica si è intensificata e negli ultimi anni sono state sviluppate tecnologie ecosostenibili per un recupero del greggio veloce ed efficiente, nonché un riutilizzo del petrolio estratto, parallelamente all'impiego di solventi di idrocarburi che riducono la tensione superficiale acqua/petrolio agevolando la frammentazione di strati galleggianti di petrolio

in goccioline molto piccole (con diametro inferiore a 100 micron) che si disperdono negli strati d'acqua sottostanti. Alcuni componenti presenti nei disperdenti impediscono la ri-agglomerazione o coalescenza delle particelle mentre le correnti e il moto ondoso rinforzano l'azione disperdente. L'impiego di disperdenti facilita la penetrazione del petrolio nella colonna d'acqua riducendo la possibilità di formazione di emulsioni in superficie. Inoltre, viene aumentato il rapporto superficie/volume delle gocce di petrolio favorendone l'attacco da parte dei micro-organismi e la conseguente bio-degradazione. Seppur efficace, i solventi hanno un forte impatto ambientale per la loro tossicità in quanto sono generalmente derivati del petrolio. Invece, armi green contro il greggio in mare riguardano: barriere galleggianti magnetizzate con dei solenoidi, attraverso le quali è possibile contenere il petrolio ed indirizzarlo al sistema di rimozione, la lecitina di soia, un composto vegetale biodegradabile capace di scomporre il petrolio in piccole particelle e di assorbirle in tempi brevi, una spugna poliuretana oleofila a cellule aperte con un effetto idrofobo che può assorbire qualsiasi idrocarburo fino a circa 30 volte il proprio peso con un tempo di saturazione di pochi minuti e capacità di riutilizzo oltre 200 volte, ed il muschio di torba, il quale assorbe il petrolio, dissociandolo da altri liquidi, e lo incapsula in una crosta facilmente rimossa dalla superficie dell'acqua. Da un lato, queste iniziative rappresentano di certo un passo avanti nel tentativo di eliminare il petrolio dall'acqua in un modo ecologicamente accettabile, dall'altro, eventuali adozioni di semi geneticamente modificati per l'accelerazione della crescita del muschio di torba o della soia potrebbe compromettere la fertilità delle terre.

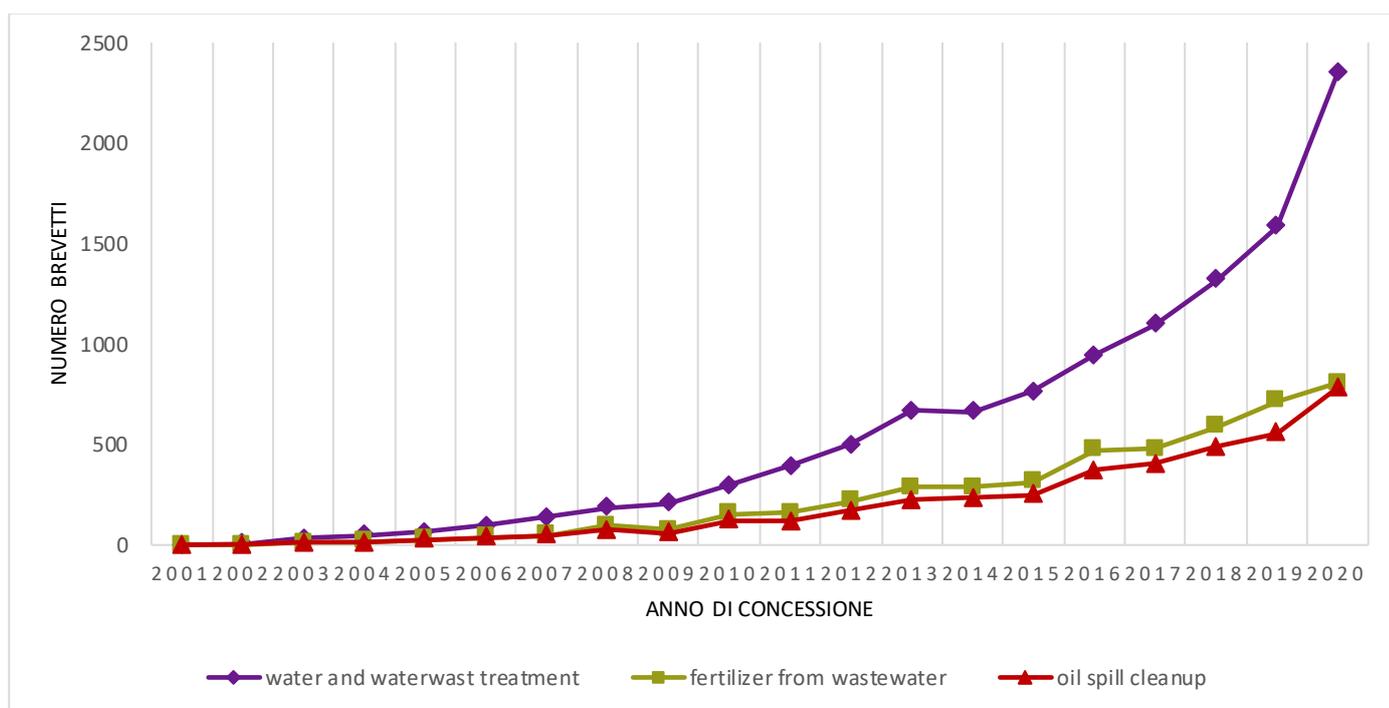


Fig.2.7.1 Evoluzione temporale dei brevetti verdi inerenti all'abbattimento dell'inquinamento delle acque.

Oltre a perseguire la ricerca verso nuove tecnologie per gestire l'inquinamento idrico, si vede dalla figura 2.6.1 che c'è un marcato interesse anche per lo sviluppo di tecnologie correlate alla conservazione e distribuzione delle risorse idriche e gli elementi che inducono a pensare a questa forte attività brevettuale riguardano sia la

scarsità d'acqua dolce nel pianeta (solo il 2,5% della risorsa complessiva), che determina la sopravvivenza della maggior parte degli organismi terrestri, sia il cambiamento climatico che favorisce lunghi periodi di siccità e brevi periodi di piogge violente, generando una grande perdita di acqua piovana perché l'acqua che cade violentemente sul terreno arido ha difficoltà ad essere assorbita e invece di ricaricare le falde acquifere tende a defluire verso i fiumi e poi finire in mare.

Nella figura 2.7.2 si può osservare una concentrazione dell'attività brevettuale negli ultimi sei anni sulle tecnologie di conservazione dell'acqua nei processi di irrigazione al fine di ridurre il suo consumo, specie nelle aree in cui vi è scarsità di risorsa idrica, coprendo il 40% dei brevetti inerenti alla stessa famiglia tecnologica e sui sistemi di raccolta d'acqua piovana (sempre al 40% di contribuzione) che favoriscono adeguate misure di conservazione dell'umidità del suolo evitando eventuali squilibri ecologici. Sebbene la quota parte dei brevetti assegnati nella classe tecnologica *Water-related adaptation technologies* per il recupero di vapore acqueo o per il trattamento delle acque di scarico dalle centrali termoelettriche si sia ridotta nel corso degli anni raggiungendo una partecipazione del 18% negli ultimi sei anni, la ricerca su soluzioni innovative più efficienti ha proseguito il suo cammino e il numero di brevetti pubblicati in tal merito è incrementato del 36% nell'ultimo anno (tab. 2.7.1). Invece, gli studi sui sistemi di distribuzione idrica e sul riciclo di acqua per uso domestico non sono rientrati tra gli interessi prioritari, tuttavia, anche le loro pubblicazioni brevettuali hanno avuto un trend crescente.

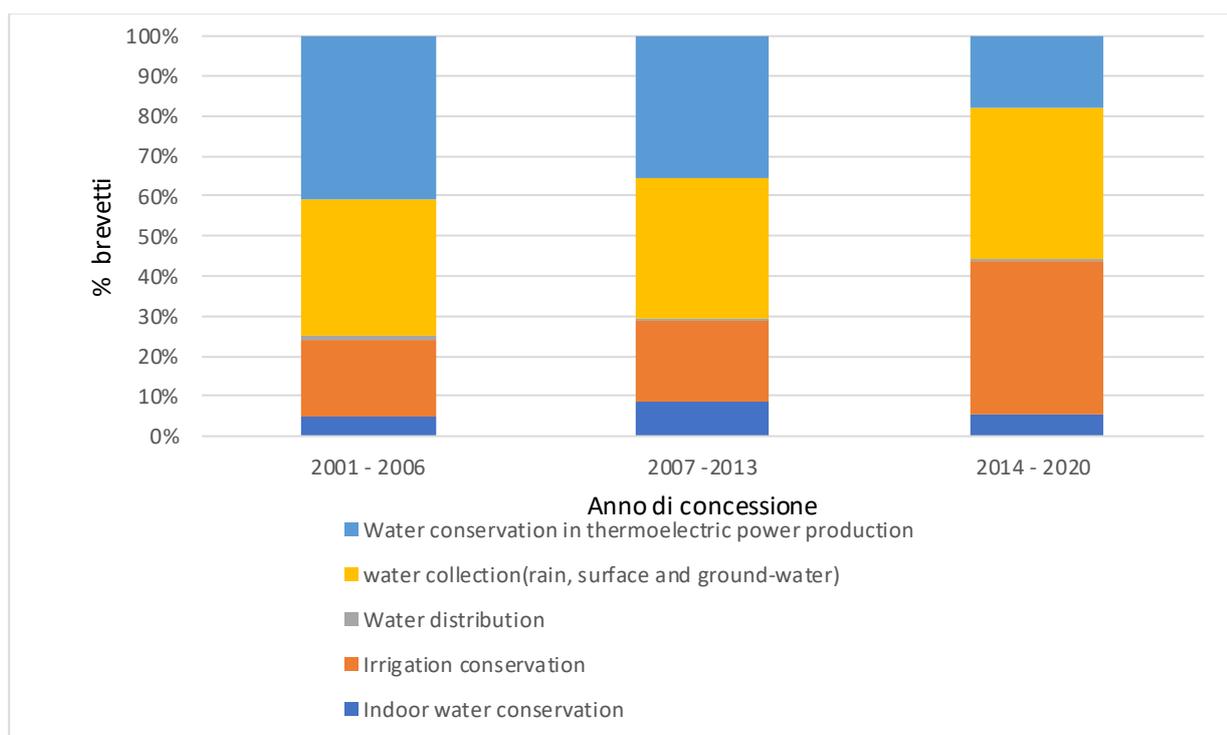


Fig.2.7.2 Evoluzione temporale dei brevetti verdi inerenti alle tecnologie per la conservazione e distribuzione dell'acqua.

Tecnologia	Incremento dal 2019 al 2020
Water conservation in thermoelectric power production	36%
water collection (rain, surface and ground-water)	103%
Water distribution	60%
Irrigation conservation	66%
Indoor water conservation	69%

Tab.2.7.1 Incremento percentuale dei brevetti verdi inerenti alle tecnologie per la conservazione e distribuzione dell'acqua.

La scelta di adottare sistemi di irrigazione sostenibili aumenterebbe l'efficienza delle attività agricole migliorando l'uso delle adozioni idriche e aumentando la produttività della terra. Una di queste tecnologie è rappresentata dall'impianto di microirrigazione a bassa pressione che favorisce bassi volumi d'acqua sotto forma di gocciolamenti discreti o continui sulla superficie del terreno riducendo al minimo le perdite per vento, deflusso, evaporazione o nebulizzazione eccessiva. Rispetto all'irrigazione a flusso per gravità, questo sistema utilizza fino al 50% in meno di acqua e sono in grado di risparmiare più di 100000 litri d'acqua all'anno. In un'ottima olistica, affinché questi sistemi abbiano un effetto positivo sulla sostenibilità ambientale devono risultare ben integrati alle risorse idriche, quali ad esempio i bacini idrografici, e alle misure di conservazione dell'umidità del suolo. Nel primo caso, i bacini idrografici devono servire l'intera area di drenaggio prestabilita attraverso strutture meccaniche (es. dighe di controllo, scarichi di deviazione), le quali sono preferite in base alla gravità dell'erosione, al tipo di suolo, alla topografia o al clima, e modificano la pendenza del terreno per convogliare l'acqua di deflusso in modo sicuro verso i corsi d'acqua o per ridurre la sedimentazione e la velocità di deflusso. Nel secondo caso, tra le pratiche di conservazione dell'umidità si identifica il contour bunding, linee di contorno adottate soprattutto in aree in pendenza che creano una rottura dell'acqua evitando la formazione di ruscelli e consentono più tempo all'acqua di depositarsi sul terreno.

Altra innovazione appartenente alle tecnologie di conservazione e risparmio dell'acqua (WCST) riguarda la subirrigazione o irrigazione ad infiltrazione, un processo di irrigazione che in cui l'acqua viene fornita direttamente nella zona della radice della pianta mediante un tubo sotto il suolo, mantenendo costantemente il terreno umido.

Per quanto concerne la gestione delle acque meteoriche, che riveste un ruolo particolarmente importante nelle città, dal momento che, in aree densamente urbanizzate, l'acqua non può essere assorbita da superfici artificiali (come le strade asfaltate), provocando un aumento della quantità e della velocità di deflusso superficiale, i rain garden rappresentano una soluzione efficiente per la raccolta d'acqua. Queste infrastrutture sono spesso inserite in depressioni superficiali del terreno, all'interno delle quali l'acqua piovana viene raccolta e trattata, sfruttando la filtrazione del suolo e l'assorbimento da parte delle piante. La capacità di fitodepurazione delle piante permette, inoltre, di migliorare la qualità delle acque urbane inquinate. Sempre nel quadro urbano, altra gestione sostenibile delle acque meteoriche è realizzabile attraverso pavimentazioni

permeabili, caratterizzate da una miscela ottimizzata di cemento con un aggregato fino (es. sabbia) in pochissime percentuali in modo da ottenere un sistema interconnesso di vuoti che permettono all'acqua di filtrare, capace di trattenere idrocarburi e metalli pesanti che si accumulano come sedimenti sulle superfici. Le caratteristiche tecniche del calcestruzzo drenante permettono all'acqua di ritornare in falda in modo naturale senza l'utilizzo di accessori di drenaggio e di essere sfruttata per l'approvvigionamento di acqua alle vegetazioni. Oltre a contribuire ad una raccolta totale di acqua meteorica, il cemento drenante di abbassare le temperature delle pavimentazioni di circa 3°C rispetto ad una pavimentazione tradizionale. In presenza di suoli poco permeabili, invece, intervengono fossi rinverditi abbinati a sottostanti trincee d'infiltrazione, posti ai lati della carreggiata. Lo strato superficiale di terreno organico funge da pretrattamento biologico delle acque meteoriche in grado di raggiungere un rendimento depurativo abbastanza alto, mentre la trincea d'infiltrazione aumenta la capacità d'accumulo dell'acqua che rilascia lentamente nella falda. Il forte interesse di studio maturato invece sulle possibili tecnologie a basso impatto ambientale per la conservazione dell'acqua impiegata nelle centrali a carbone è legato alla necessità di utilizzare grandi quantità di acqua per produrre energia. Il principale consumo di acqua (circa il 75%), all'interno di una centrale a carbone, è attribuibile al sistema di raffreddamento, sebbene esistano diversi processi che contribuiscono in maniera minoritaria. Nei sistemi tradizionali, come le torri evaporative, la concentrazione dei sali e delle altre sostanze presenti nell'acqua che avviene durante l'evaporazione rende necessario un periodico spurgo e reintegro con acqua fresca per evitare che si verificano depositi nell'intero impianto. Inoltre, in funzione della quantità di acque reintegrate nel circuito di raffreddamento può essere necessario aggiungere degli additivi (inibitori di cristallizzazione, corrosione ecc..) per arrestare fenomeni di crescita batterica causata da fosfato, calcio o particolato. Per ovviare a problemi di consumi ingenti di acqua, oltre che a possibili alterazioni dell'ecosistema dovuto allo scarico di reflui ad elevata temperatura, la tecnologia di raffreddamento a secco rappresenta una soluzione eco-compatibile per l'assenza di scarico d'acqua e l'assenza di additivi in quanto la formazione di incrostazione all'interno del circuito è limitata. Le apparecchiature composte da poche parti in movimento, il che riduce le probabilità di guasto, funzionano in quasi tutte le condizioni climatiche, dagli ambienti caldi e umidi a quelli estremamente freddi. Il vapore di scarico dalla turbina fluisce in controcorrente attraverso fasci tubieri alettati e raffreddati ad aria, indotta da ventilatori assiali, che attivano il processo di condensazione. In seguito, i condensati vengono recuperati all'interno di collettori collegati a un serbatoio di acqua calda, mentre le sostanze non condensabili risalgono attraverso una fila di deflegmazione per la condensazione finale. Ulteriori tipologie di tecnologie eco-compatibili riguardano i sistemi basati su membrana semi permeabile per il recupero delle acque reflue nelle centrali termoelettriche e successivo riutilizzo in diverse fasi del processo di generazione di energia, la quale fa scorrere l'acqua all'interno delle sue fibre avvolti a spirale dal diametro dell'ordine di nanometri e trattiene sostanze idrosolubili inquinanti come i nitriti creando un'acqua a basso residuo fisso, e i sistemi basati su agenti disidratanti che aiutano a trattenere il vapore acqueo ancora presente della torre di raffreddamento riducendo così il quantitativo di acqua per il reintegro.

Infine, è opportuno sottolineare che l'introduzione di sensori smart o sonde per la rilevazione di umidità del suolo piuttosto che per il monitoraggio continuo da remoto delle sostanze inquinanti, interconnessi a interfacce utenti, consentono di fornire preziose informazioni per la gestione dell'irrigazione negli agro-ecosistemi o, in generale, per l'ottimizzazione dei processi che fanno uso di risorse idriche, e conferire alto valore aggiunto alle tecnologie verdi adottate grazie al potenziale intervento di misure predittive. In merito ai brevetti verdi legati ad invenzioni architettoniche che conferiscono efficienza energetica agli edifici, si può osservare dalla figura 2.7.3, per le ragioni viste in precedenza, che il numero di concessioni brevettuali globali nel settore energetico dell'ambito residenziale negli ultimi anni sia triplicato e l'introduzione di idee sostenibili migliorerebbe sia la gestione dei picchi di domanda di energia sia lo sfruttamento dei fossili.

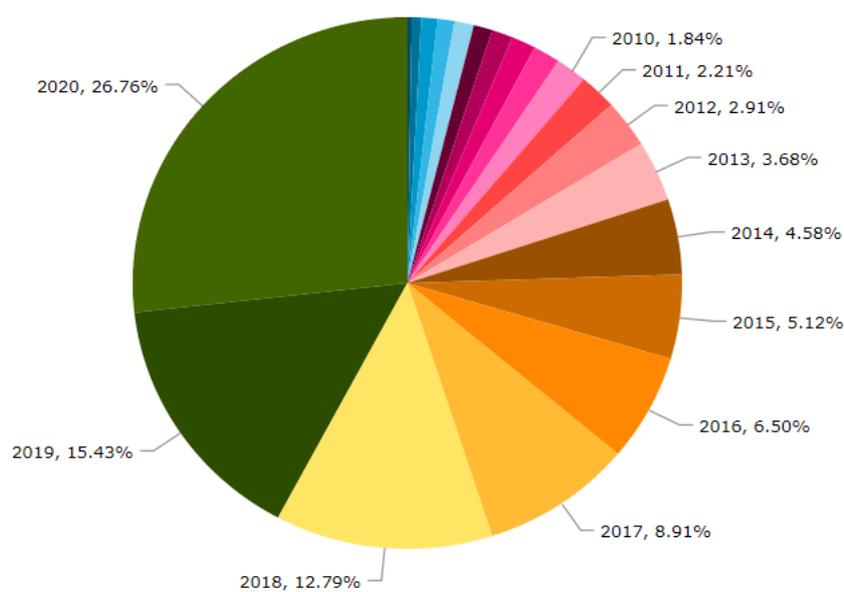


Fig. 2.7.3 Distribuzione dei brevetti riguardanti la thermal performance of building secondo l'anno di pubblicazione

I brevetti inerenti all'edilizia sostenibile forniscono una profonda comprensione delle invenzioni architettoniche che influenzano il risparmio energetico con un approccio passivo, ossia progetti di costruzione che conseguono obiettivi di fabbisogno energetico da impianti minimo, ma allo stesso tempo ottimizzano gli involucri, la forma e i sistemi di ombreggiatura degli edifici. Specificamente sono espone strategie progettuali e strumenti per sfruttare al meglio i guadagni solari passivi, l'isolamento termico delle strutture opache disperdenti, la tenuta dell'aria, del vento e la ventilazione meccanica. Nella più ampia ottica di favorire cicli produttivi circolari e minimizzare l'impatto sulle risorse del pianeta, rientrano tra questi brevetti anche differenti tecnologie di stoccaggio di energia termica, a seconda delle condizioni climatiche, che sfruttano la capacità di immagazzinamento del calore in forma chimica o sensibile (basato sull'energia cinetica delle molecole) e lo rilasciano in un secondo momento in assenza di impianti che funzionano con energia proveniente dai combustibili fossili, riducendo la dipendenza dalle centrali termoelettriche di circa il 30% dei consumi totali di un edificio. Tuttavia, il livello di sviluppo tecnologico di queste tecnologie off-grid

(disconnesse dalle reti energetiche nazionali) è estremamente eterogeneo: mentre alcune tecnologie sono mature o prossime alla maturità, la maggior parte di esse sono ancora nelle fasi iniziali di sviluppo e richiedono ulteriori miglioramenti prima di essere completamente realizzate e installate sul campo.

2.8 TECNOLOGIE J-TAG IN OTTICA SOSTENIBILE

Il fenomeno della crescita di applicazioni che si basano su machine learning, automazione e tecnologie machine to machine non fa che amplificare le esigenze a livelli estremamente più elevati di creazione di dati da dispositivi incorporati, capacità di calcolo ed infrastrutture di reti. Nella figura 2.8.1 si può osservare l'evoluzione delle attività brevettuali sulla base dell'anno di concessione che maggiormente hanno contribuito alle sfide tecnologiche, tenendo conto delle conseguenze ambientali della trasformazione tecnologica. La perdita di una parte di brevetti rispetto a quelli mostrati nella fase preliminare di raccolta dati su Orbit è dovuta al filtraggio dei soli dati contenenti l'ultima data di concessione.

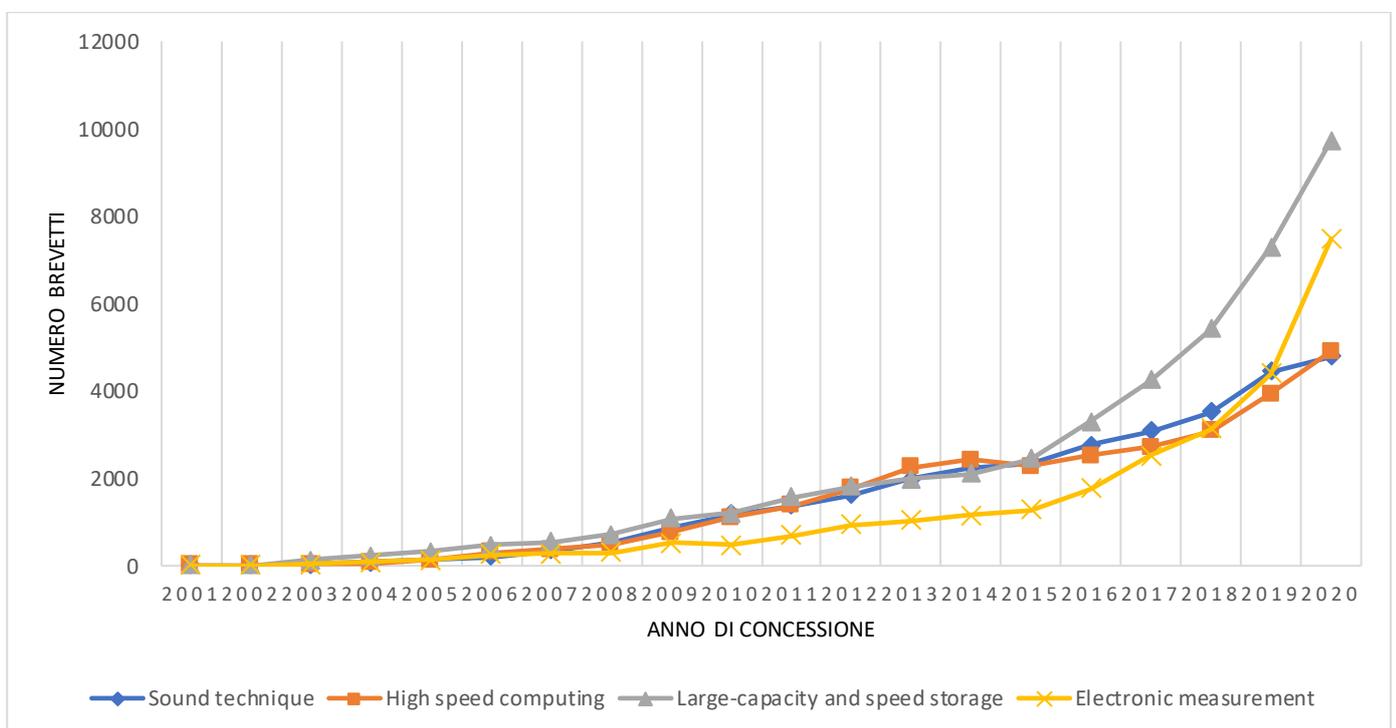


Fig. 2.8.1 Evoluzione temporale dei brevetti J tag più rilevanti.

Nell'analisi di mercato dello storage illustrata in figura 2.6.4, effettuata nel paragrafo precedente, si può constatare come, a fronte della necessità di una enorme archiviazione dati velocemente accessibile, la tecnologia hard disk drive tradizionale (HDD) non sia appetibile per i prossimi anni perché ha un impatto ambientale considerevole in termini sia di consumo energetico per la generazione di potenza e raffreddamento sia di utilizzo di materiali tossici difficili da gestire a fine ciclo di vita (es. palladio e rame).

Tuttavia, studi effettuati sull'aumento della densità areale (ossia la quantità di dati archiviati per pollice quadrato) hanno condotto allo sviluppo di brevetti tecnologici che prevedono ancora l'impiego del disco rigido e che rientrano nel gruppo high capacity hard drives, e non solo cambiamenti infrastrutturali come le unità a stato solido (SSD) i quali hanno considerevolmente ridotto i consumi energetici e aumentato il ciclo di vita. In primo luogo, una delle tecnologie con più brevetti riguarda la Perpendicular Magnetic Recording (PMR) che, diversamente dalla convenzionale registrazione longitudinale dei dati sul disco rigido, consente di allineare gli elementi magnetici verticalmente senza che essi si influenzino vicendevolmente, incrementando la densità superficiale e riducendo il quantitativo di materiali adottati. La testina di scrittura e il disco interagiscono fortemente tra loro, il che porta stabilità contro circostanze ambientali come la temperatura e la pressione dell'aria, che a loro volta influiscono sulla spaziatura della testina e del mezzo. Altra tecnologia mirata ad aumentare la densità dei dati negli hard disk riguarda la two-dimensional magnetic recording (TDMR), introdotta per migliorare la tecnologia HDD convenzionale. Un TDMR consente, infatti, una maggiore capacità di memorizzazione sul disco magnetico rotante grazie alla combinazione simultanea di segnali provenienti da più teste di riletture e migliora il recupero di una o più tracce di dati. Al fine di superare la capacità di archiviazione dei dischi magnetici e migliorare la latenza, alcuni ricercatori hanno di recente brevettato la tecnologia Heat-Assisted Magnetic Recording (HAMR) in grado di generare una densità di memorizzazione di oltre 13 Tb / in² (Terabit su pollice quadro), più di dieci volte la capacità dei dispositivi odierni, a parità di dimensione. In questa tecnica, un laser scalda la superficie un singolo grano al di sopra della temperatura di Curie, un punto critico che riduce temporaneamente la coercitività del grano (intensità del campo magnetico inverso necessaria per annullare la magnetizzazione di un materiale), in maniera tale da evitare il trilemma di registrazione magnetica¹. In questo modo è possibile aumentare ancora di più la densità dei dati, dato che la tecnologia "heat-assisted" permette una più precisa manipolazione degli elementi magnetizzati ottenendo un rapporto potenza/prestazioni più elevato rispetto agli hard disk tradizionali.

Gli high capacity hard drives rientrano nella componentistica hardware fisica dei cloud storage, nei quali i dati sono archiviati a lungo termine al termine dell'elaborazione, e, dunque, questo crea una sinergia nello sviluppo di progetti legati ai metodi di archiviazione nel cloud. È bene ricordare che i cloud storage, sebbene rappresentino sistemi di archiviazione accessibili molto rapidamente su vasta scala, sono implementate in apparecchiature che generano molto più calore degli altri sistemi di storage ed il raffreddamento attraverso sostanze chimiche refrigeranti genera dal 40% all'80% di consumo energetico a seconda del clima naturale. Quindi, soltanto un uso combinato di infrastrutture cloud, energia rinnovabile e gestione adeguata dei refrigeranti chimici può segnare la svolta di questi sistemi verso la sostenibilità ambientale. Infine, l'attività brevettuale interessa anche lo sviluppo di tecnologie persistent memory ad oggi utile a molte applicazioni in quanto permette di archiviare enormi set di dati con relazioni molti-a-molti, ed accedervi utilizzando istruzioni di memoria anche dopo la fine del processo che le ha create o modificate, eliminando la necessità di frammentare i dati in pezzi di dimensione ridotta per registrarli su SSD o HDD. In altri termini,

l'accesso alla persistent memory è molto più rapido rispetto alla memoria non volatile ad accesso casuale e l'estensione del suo dominio alla cache della CPU ridurrebbe di molto la richiesta di energia. Nella figura 2.8.1 si può inoltre osservare una forte impennata delle ricerche e degli sviluppi di tecniche innovative condotti nell'ambito delle misurazioni elettroniche, essenziale nella lotta al cambiamento climatico. Le azioni previste in questo contesto includono: osservazioni continue e monitoraggio a lungo termine dell'attività solare per migliorare la nostra conoscenza e comprensione dell'influenza della radiazione elettromagnetica del sole sull'ambiente terrestre, compreso il clima; osservazioni continue per caratterizzare i cambiamenti nell'atmosfera, negli oceani e nella superficie terrestre e l'uso di tali informazioni per la modellizzazione del cambiamento climatico; e osservazioni del cambiamento nello strato di ozono e dei suoi effetti sull'ambiente e sulla salute umana; e ottimizzazione di energia, acqua, carburante e di attività di coordinamento (es. traffico). La valutazione del cambiamento della copertura del suolo e la comprensione delle sue dinamiche sono riconosciuti come requisiti essenziali per la gestione sostenibile delle risorse naturali, la protezione dell'ambiente, la sicurezza alimentare, cambiamento climatico e programmi umanitari.

I sistemi di misurazione elettronica adottati sono costituiti da sensori (satellitari o terrestri) che catturano i segnali elettromagnetici provenienti da un trasmettitore sotto forma di onde radio o microonde, a seconda da quale sorgente provengano (es. onde radio proveniente dal sole e onde ad alta frequenza, come le microonde, provenienti dalla terra), e li trasformano in segnali elettrici di caratteristiche opportune. Tra i brevetti emerge un metodo che sfrutta sensori satellitari ad alta frequenza adibiti all'osservazione degli eventi meteorologici per catturare il segnale di dispersione sotto forma di microonde (150-170GHz) emesso dai chicchi di grandine all'interno delle nubi temporalesche. L'onda elettromagnetica proviene dall'attività radioattiva della Terra e, a fronte di un temporale, questa viene perturbata in proporzione diretta al diametro della idrometeora ghiacciata provocando una forte depressione della luminosità in salita dalla nuvola al satellite. L'utilità di questa nuova metodologia sta nel creare in seguito un database sulla distribuzione globale delle nubi produttrici di grandine e migliorare la conoscenza degli effetti del cambiamento climatico sulla formazione di grandine in modo da poter attuare opportune misure. Altra tecnica aggiunta ai metodi di monitoraggio dei cambiamenti climatici riguarda la misurazione della temperatura al di sopra della ionosfera mediante onde radio emesse da trasmettitori di navigazione. La ionosfera subisce una contrazione verso l'atmosfera con aria più densa all'aumentare della concentrazione in essa di molecole contenenti atomi di fluoro che creano una separazione molto ampia delle cariche elettriche favorendo l'assorbimento delle onde elettromagnetiche e questa contrazione è direttamente proporzionale all'ampiezza delle onde radio raccolte a terra da ricevitori. Quindi segnali radio di ricezione più deboli sono indicativi di un maggior riscaldamento globale e aggiungendo le misurazioni del suolo si può avere un quadro più olistico.

I brevetti inerenti ai metodi e strumenti elettromeccanici acustici (sound technique), invece, sembrano mostrare un andamento più costante rispetto a quelli dello storage e delle misurazioni elettroniche. Come i sistemi di misurazione elettronica, essi rivestono ad oggi un ruolo importante nel reperimento di dati sensibili a fenomeni di inquinamento globale. Per esempio, le informazioni sulla temperatura dei mari sono fondamentali per il cambiamento climatico in quanto il 90% dell'energia intrappolata nell'atmosfera dai gas serra (GHG) viene assorbita dai mari, ma spesso i dati sono scarsi per via della difficile reperibilità, soprattutto nelle acque più profonde. Così, lo sviluppo di idrofoni, ossia trasduttori piezoelettrici che traducono in energia elettrica l'energia meccanica derivante da un mutamento di pressione, permette di sfruttare la velocità delle onde sonore nel mare prodotte dai terremoti sottomarini (circa 10000 a livello globale ogni anno), la quale cambia a seconda della temperatura (la velocità del suono aumenta nelle acque calde), misurando le variazioni di temperatura in modo molto accurato. La conoscenza acquisita da queste misurazioni contribuirà a rafforzare politiche e strategie nazionali e locali per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Altro campo d'applicazione riguarda quello sulla sicurezza delle sostanze tossiche trasportate o stoccate, diventato particolarmente importante nel quadro olistico della gestione ambientale. Molti dispositivi per analizzare gas inquinanti dell'aria sono limitati per quanto attiene le loro dimensioni, versatilità e usabilità. Tra le ricerche condotte risultano brevetti sulla spettrometria laser nel medio infrarosso, combinata con la tecnologia fotoacustica, utilizzata per lo sviluppo di dispositivi portatili per il rilevamento di gas a livello di sub-parti per miliardo (ppb). Per rendere possibile l'identificazione, il laser, preventivamente catturato e posto all'interno di una camera fotoacustica, irradia il gas con una luce infrarossa a frequenze corrispondenti a quelle che si trovano nelle molecole di gas noti. Se il gas campione è presente nella camera, una parte dell'energia infrarossa viene allora assorbita dal gas, portando a un incremento circoscritto di energia termica, pressione e temperatura. La variazione di pressione nel campione, indotta dall'eccitazione vibrazionale delle molecole, viene rilevata da un sensore ad effetto fotoacustico che trasforma l'energia luminosa in onde sonore con la stessa frequenza, successivamente convertite in segnali elettrici per mezzo un microfono 100 volte più sensibile dei microfoni convenzionali.

Infine, osservando l'andamento della pubblicazione dei brevetti sistemi di elaborazione ad alte prestazioni (HPC), molto simile a quello del sound technique, la crescita è guidata dall'evoluzione di tecnologie come Internet of Things, intelligenza artificiale, machine learning e imaging 3D per il loro scopo di elaborare una enorme quantità di dati in tempo reale ed effettuare simulazioni di dinamiche previsionali. La proliferazione di IoT medico, ad esempio, ha determinato una crescita esplosiva di dati relativi all'assistenza sanitaria a tal punto che un consumatore sanitario nei Paesi sviluppati andrebbe statisticamente a creare 1200 terabyte di dati lungo la sua carriera. I sistemi HPC forniscono capacità di memoria e prestazioni adeguate a gestire carichi di lavoro ad alta intensità di dati ma l'elevato grado di potenza di calcolo disponibile dei supercomputer arriva a discapito del consumo di grandi quantità di energia elettrica. Quindi, adottando un approccio olistico, nuove architetture che vanno dall'hardware al software e componenti dell'infrastruttura per il raffreddamento sono

state progettate per ridurre il consumo energetico complessivo dei sistemi e dei siti HPC. Su quest'ultimo aspetto, la tecnologia di raffreddamento a liquido dei componenti del HPC cluster offre una migliore conducibilità termica rispetto all'aria e, di conseguenza, rende sostenibile un incremento delle prestazioni. Per quanto concerne l'architettura, sulla base di nuovi algoritmi del firmware per il ridimensionamento dinamico della cache o il ridimensionamento dinamico della tensione per il sottosistema di memoria (cache + main memory) e metodi di stima della potenza che tengono conto della granularità del thread (unità in cui un processo può essere suddiviso), i processori moderni sono in grado di ottimizzare metriche come potenza, energia e prestazioni. Per gestire, invece, l'energia complessiva assorbita dal computer cluster che utilizzano la tecnologia HPC, sono stati sviluppati metodi di smart standby che fanno leva sul concetto di modalità inattiva, ovvero un intero dispositivo o il suo componente non trasmette più dati quando risulta inattivo, riducendo il fabbisogno energetico, e metodi di ridimensionamento dinamico della potenza che adottano il consumo energetico dei dispositivi al carico della corrente utilizzando tecniche di velocità adattiva (AR) o di inattività a bassa potenza (LPI). La velocità adattiva riduce le richieste energetiche ridimensionando la capacità di elaborazione di uno specifico nodo di calcolo e la velocità di trasmissione o ricezione di dati da/verso l'interfaccia di rete, mentre l'inattività a bassa potenza imposta il dispositivo in una modalità a basso consumo. Il rapido sviluppo di veicoli autonomi come automobili e droni, sistemi di assistenza alla guida e in generale della robotica di assistenza domiciliare (es. aspirapolvere, tosaerba) ha portato al porting di vari algoritmi di visione artificiale in ambiente embedded, ossia su piattaforme integrate ai dispositivi di utilizzo. Nuovi strumenti e metodi di sviluppo software hanno permesso questo passaggio rendendolo efficiente dal punto di vista energetico.

2.9 INFLUENZE INCROCIATE E ASPETTI DI SVILUPPO TERRITORIALE

A valle delle operazioni di filtraggio dei dati, è interessante analizzare l'evoluzione temporale delle tecnologie verdi e digitali pure, messe a confronto con le loro influenze sugli scenari green e digitali. A tal proposito è riportata la distribuzione brevettuale sulla base sia del più recente anno di cessione, fase in cui l'ente del Paese di riferimento valuta il rapporto di ricerca di anteriorità effettuata dall'ufficio competente (EPO per i brevetti europei) e il parere preliminare di brevettabilità, nonché la risposta alle obiezioni, sia dell'anno di priorità, momento in cui si deposita la domanda di brevetto d'invenzione o di modello di utilità nell'Ufficio brevetti nazionale e si acquisisce di un diritto di 12 mesi per estendere la propria invenzione in altri Paesi. Nella figura 2.9.1 sono riportati gli andamenti temporali descritti sopra riguardo i brevetti verdi estratti dal dataset J-Tag e i brevetti digitali estratti dal dataset ENV-TECH. Le estrazioni dei brevetti sono state effettuate su STATA nel seguente modo: applicazione del comando *keep if strpos (IPCInternationalclassification or CPCCooperativeclassification,"IPC_code_green or CPC_code_green ")* sul dataset J-Tag per mantenere solo i

dati brevettuali che avessero almeno un codice IPC e CPC verde, ed applicazione del comando (*IPCInternationalclassificatio,"IPC_code_digital"*) sul dataset ENV-TECH per mantenere solo i brevetti che contenessero almeno un codice digitale (ricordando che il sistema di classificazione J-Tag ha solo codici IPC come visibile in tabella 2.4.1). E' bene sottolineare che tutti i documenti brevettuali, sia verdi che digitali, contengono al loro interno *IPCInternationalclassificatio* e *CPCCooperativeclassification*.

Successivamente, questi brevetti estratti sono stati conteggiati per anno di concessione o anno di primo deposito, e durante l'operazione sono stati eliminati i brevetti che contenessero missing values in corrispondenza dell'anno di concessione o anno di primo deposito. A questo punto, i dati numerici sono stati trasferiti su excel per realizzare i grafici temporali della figura 2.9.1.

Dal grafico in figura 2.9.1 si può osservare una discrepanza crescente sull'anno di concessione tra i brevetti ICT che contengono almeno un codice verde (linea gialla) e brevetti verdi che contengono almeno un codice digitale (linea rossa). Stessa cosa accade per gli andamenti temporali sulla base della data di priorità, dove la linea verde chiara e verde scura non coincidono perfettamente.

Ci sono diversi fattori che possono causare questo gap:

- I brevetti del dataset J-tag contengono più missing values in corrispondenza della data di concessione rispetto ai brevetti del dataset ENV-TECH. Stessa cosa per l'anno di priorità (questo fattore ha influenzato poco).
- I brevetti verdi del dataset ENV-TECH contengono meno codici IPC o CPC digitali al loro interno e questo porta ad avere la linea rossa inferiore alla linea gialla e la linea verde scura inferiore alla linea verde chiara (questa è la causa principale del gap tra linea rossa e gialle, linea verde scura e chiara).
- Il sistema di classificazione J-Tag è costituito da soli codici IPC (Tab. 2.4.1), a differenza di quello ENV-TECH che ha codici IPC e CPC (Tab2.3.6). Questo vuol dire che quando si estraggono solo brevetti digitali che contengono codici ENV-TECH questi risultano in numero superiore rispetto al numero di brevetti verdi che contengono codici digitali perché il numero di codici verdi è nettamente maggiore.

Per quanto concerne invece l'andamento dei brevetti verdi e digitali basato sull'anno di priorità negli ultimi tre anni, dal 2018 al 2020, completamente opposto rispetto all'andamento di concessione, possibili fattori possono essere legati a:

- Tempistiche di rilascio concessioni che variano tra i 24 e 36 mesi, questo vuol dire le linee gialle e rosse misurano brevetti che sono stati depositati almeno un anno prima. Quindi difficilmente andamento di brevetti riferiti ad anno di concessione e anno di priorità abbiano lo stesso andamento.
- Minor numero di brevetti depositi negli uffici negli ultimi tre anni. L'ultimo anno con buona probabilità è imputabile alla diffusione del coronavirus.

Il gap ottenuto tra linea rossa e linea gialla (Fig.2.9.1) appare ragionevole se si pensa che energia rinnovabile, efficienza energetica piuttosto che metodi di smaltimento dei rifiuti elettronici possano favorire la crescita ecosostenibile e il miglioramento delle prestazioni riguardo la connettività dei prodotti, il monitoraggio, i calcoli computazionali utili ad effettuare previsioni o conferire autonomia di azioni alle macchine e i data center in un'ottica di upcycling, che mira ad aumentare il valore ambientale dei rifiuti inutilizzabili, e di economia circolare. Non solo dalla generazione di energia rinnovabile beneficia il progresso digitale, ma anche dallo stoccaggio mediante batterie di accumulo e dalla distribuzione nelle reti nazionali, sbloccando soluzioni IoT che fungono da acceleratore per l'aumento dell'efficienza generale del processo end-to-end nella gestione dell'energia. Per esempio, attraverso concetti termodinamici e componenti fisici è stato brevettato un micro data center ecologico fatto di server ultima generazione (CPU/GPU), che funziona come una caldaia, recuperando, immagazzinando e riutilizzando il 100% del calore generato dai server per riscaldare edifici. Questa infrastruttura permette di valorizzare un'energia di scarto inevitabile (il calore prodotto dai server) prodotta localmente e di sostituire i combustibili fossili per riscaldare le abitazioni. Moltiplicando micro data center vicini a persone che necessitano di potenza di calcolo, il concetto di data center distribuito diventa in questo modo più resiliente, stabile e potente, riducendo i rischi legati ai data center centralizzati (es. incendio). Nel campo della distribuzione, invece, sono stati divulgati metodi e apparati per la comunicazione di informazioni su una rete di distribuzione di energia, i quali si sono serviti dello studio dei dispositivi di generazione di energia al fine di controllarli.

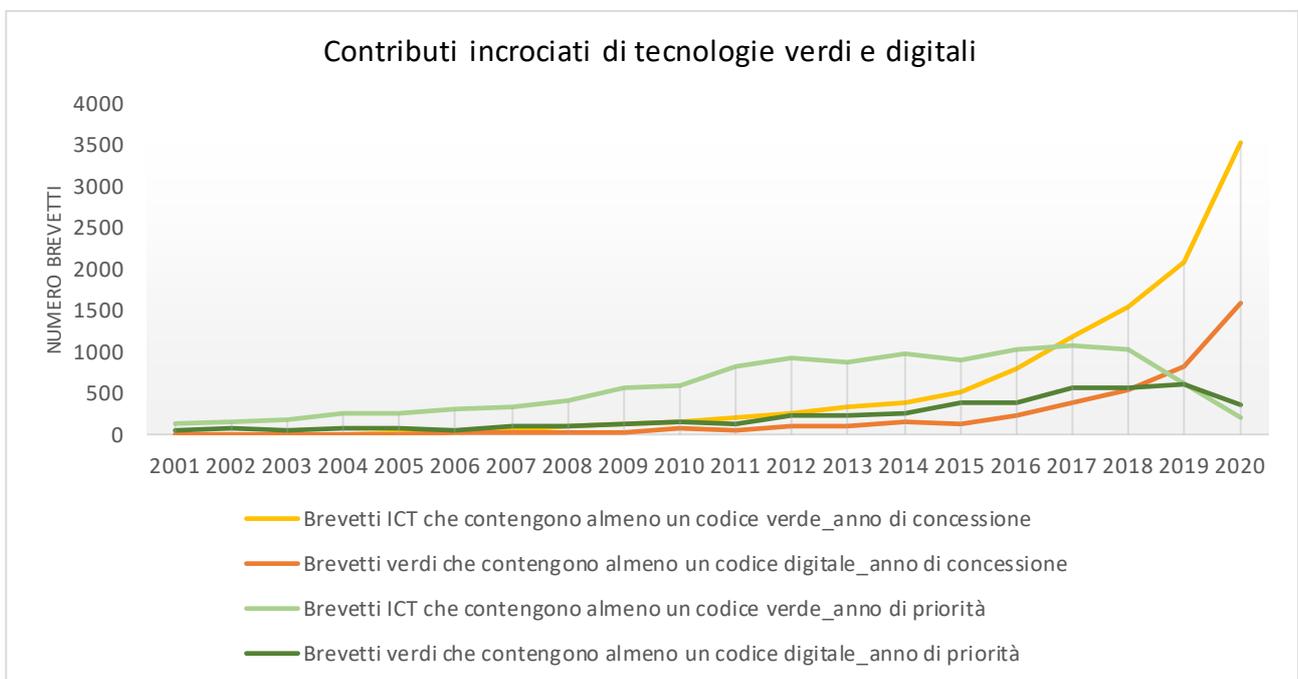


Fig. 2.9.1 Contributi incrociati di invenzioni verdi e digitali suddivisi per anno di cessione e anno di priorità.

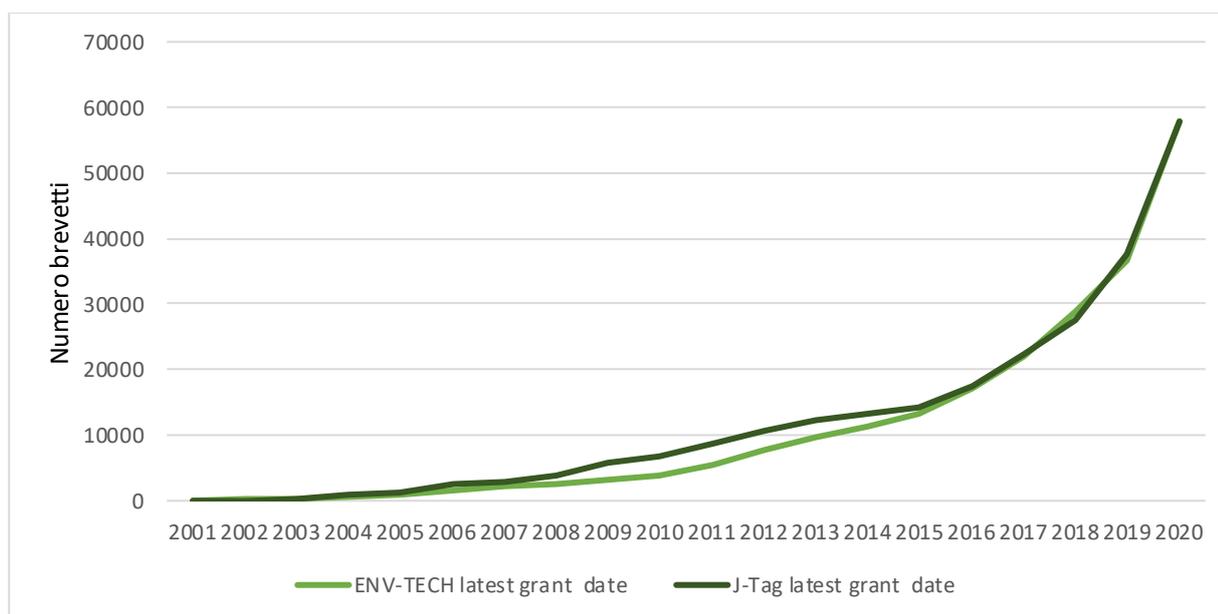


Fig. 2.9.2 Andamento brevetti ENV-TECH e J Tag sulla base dell'ultimo anno di concessione.

D'altro canto, sebbene il grafico della figura 2.9.1 riporti una debole influenza digitale sul green, senza dubbio la digitalizzazione ha un impatto importante sulla crescita delle tecnologie verdi, e non è focalizzata solo sull'efficienza delle prestazioni hardware e software. Anzi, le iniziative green ICT hanno avuto particolare risonanza sul mercato grazie all'evoluzione dello scenario energetico internazionale e alla sensibilità sui temi della riduzione dell'impatto ambientale. Riguardo l'integrazione delle tecnologie elettromeccaniche con quelle digitali, si pensi ad esempio, nel settore elettrico, allo sviluppo di contatori "intelligenti" che consentono di disporre di misure dei consumi di energia per intervalli di tempo e abilitano azioni di demand side management, oltre ad evitare l'intervento di squadre sul territorio per l'attivazione o disattivazione della fornitura di energia elettrica. In generale, metodi e apparecchiature digitali brevettate hanno mostrato il loro massimo potenziale in sinergia con strumenti e componenti del settore chimico, agricolo, energetico e industriale per ottimizzare processi produttivi, realizzare sistemi di manutenzione predittiva (tecnologie IoT e CMMS) in ottica di estensione del ciclo di vita del prodotto, controllare on-line la produzione di acidi grassi volatili (VFA) nei digestori anaerobici e minimizzare le emissioni di NOx provenienti dai condotti di scarico delle auto (mediante l'intelligenza artificiale).

Come si è visto, quindi, la copresenza di tecnologie verdi e digitali nei progetti di ricerca e sviluppo, seppur non in maniera equilibrata, consente di generare conoscenze pertinenti sul panorama emergente della sostenibilità ambientale e funge da gateway per una serie di innovazioni che rendono più efficiente e ambientalmente compatibile l'intero ciclo di vita dei prodotti/processi, dalla loro progettazione, alla produzione, alla logistica, all'utilizzo e infine alla dismissione. Per concludere, questo tipo di approccio è compreso il Green Deal europeo.

Per dare una visione più completa dei contributi incrociati a carattere green e digitale nel corso del tempo, si

è osservata la crescita media annua dei due interventi sia negli ultimi 10 anni (considerando la data di concessione) sia in un arco temporale più piccolo, negli ultimi 4 anni, al fine di trarre delle considerazioni interessanti. Nell'intervallo di tempo più esteso si può constatare uno scostamento percentuale di crescita degli interventi green e digitale non molto marcato, dovuto dal fatto che l'andamento delle curve gialla e rossa (Fig.2.9.1) dal 2011 al 2016 crescessero con la stessa pendenza. Ciò che può apparire controintuitivo si verifica negli ultimi quattro anni dove i brevetti verdi che contengono almeno un codice digitale (linea rossa della Fig.2.9.1) presentano una crescita media annua percentuale sufficientemente più alta rispetto ai brevetti ICT che contengono almeno un codice verde (65%), come se la componente verde avesse una valenza maggiore nello sviluppo tecnologico di prodotti digitali, andando a distorcere i risultati ottenuti in figura 2.9.1. In realtà, la componente verde utili per sviluppare una tecnologia digitale prevale sempre rispetto alla componente digitale per realizzare prodotti verdi e, quindi, una plausibile motivazione di questo incremento esponenziale di brevetti verdi che contengono almeno un codice digitale è da individuare nella crescente consapevolezza, e di conseguenza miglioramento, di quanto i prodotti inerenti alle tecnologie digitali siano diventate importanti per favorire la crescita della green economy e della circular economy.

	Brevetti ICT che contengono almeno un codice verde_anno di concessione	Brevetti verdi che contengono almeno un codice digitale_anno di concessione
Crescita media annua negli ultimi 10 anni	+38%	+43%
Crescita media annua negli ultimi 4 anni	+47%	+65%

Tab.2.9.1 Evoluzione temporale dei contributi incrociati di invenzioni verdi e digitali.

Nel quadro dei contributi presentati nel grafico della figura 2.9 si è riportato anche l'andamento dei brevetti green e digitali sulla base dell'anno di priorità, ossia l'anno di deposito, per enfatizzare le possibili motivazioni che hanno spinto i trend rialzisti verso una decrescita negli ultimi anni. In primo luogo, è utile sottolineare che l'andamento dei brevetti filtrati per anno di priorità, più alto rispetto a quello basato sull'anno di cessione, sono imputabili non ad un possibile disallineamento tra domande di brevetto accettate e domanda rifiutate nelle successive fasi al deposito (priority) bensì alla presenza di un buon numero di celle vuote nei dataset dei brevetti verdi e digitali in corrispondenza della data di cessione. Invece, nell'operazione di ricerca dei brevetti filtrati per anno di priorità non si sono verificate situazioni di questo genere, per cui gli andamenti dei brevetti "priority" sono generati da fattori esogeni. Tra quest'ultimi, con buone probabilità e in maniera intuibile vi è

la diffusione del coronavirus, il quale ha indotto un calo considerevole di domande brevettuali nel mondo nell'ultimo anno, confermato anche dai dati rilasciati dal China National Intellectual Property Administration (CNIPA) nella prima metà del 2020 per quanto riguarda i depositi seguenti la procedura Patent Cooperation Treaty (PCT). In generale, gli uffici per la proprietà industriale hanno incoraggiato in quest'ultimo periodo la divulgazione delle domande relative ad invenzioni che potessero contribuire alla battaglia contro il virus (es. sistemi di diagnostica) soprattutto nel settore farmaceutico e delle biotecnologie piuttosto che iniziative di progetti volti all'impatto ambientale. Tuttavia, questo non vuol dire che la pandemia ha cambiato il potenziale per le tecnologie innovative. Anzi, la crisi del COVID-19 potrebbe con buona probabilità catalizzare l'innovazione ecosostenibile in molti settori tradizionali come il turismo o la vendita al dettaglio. Se si considera che il periodo di esame di invenzione cinese è di 20,3 mesi e quello americano di 23,1 mesi presso l'Ufficio brevetti e marchi degli Stati Uniti (USPTO) si può ritenere plausibile in generale il calo dei depositi brevettuali dovuto dalle domande dell'ultimo anno in attesa di approvazione.

2.10 GEOGRAFIA DELL'INNOVAZIONE GREEN E DIGITALE

Proseguendo con lo studio degli andamenti di sviluppo delle verdi e digitali, è interessante analizzare anche aspetti di ubiquità geografica per tentare di comprendere quali siano i Paesi o aree più propense all'innovazione green. I dati brevettuali utilizzati finora appartenenti al dataset PATSTAT (estratto dai database dell'EPO) fanno riferimento a eventi innovativi dei principali Paesi industrializzati e in via di sviluppo. Tuttavia, per costruire una robusta panoramica globale geografica della diffusione tecnologica ecosostenibile non è sufficiente scegliere come unico criterio la condizione economica del Paese, che sicuramente incentiva la ricerca di innovazioni ecosostenibili a fronte dell'alta velocità di sviluppo economico e sociale che porta all'aumento del consumo e dello spreco di risorse energetiche. Le aree geografiche scelte per l'analisi tengono conto anche dei seguenti aspetti:

- Qualità di vita delle persone: come riporta il report sulla misurazione dell'ecoinnovazione redatto da The Innovation for Sustainable Development Network, istituito nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dall'UE, le condizioni ambientali hanno un impatto diretto sulla salute umana misurabile e i Paesi con il più alto tasso di mortalità delle vite umane a causa dell'inquinamento riguardano India, Cina (a nord della Cina le persone vivono 3.1 anni in meno rispetto al sud a causa di una concentrazione maggiorata di nitrati nell'atmosfera del 46%), Nigeria, Pakistan, Stati Uniti, Russia, Etiopia e Brasile.
- Stanziamenti e spese per la ricerca e sviluppo ambientale ed energetica da parte dei governi volti a stimolare le attività di ecoinnovazione: il dataset dell'International Energy Agency (IEA) si trova coerente con bilanci pubblici nazionali assegnati alla R&S energetica (al netto di correzione dell'inflazione) e mostra che nel 2019 la spesa pubblica sia aumentata del 3% a 30 miliardi di dollari a

livello globale e abbia interessato maggiormente Cina, Stati Uniti, Giappone, Europa e India (Fig. 2.10.1).

- Ecologicità delle politiche: per esempio, attraverso la carbon tax imposta dai governi si crea un incentivo finanziario per ridurre le emissioni passando a processi più efficienti e attualmente è implementata in 25 Paesi in tutto il mondo tra cui Europa, Canada, Singapore, Regno Unito Giappone e Argentina. Le informazioni sulle politiche fiscali verdi sono state reperite sul Green Economy tracker, sviluppato dalla Green Economy Coalition.
- Global Innovation Index (GII): ospitato dall'Organizzazione mondiale per la proprietà intellettuale (WIPO), misura l'innovazione in senso lato. L'indice è calcolato da una gamma molto ampia di sottoindici, tra cui quello inerente alla sostenibilità ecologica, e mira a promuovere una visione olistica delle prestazioni ambientali, economiche e sociali. Secondo questo strumento, tra i Paesi con un'attività innovativa verde più accentuata vi sono Svizzera, Stati Uniti, Regno Unito, Brasile, India, Singapore, Cina e Giappone.
- Investimenti in Global Sustainable Funds: tutte le aziende o investitori che perseguono obiettivi di sostenibilità ambientale o mitigazione del rischio investono in fondi sostenibili riferiti al mercato in cui operano per aiutare il proprio stato ad attuare le strategie ecosostenibili. Come si evince dal report di Morningstar, che ha esaminato i flussi globali di 3767 fondi aperti sostenibili e fondi negoziati in borsa (ETF) nel terzo semestre del 2020, le attività in fondi sostenibili hanno raggiunto un livello record di 1.2 trilioni di dollari con una crescita del 19% rispetto al trimestre precedente. L'Europa ha dominato il 77% degli afflussi globali, a seguire Stati Uniti (12%), Canada, Australia, Nuova Zelanda, Giappone e Asia (11% in aggregato).
- Science and technology (S&T) cluster: le performance innovative si possono misurare anche andando le economie nazionali come unità di analisi. Sulla base del numero di inventori che hanno brevettato secondo la procedura PCT negli ultimi 4 anni, di autori elencati nel Science's Science Citation Index Expanded e della geocodifica degli indirizzi degli inventori relativi ai cluster con maggior applicazioni, il più recente report della cluster ranking redatto dalla WIPO ha indicato tra i primi 16 cluster appartenenti a Giappone, Cina, Stati Uniti, Corea, Francia, Germania e Gran Bretagna.

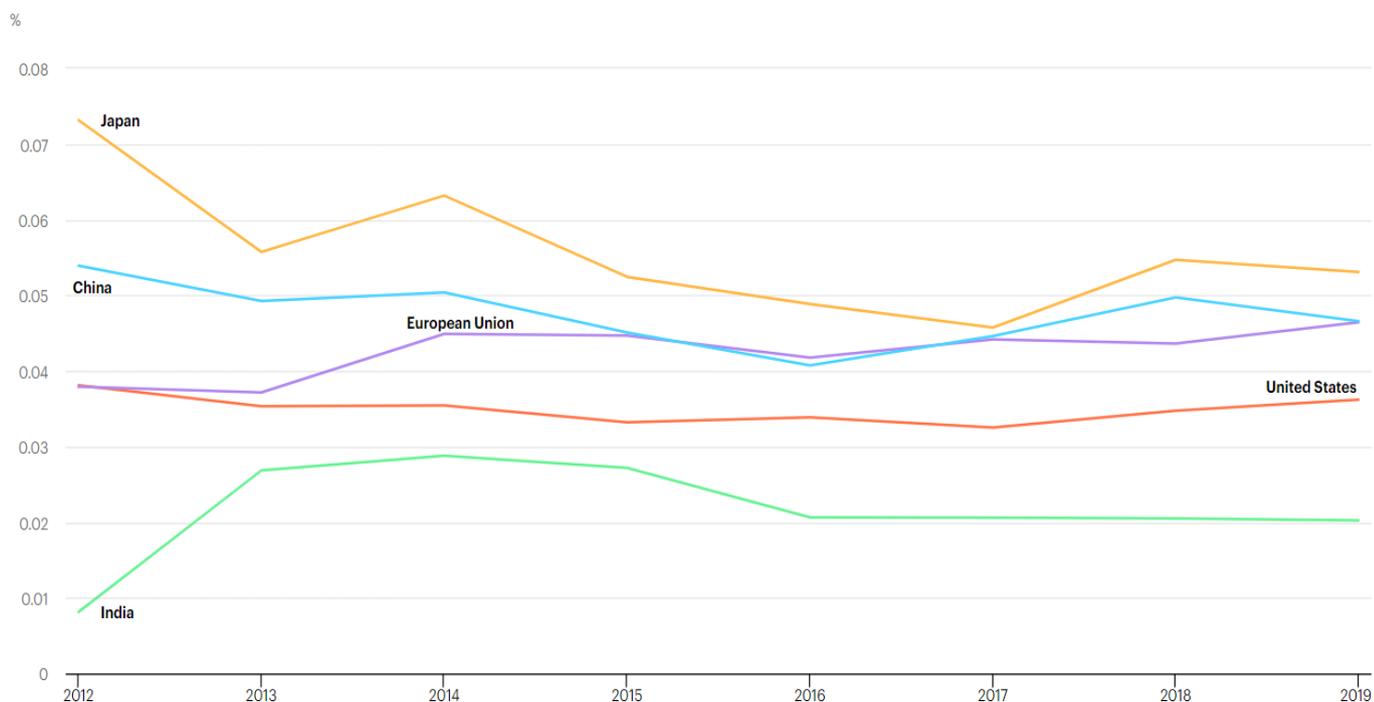


Fig. 2.10.1 R&S nel settore dell'energia pubblica come quota del PIL in paesi selezionati, 2012-2019.

A valle della considerazione dei precedenti aspetti, sono stati selezionati i 16 Paesi (Fig. 2.10.2) che più rispecchiassero i criteri economici, sociali, politici ed innovativi volti a promuovere misure di sostenibilità ambientale. Ragionevolmente, è stata fatta anche una cernita tra i Paesi candidati in base al numero di brevetti concessi presenti nel dataset creato su STATA, mantenendo un numero minimo di pubblicazioni per Paese non inferiore a 1000.



Fig. 2.10.2 Mappatura dei brevetti verdi e digitali assegnati ai Paesi più esposti all'innovazione e geografia degli inventori.

Nella mappatura illustrata in figura 2.10.2 ciascun Paese candidato riporta su un asse Y immaginario il numero di brevetti digitali cessi dal 2001 al 2020 ed il numero di inventori originari del posto, in maniera del tutto simile, lungo un asse X fittizio sono riportati le stesse informazioni ma inerenti alle invenzioni green. Inoltre, osservando il dataset, il brevetto ricevuto dal Paese da parte del cedente indica l'affidamento dello stesso ad un'azienda con sede nel medesimo Paese, nonché l'acquisizione di diritti per godere dei benefici, e quindi iniziare a sviluppare la tecnologia. Questo giustifica, in buona sostanza, aver riportato nella mappa mondiale l'acronimo D, ossia i brevetti sviluppati in una specifica regione.

L'analisi empirica dei dati brevettuali ha rivelato, in generale, come le assegnazioni brevettuali ed il collocamento degli inventori generano risultati diversi, messi in evidenza dal rapporto numero brevetti degli inventori del Paese assegnatario e numero brevetti per Paese cessionario. E' bene specificare che nella mappa della figura 2.10.2 sono riportate solo le quote percentuali di inventori residenti sui brevetti assegnati ad un Paese che avessero uno discostamento almeno di 15 punti percentuali dal 50% di inventori locali. Soprattutto Paesi come Brasile, Singapore, Cina e Canada questo rapporto è considerevolmente basso, green o digital che sia, e ciò vuol dire che la maggior di brevetti assegnati ad aziende in loco provengono da richiedenti di altre origini. Nel contesto green, le quote più basse di richieste da parte degli inventori originari dello stesso luogo di cessione hanno interessato Cina e Singapore (2% e 6% rispettivamente), Canada e Brasile nel continente Americano (5% e 12%). Sul quadro digitale, il Singapore detiene inventori connazionali per il 9% sul totale dei richiedenti mentre in Brasile scende al 3% rispetto ai brevetti green.

Si possono delineare varie ragioni in seguito a questa tendenza di cessioni all'estero. Una prima ragione di

questo afflusso di assegnazioni può riguardare collaborazioni tra inventori transfrontalieri o joint venture tecnologici per beneficiare della diffusione della conoscenza e del miglioramento delle competenze (es. Canada e Stati Uniti), piuttosto che una rete di collaborazione geograficamente più dispersa tra Paesi europei e Asia (es. Giappone), che conduce ad una scelta di deposito influenzata dalla domanda brevettuale. Altra motivazione in questo contesto potrebbe individuarsi nella costituzione di una rete di servizi tecnologici avanzati che coinvolge Paesi industrializzati (Stati Uniti, Francia, Germania) e Paesi in forte crescita come il Singapore e l'Australia in grado di valorizzare la sostenibilità ambientale attraverso nuove invenzioni che saranno depositate nei Paesi sviluppati. Invece, una motivazione a sostegno della carenza di inventori nei Paesi in via di sviluppo (Brasile e Cina) può essere dettata dal debole regime brevettuale (quanti diritti si danno agli inventori) il quale spinge i ricercatori a non investire risorse in sforzi innovativi, data la mancanza di forti protezioni. D'altro lato, investimenti diretti esteri atti a trasferire tecnologia, sviluppare capacità e crescita economica nei Paesi in via di sviluppo, hanno maggiore probabilità di trasformarli in Paesi con sistemi di brevetti abbastanza forti da offrire agli inventori stranieri protezioni sufficienti nei Paesi.

Osservando invece le percentuali più alte, si può constatare che i Paesi europei (Francia, Regno Unito, Paesi Bassi) detengono la concentrazione più alta insieme al Giappone rispetto agli altri Paesi in termini di numero di cedenti di brevetto appartenenti allo stesso Paese dell'azienda cessionaria, la quale ne acquisisce i diritti esclusivi. Gli inventori della Francia sono tra quelli che hanno maggiormente contribuito al progresso tecnologico mediante l'attività brevettuale, con un riconoscimento di 6903 cessioni di brevetti verdi e un numero di brevetti assegnati al medesimo Paese di 4049, seguito dal Regno Unito con un rapporto inventori_residenti/assegnazioni_Paese dell'80% e Paesi Bassi (65%). Ciò può essere spiegato dalle elevate capacità che istituti di ricerca e aziende locali possiedono nell'unire conoscenze specifiche, abilità e capacità metodologiche per lo sviluppo tecnologico ecosostenibile. Pochi interventi esteri si sono verificati nella brevettazione di prodotti green e digitali in questi Paesi, senza precludere l'eventualità di lavori di ricerca condotti, probabilmente con professionisti delle zone limitrofe industrializzate che conferiscono crescita collettiva e Knowledge spillover. Per quanto riguarda il Giappone, il consumatore ha posto grande attenzione, soprattutto negli ultimi anni agli effetti dei disastri ambientali sulla propria salute. Questa tendenza ha scaturito un processo di ristrutturazione formativa che ha portato all'implementazione delle conoscenze verdi nelle attività co-curricolari degli studenti, in linea con lo sviluppo industriale sostenibile. Far acquisire agli studenti competenze verdi permette di fornire alle aziende giapponesi capitale umano in grado di sviluppare tecnologie ecologicamente all'avanguardia.

Al fine di avere un quadro approfondito sulla distribuzione dello sviluppo tecnologico ecosostenibile, è interessante osservare quanto influisce la componente green e digitale nelle varie attività brevettuali assegnate a ciascun Paese candidato (Fig.2.10.3). Il criterio di scelta nell'etichettare i brevetti con le percentuali d'impatto green o digitali si basa su considerazioni puramente maggioritarie, ossia la componente green o digitale di uno specifico set di brevetti assegnati ad un Paese è messa in evidenza solo se questa supera il 50%

d’impatto. In primo luogo, quindi, si può notare come metodologie, conoscenze e strumenti ecosostenibili supportino in grande misura non solo gli studi di ricerca sostenibili ma anche il mondo della digitalizzazione verso la realizzazione di tecnologie che in qualche modo aiutano a lenire i disastri ambientali. Infatti, le tecnologie di rete digitali stanno dimostrando i vantaggi di integrare una maggiore quantità di generation rinnovabile, riducendo l’impatto ambientale e i costi operativi e migliorando al contempo la sicurezza. Il maggior contributo percentuale green è individuabile nelle attività brevettuali digitali dei Paesi Bassi e Australia (entrambe 81%). Un esempio attinente in Australia riguarda il progetto di costruzione e gestione di una micro-rete elettrica off-grid presso l’Università di Monash, elemento chiave del programma “Net Zero Initiative”, il quale ha richiesto l’adozione delle più avanzate tecnologie in materia di stoccaggio per il bilanciamento dell’intermittenza delle fonti rinnovabili come energia solare ed eolica che possono coprire fino al 70% della domanda. Invece, sul fronte europeo i Paesi Bassi sono tra i primi Paesi che cercano di innovarsi per sostenere l’economia circolare e un recente studio rivela lo sviluppo di nuove tecnologie digitali che permettono di monitorare il riciclo dei prodotti delle attività logistiche aeroportuali (es. petrolio o CO₂) che avviene mediante tecnologie verdi Carbon Capture Utilisation o oil spill cleanup, quindi le infrastrutture verdi svolgono un ruolo importante nell’implementazione digitale. In secondo luogo, il maggior impatto digitale che si è verificato nello sviluppo di prodotti green si scopre essere in Sudafrica (Fig.2.10.3). Un esempio applicativo può riguardare la rete di trasporto sostenibile dei taxi caratterizzata da batterie di accumulo di energia prodotta da pannelli fotovoltaici e sistemi di raccolta d’acqua piovana e proveniente dal sottosuolo, implementati da sensori che regolano i bisogni idrico-energetici sia della stazione che dei veicoli.



Fig.2.10.3 Mappatura delle tecnologie con carattere prevalente green o digitale sviluppate nei Paesi candidati.

Proseguendo l'analisi empirica, è interessante mettere in luce la diffusione green nei vari Paesi selezionati in termini di impatto percentuale di invenzioni brevettate e tecnologie assegnate ad un'azienda di un Paese di riferimento (Fig. 2.10.4). In primo luogo, si può esaminare che i Paesi di sviluppo Giappone, Corea, India, Cina e Brasile presentano un'influenza di pubblicazioni brevettuali abbastanza simile intorno al 70% rispetto all'effetto prodotto delle cessioni avvenute. La ragione più plausibile è che le aziende di questi Paesi si stanno impegnando verso l'ambiente ed il successo dei risultati ottenuti farà crescere le loro economie a tal punto da diventare più competitive. Questo movimento spinge molte aziende estere a brevettare in questi Paesi per proteggere le loro invenzioni e diffondere la tecnologia mediante licenza. Il 30% di brevetti assegnati ad aziende residenti in questi Paesi è probabilmente scaturito dalla diffusione tecnologica estera che ha incentivato pratiche e tecnologie verdi nel settore industriale.

L'Australia, insieme al Sudafrica, rappresenta il Paese con il maggior squilibrio tra invenzioni brevettate e brevetti assegnati ad una azienda australiana, dove quest'ultimi hanno un impatto dell'8%. Questo sta a significare che Australia e Sudafrica sono i più importanti importatori di brevetti e, probabilmente, questo è il riflesso di stretti legami economici, dei costi relativamente bassi per ottenere la protezione brevettuale oppure della presenza di un Paese che si sta innovando (ad esempio in Australia è nato il primo sistema d'accumulo a idrogeno per le esigenze residenziali). Tuttavia la dimensione del mercato da cui i paesi esteri possono ottenere ritorni economici (es. attraverso licenza) per la tecnologia brevettata in Australia e Sudafrica è piccola. Secondo l'ufficio australiano di proprietà intellettuale, i Paesi con maggior numero di brevetti depositati in Australia riguardano Giappone, Germania, Regno Unito e Stati Uniti. Ciò che mostrano, invece, gli indicatori della proprietà intellettuale della WIPO è che attualmente gli Stati Uniti rappresentano attualmente un mercato di esportazione più grande per la tecnologia australiana rispetto all'Europa. Per quanto riguarda il Sudafrica, gli uffici brevetti mostrano che molte tecnologie nate in loco sono state orientate all'estero come il Brasile, Argentina o Indonesia, economie più vicine per dimensioni in termini di PIL.

Da un lato, non c'è dubbio che la promozione dell'invenzione rispettosa dell'ambiente sia incentivata dalle misure messe in atto dagli uffici nazionali PI che accelerano le domande di brevetto verde e digitale. In Australia, Canada, Regno Unito sono ammissibili qualsiasi tipo di invenzione ed è possibile svilupparla purché abbia benefici ambientali, mentre in Brasile, Cina, Giappone e Stati Uniti pongono alcune restrizioni sulle tecnologie e tentano di assegnare al Paese brevetti di residenti e di diffonderli all'interno della stessa regione mediante accordi di licenza.

Dall'altro lato, l'assegnazione di un brevetto ad un'azienda che ne abilita la diffusione tecnologica è strettamente legato alle abilità dell'azienda preposta in termini di competenze tecniche, al possesso di asset. Quindi, dal grafico in figura 2.10.4 si può desumere che Stati Uniti, Canada, Paesi Bassi, Francia, Svizzera e Germania rappresentano ad oggi i più grandi Paesi assegnatari di brevetti in quanto lì si trovano le aziende più innovative al mondo in grado di sviluppare la tecnologia e guidare le organizzazioni verso il cambiamento. Questo, tuttavia, non preclude che a valle di valutazioni costi/benefici l'azienda non decida di dare in licenza

il brevetto ad aziende dove il costo della manodopera sia inferiore. Nel quadro asiatico, il maggior numero di brevetti verdi e digitali sono stati assegnati alla Cina e al Singapore e queste misure proattive sul cambiamento porteranno ad una crescita economica importante per i Paesi.

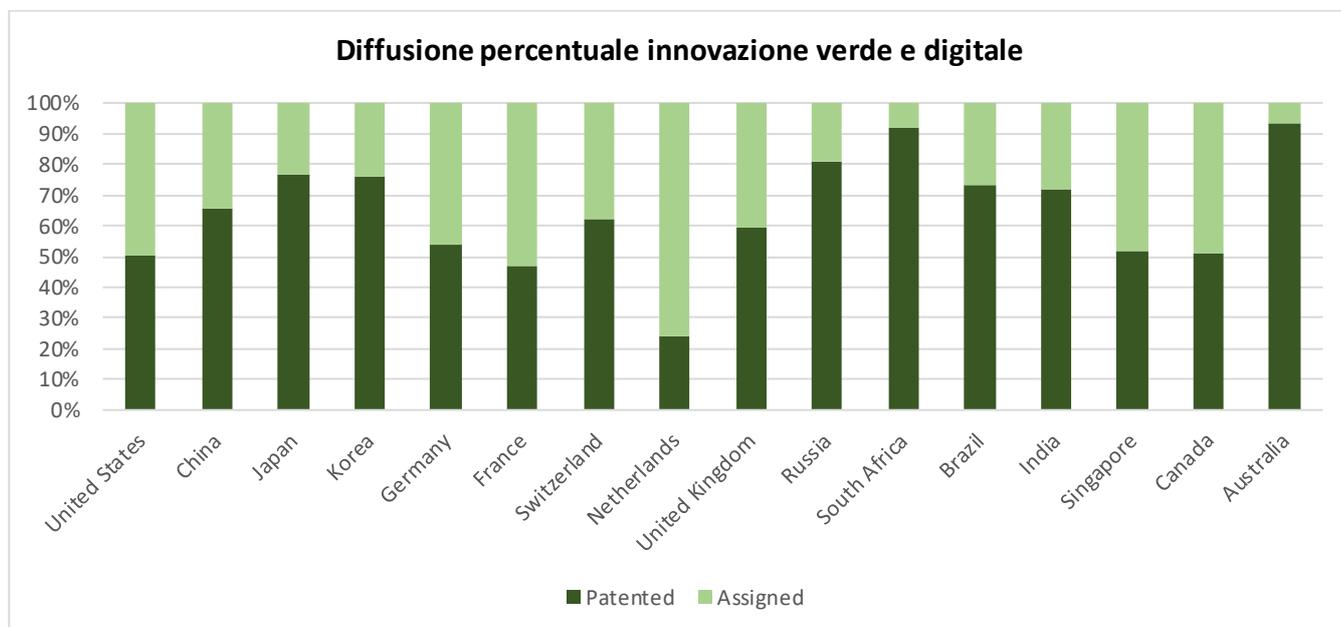


Fig. 2.10.4 Percentuale di invenzioni totali (verdi e digitali) brevettate e assegnate alle aziende dei Paesi selezionati.

Infine, tra i Paesi ad alto livello di deposito di domanda brevettuale e assegnazione dell'invenzione che hanno un impatto percentuale di tecnologie verdi assegnate più forte sono i Paesi Bassi, confermato anche dai risultati ottenuti in precedenza con il rapporto $\text{inventori_residenti}/\text{assegnazioni_Paese}$. Premiati dall'EPO nel 2019 per gli eccezionali risultati raggiunti dagli inventori nel campo del riciclaggio della plastica, della tecnologia delle batterie ricaricabili e della tecnologia marina (antivegetativa marina), i Paesi Bassi fanno parte in una rete di ricerca e sviluppo altamente efficiente tale per cui riescono a sfruttare le economie di scala ed avere elevati tassi di produttività di brevetti (numero di brevetti per importo speso in R&S). Inoltre, la complementarità degli investimenti pubblici (università) e aziendali in innovazione promuove la valorizzazione della ricerca. Nei confronti internazionali, come suggerisce l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo (OCSE) le università olandesi sono più allineati con le esigenze dell'industria rispetto agli altri paesi europei più innovativi come Germania, Svezia, Danimarca, Francia e Regno Unito e questo si traduce in un più alto livello di co-pubblicazioni di brevetti università-industria e assegnazioni locali.

In seguito sono proposti dei grafici temporali (figure 2.10.5, 2.10.6 e 2.10.7) che tracciano il potenziale eco-innovativo di alcuni Paesi selezionati in tutto il mondo, misurato attraverso le assegnazioni brevettuali alle aziende che definiscono per un certo periodo di tempo un diritto esclusivo allo sfruttamento economico e produttivo della tecnologia inventata. I brevetti presi in considerazione sono quelli riferiti al database PATSTAT,

che contiene dati ed informazioni di documenti rilasciati all'ufficio brevetti europeo (EPO), ed estratti da Orbit per l'analisi empirica.

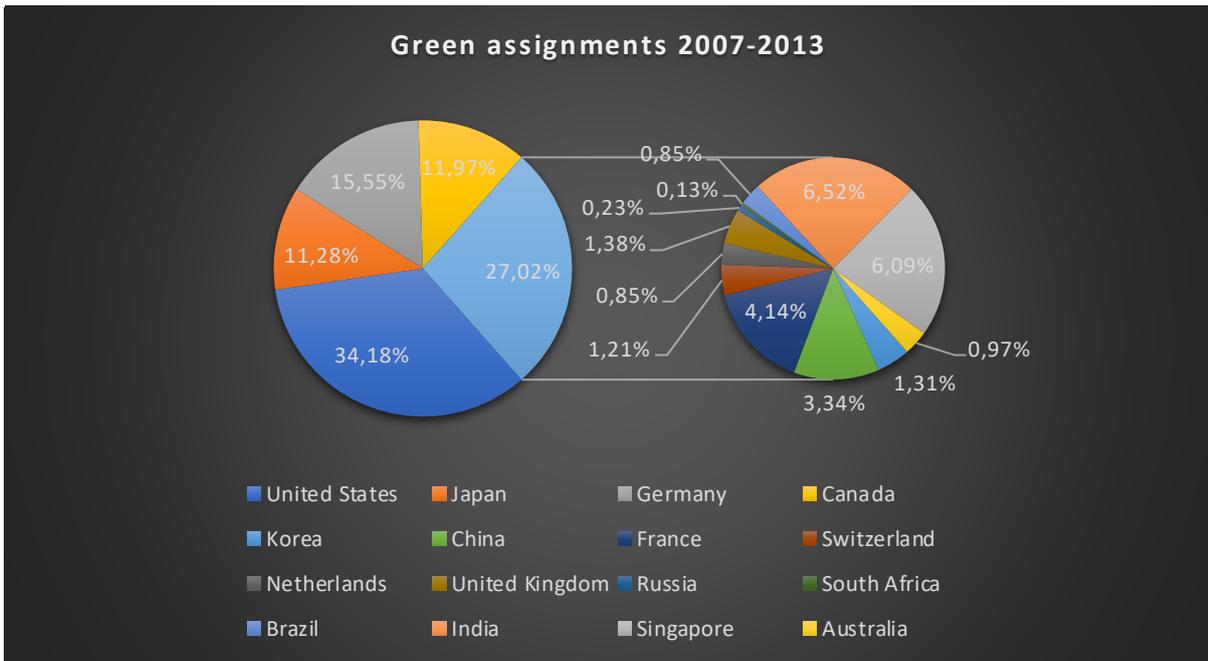


Fig. 2.10.5 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

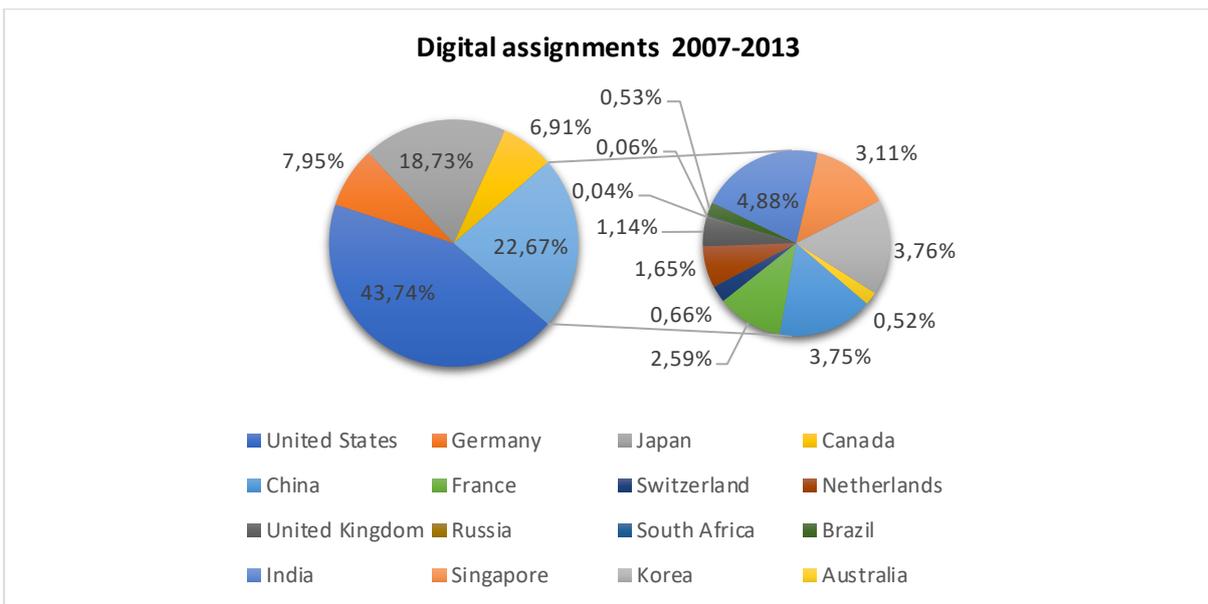


Fig. 2.10.6 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

In generale, l'impostazione dell'innovazione tecnologica verde e digitale proviene in misura maggiore da paesi occidentali come Stati Uniti, Canada e Germania che all'inizio hanno dominato le tecnologie e il consumo di energia, e in misura minore dai paesi orientali come il Giappone. Le quote percentuali detenute dal portafoglio di brevetti verdi assegnati ai Paesi nominati in precedenza risultano leggermente inferiori al portafoglio

digitale, ad eccezione dei brevetti green assegnati ad aziende canadesi che si rivelano raddoppiati (11.97%). Chiaramente all'aumentare degli standard di vita delle persone, il consumo e lo spreco di risorse energetiche ed idriche aumentano proporzionalmente, di conseguenza, aziende locali e centri di ricerca, spinte da scelte governative su tasse e misure a favore del miglioramento ambientale, mettono in gioco le loro risorse (capitale umano e tecnico) per sviluppare tecnologie eco-innovative. In questa direzione, si può constatare dall'analisi empirica che il Giappone è stato tra i Paesi orientali in via di sviluppo quello che ha rivolto per prima, in maniera concreta, l'attenzione verso il riciclaggio e la riduzione a minimo dei rifiuti, mostrando l'elevato impegno ambientale delle aziende e anche dei consumatori. Tuttavia, negli ultimi anni il Giappone è stato rimpiazzato dalla Cina ottenendo solo il 5,83% del totale dei brevetti verdi analizzati, probabilmente perché ha rivolto i propri sforzi e risorse allo sviluppo della digitalizzazione, con una quota percentuale del 9,32% dal 2014 a 2020, senza curare propriamente le emissioni di anidride carbonica. Nel Green Innovation Strategy Meeting il Governo giapponese ha incoraggiato vari attori, comprese start-up e piccole-medie imprese a proporre soluzioni green che conducano allo Zero-Emission. Riguardo agli Stati Uniti, classificata sempre tra i quattro Paesi più trainanti dell'evoluzione delle green economy, mantiene una quota digitale del tutto identica nelle due fasce temporali analizzate ma il suo contributo nelle tecnologie verdi viene declassato di circa 10 punti percentuali negli ultimi sei anni. Sebbene gli Stati Uniti abbiano fatto enormi progressi nell'ambito delle rinnovabili negli ultimi anni, la pandemia ha accelerato la ricerca di soluzioni più efficienti nel settore ICT, generando un trend leggermente superiore in questo ambito.

La crescita esponenziale dei brevetti verdi assegnati alla Cina di 34.82 punti percentuali negli ultimi sei anni, che ha trasformato la Cina in un leader mondiale nell'arresto del cambiamento climatico, sicuramente è imputabile al progresso che il Paese ha conseguito nella protezione intellettuale e nell'ambiente aziendale, grazie ad una legislazione più rigorosa alle violazioni, che ha condotto ad una maggiore fiducia anche di investitori stranieri nel mercato cinese. In secondo luogo, la Cina ha avuto un sistema efficiente di investimenti in R&S e di manodopera nello sviluppo, traducendosi in una maggiore capacità di innovazione rispetto ad altri Paesi. Sulla base di una ricerca qualitativa, una motivazione per cui la quota dei brevetti verdi sia cresciuta più velocemente di quella digitale (Fig. 2.10.7) può essere dettata dal fatto che la Cina negli ultimi anni abbia sviluppato attraverso ingenti investimenti in capitale e infrastruttura tecnologie all'avanguardia nei settori come intelligenza artificiale, produzione intelligente a costo del degrado ambientale generato dallo sfruttamento massiccio del carbone. Infine, la Germania, che detiene il numero di assegnazioni di brevetti più elevato in Europa, ha perso diverse quote percentuali di brevetti raggiungendo il 7,94% per le assegnazioni di invenzioni green ed il 4,85% per le assegnazioni digitali negli ultimi sei anni, declassandosi in quest'ultimo caso dalle quattro nazioni che possiedono maggior numero di cessionari e lasciando spazio alla Repubblica Coreana. Le normative rilasciate negli ultimi sei anni dal governo Sud coreano, come ad esempio le modifiche strutturali delle domande di brevetto o le agevolazioni per gli investimenti in R&S, hanno influenzato notevolmente l'attività innovativa delle aziende locali con più alto potere di mercato, permettendo un interessante sviluppo

sostenibile. Non solo, anche l'attuazione di politiche in materia di tecnologia, scienze e innovazione ha condizionato la ricerca e lo sviluppo. Nella prospettiva delle quote minoritarie, le tecnologie verdi e digitali hanno avuto un impatto più positivo in Singapore e India negli anni 2007-2013, mentre negli ultimi sei anni in Canada e Francia, mostrandosi con un livello di adattamento tecnologico e capacità di assorbimento di conoscenza migliore.

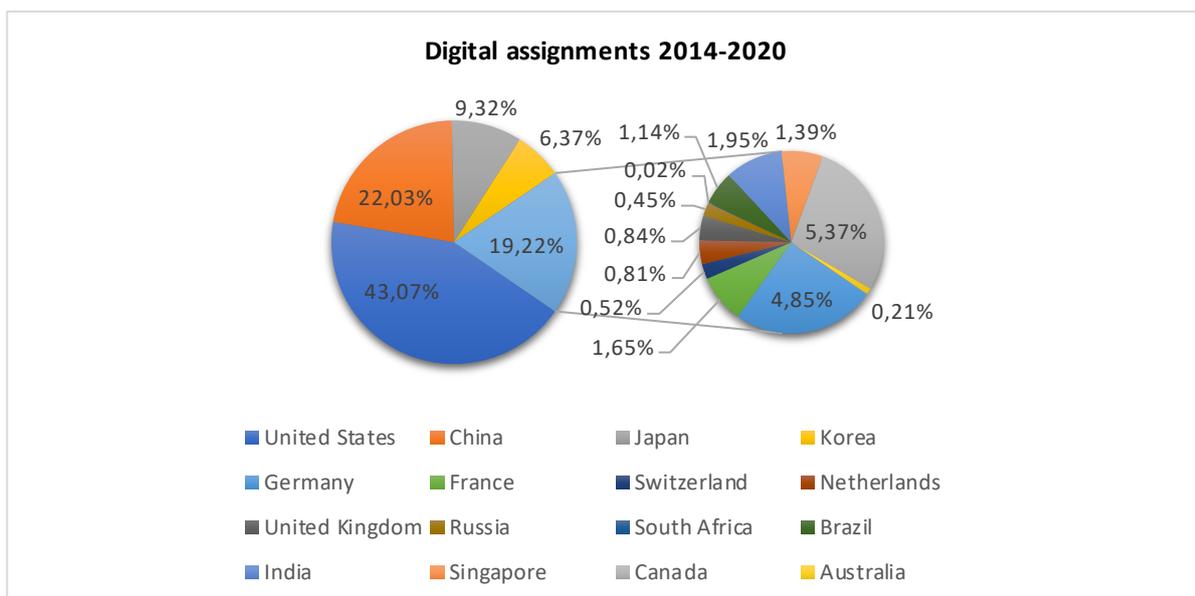
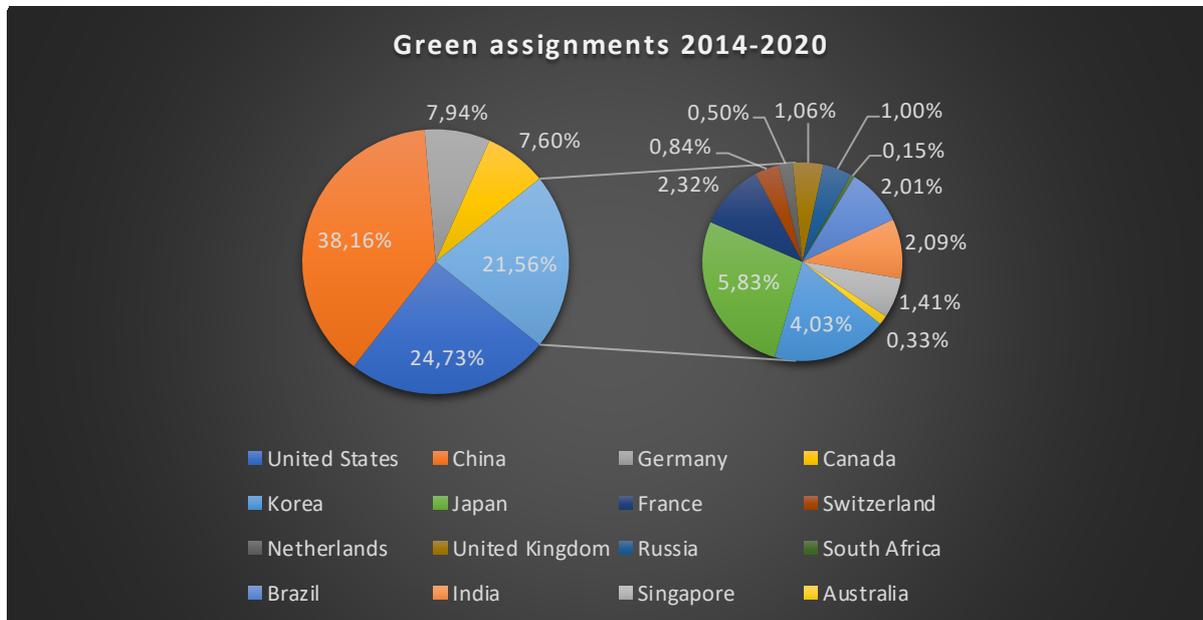


Fig. 2.10.7 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

Proseguendo con le analisi empiriche, è interessante fornire un quadro approfondito delle interazioni tra tecnologie settoriali e Paesi candidati in modo da comprendere verso quali studi e sviluppi le aziende dei Paesi candidati (Fig.2.10.8) si dirigono e l'impatto che le componenti green e digitali riservano nello sviluppo dei prodotti (Fig.2.10.9).In primo luogo, in figura 2.10.8 dove sono riportati i brevetti assegnati e sviluppati dalle

aziende con sedi nei Paesi candidati si può constatare che in generale il maggior numero di brevetti assegnati ai vari Paesi, soprattutto quelli europei, è riferito allo sviluppo di prodotti digitali, in particolare a strumenti di misurazione elettronica comprendenti una vasta gamma di sensori satellitari e terrestri o tecniche basate sul telerilevamento che, come accennato in precedenza, hanno la capacità di analizzare l'effetto esercitato dall'inquinamento di natura antropica e non sugli ecosistemi terrestri. In questo contesto, tra i Paesi che hanno maggiormente investito energie nella ricerca di soluzioni ecosostenibili vi sono Germania e Paesi bassi con una quota percentuale di brevetti sul totale rispettivamente 24% e 30%. Questo dominio tecnologico predominante è seguito dallo sviluppo di un'altra tecnologia, Large-capacity and speed storage, che caratterizza fortemente Stati Uniti, Giappone e Corea dove risiedono cluster ad alto contenuto tecnologico e Knowledge Cluster in questo specifico campo applicativo. In particolare, il Giappone si mostra come il Paese con la più alta quota percentuale di brevetti relativi a questa tecnologia (81%) rispetto con numero totale di brevetti assegnati allo stesso (Fig.2.10.10). In base alle valutazioni di Sustainalytics, che assegna un punteggio a 48 mercati globali sulla base della loro esposizione anche ai rischi ambientali, gli Stati Uniti risultano essere sostenibili grazie soprattutto al contributo delle società high tech come Adobe, Salesforce, Google, NVIDIA, AMD, e Microsoft. L'impegno di queste aziende nello sviluppo di processori sempre più efficienti dal punto di vista energetico e di soluzioni data storage a minor impatto ambientale che alimentano la gestione dei big data ha condotto nel 2019 ad una rispettabile riduzione di emissioni di CO₂ per tutta la catena del valore produttivo in media del 11,4% rispetto all'anno precedente. Questo grado di responsabilità ambientale da parte delle aziende tech è confermato dal contributo della componente digitale (Fig.2.10.9) nello sviluppo dei prodotti di memorizzazione e gestione dati nei medesimi Paesi sopra citati risulta essere prevalente, come dimostrato dalle basse quote percentuali green (rispettivamente 30%,10%,18% e 2%), complementari alle quote digitali. Un altro aspetto rilevante dall'analisi riguarda lo sviluppo di tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio (CCS), che possono includere aspetti di riutilizzo, e tecnologie a emissioni negative (capture, storage of GHG). Il Paese assegnatario dello sviluppo di queste tecnologie che mostra maggior interesse è il Sudafrica con il 17% dei brevetti totali assegnati ad esso (Fig.2.10.10), seguito da Brasile e Singapore con entrambi una quota percentuale di brevetti sul totale del 4%. Sebbene siano stati condotte poche ricerche e sviluppi, dato anche dalla richiesta di una notevole quantità di lavoro e perdita di efficienza energetica delle centrali elettriche per la separazione della CO₂ dagli altri gas al fine di riutilizzarla, queste tecnologie possiedono un elevato potenziale benefico nei confronti della sostenibilità in quanto la loro attuazione può ridurre del 30% le emissioni globali di gas serra e l'interesse di queste è stato particolarmente accolto in Singapore e Sudafrica, le cui aziende hanno stretto collaborazioni con il mondo accademico per generare innovazioni di grande impatto e per sviluppare soluzioni pratiche nel panorama tecnologico CCS / U. Infine, il numero di brevetti mediamente più basso assegnato ai diversi Paesi candidati è inerente alle tecnologie di oil spill cleanup e ragioni plausibili, sebbene si è appreso molto a seguito degli incidenti di fuoriuscite in mare aperto, come l'incidente della Deepwater Horizon dell'aprile 2010 nel Golfo del Messico, possono essere dettate sia dal fatto

che le risposte di mitigazione o rimozione di petrolio non hanno coinvolto tecnologie specifiche bensì operazioni di prevenzione o stoccaggio del petrolio non propriamente brevettabili perché magari non rispettano i requisiti di novità e siano metodi adottati anche in altri contesti, sia da un numero di tecnologie esistenti sufficientemente efficaci per la cattura e lo stoccaggio (es. tecnologie assorbenti, barre di contenimento o metodi di dispersione). I Paesi assegnatari con un più alto interesse di attività eco-innovative in questo ambito rispetto al totale degli sviluppi ai quali sono impegnati fanno riferimento a Russia, Canada e Regno Unito con una quota percentuale di brevetti rispettivamente del 5%, 4% e 4% (Fig.2.10.10) del totale dei brevetti assegnati alle aziende locali. Invece i Paesi assegnatari con il maggior numero di brevetti fanno capo a Stati Uniti (2854) e nuovamente Canada (1081), in figura 2.10.8, imputabile ai numerosi casi di incidenti verificatosi in queste aree che ha spronato istituti di ricerca locali a sviluppare varie tecnologie per valutarne poi l'efficacia di ciascuna di esse. I brevetti tecnologici statunitensi riguardo la raccolta di vegetazione oleata hanno avuto un'impronta digitale del 37% e questo è giustificabile per esempio se si pensa ai brevetti destinati a metodi di monitoraggio dei processi naturali di recupero del petrolio senza intervento attivo (attenuazione naturale) quando l'olio colpisce una zona che preclude l'uso di operazioni di pulizia invasive o quando l'area di fuoriuscita è logisticamente inaccessibile per motivi di lontananza (ad esempio, l'Artico). In questi casi, infatti, la componente digitale svolge un ruolo importante per valutare il suo potenziale impatto sugli ecosistemi.



Fig. 2.10.8 Diffusione dei brevetti relativi ai maggiori trend tecnologici settoriali nei Paesi candidati.

	United States	China	Japan	Korea	Germany	France	Switzerland	Netherlands	United Kingdom	Russia	South Africa	Brazil	India	Singapore	Canada	Australia
Oil spill cleanup	2%	1%	2%	1%			3%		4%	5%			3%		4%	3%
Capture, storage GHG											17%	4%		4%		
Large-capacity and speed storage	68%		81%	63%												
Electronic measurement					24%	22%	15%	30%	18%	16%		19%		12%	19%	21%

Fig. 2.10.10 Quote percentuali di brevetti verdi e digitali assegnati ai Paesi candidati con maggior e minor influenza nelle tecnologie settoriali di riferimento.

																
	US	CN	JP	KR	DE	FR	CH	NL	GB	RU	ZA	BR	IN	SG	CA	AU
Waterwaste treatment	29%	8%	3%	3%	6%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	31%	2%	11%	0%
Fertilizer from wastewater	14%	5%	6%	16%	6%	1%	4%	2%	2%	0%	0,2%	4%	15%	2%	22%	1%
Oil spill cleanup	37%	9%	4%	5%	10%	3%	1%	1%	1%	1%	0%	2%	9%	1%	15%	1%
Water-related adoption technologies	34%	39%	1%	2%	3%	1%	1%	0%	1%	1%	0,41%	2%	2%	1%	10%	1%
Thermal performance of building	33%	26%	5%	5%	6%	2%	2%	1%	2%	1%	0%	2%	3%	2%	12%	0%
Capture, storage GHG	37%	8%	4%	0%	4%	0%	0%	2%	6%	2%	2%	2%	8%	12%	12%	2%
Sound and imaging technique	45%	14%	11%	7%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	4%	2%	9%	0%
High speed computing	46%	8%	8%	4%	6%	1%	1%	0%	1%	1%	0%	5%	3%	1%	14%	1%
Large-capacity and speed storage	30%	10%	18%	2%	12%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	4%	8%	8%	6%	0%
Electronic measurement	36%	25%	5%	8%	6%	2%	0%	1%	1%	0%	0%	3%	2%	1%	8%	0%

Fig. 2.10.9 Quote percentuali d'impatto incrociato delle componenti verdi e digitali per tecnologia settoriale e per Paese candidato.

3 CONCLUSIONI

Conciliare l'innovazione tecnologica e la tutela ambientale per progettare società ed economie migliori è sempre stata una sfida difficile da affrontare e, ad oggi, è diventata improrogabile. L'attenzione a livello globale rivolta verso un modello economico che miri a minimizzare i rifiuti e massimizzare l'efficienza produttiva ha generato delle risposte promettenti ai problemi legati all'inquinamento. L'analisi dei dati brevettuali mette in luce i risultati degli sforzi di ricerca da parte di istituzioni, università e aziende di tutto il mondo per trovare soluzioni ecosostenibili e si può apprezzare come attività innovative digitali inerenti allo sviluppo di software piuttosto che componenti hardware adibiti al calcolo computazionale, alla memorizzazione simultanea di dati o a metodi di condivisione ad hoc di contenuti tra dispositivi portatili contribuiscano ad alimentare costantemente le macro tendenze tecnologiche dell'industria 4.0, le quali racchiudono Internet of Things, intelligenza artificiale, Big data analytics e machine-to-machine. Il contributo delle innovazioni digitali, incluso anche quello presente nelle applicazioni verdi, è cresciuto nel corso degli anni con una velocità di incremento medio annuo superiore alle eco-tecnologie e, in generale, il maggior impatto percentuale in termini di brevetti assegnati e sviluppati si è verificato in Paesi come Stati Uniti, Canada, Singapore, Paesi Bassi, Francia, Svizzera e Germania, mostrando complessivamente una quota significativa di inventori residenti nei Paesi più industrializzati e una tendenza assegnazioni estere nei Paesi in via di sviluppo, come Sudafrica e India. Le ragioni di tali influenze possono essere di natura collaborativa, in quanto aziende o istituti di ricerca si trovano all'interno di cluster tecnologici o knowledge cluster caratterizzato da un ambiente internazionale, oppure di natura burocratica, quando sussiste un debole regime brevettuale e i ricercatori sono restii a non investire energie in progetti innovativi, data la mancanza di forti protezioni. Sebbene gli studi in ambito digitale abbiamo compiuto passi da gigante è interessante notare che ciò è stato accompagnato dalle conoscenze meccaniche e metodologie green. Infatti, i dati dei contributi green e digitali incrociati hanno dimostrato che la maggior parte dei brevetti digitali contenevano codici di sistemi di classificazione verdi. Infine, dalle analisi condotte sulla diffusione delle eco-innovazioni si può affermare con buona approssimazione che le tecnologie internet of things, big data analytics e machine-to-machine sono quelle candidate ad una maggiore propagazione in Europa, America e Australia, implicitamente desumibili dal numero elevato di brevetti inerenti ai sensori e alla memorizzazione dei dati. Invece il numero mediamente più basso di brevetti è stato individuato nelle tecnologie di oil spill cleanup che, insieme alle tecnologie di trasformazione di fanghi biologici in fertilizzanti, e ai metodi green di trattamento delle acque reflue, rappresentano gli ambiti in cui hanno centri di ricerca e cluster hanno investito minor risorse.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro condotto per questa tesi è stato di durata non trascurabile ed impegnativo, ma al contempo gratificante e con un impatto sulla mia personalità considerevole. Sento il dovere di esprimere profonda gratitudine nei confronti della relatrice, la professoressa Alessandra Colombelli, la quale mi ha dato l'opportunità di svolgere questo lavoro di tesi e consigliato sullo svolgimento strutturale della ricerca, e la correlatrice, la dott.ssa Chiara Ravetti, che mi ha seguito durante l'analisi empirica del lavoro sempre nelle migliori condizioni possibili. La loro disponibilità dimostratemi mi ha permesso di svolgere la tesi con serenità. Scrivere dei ringraziamenti dopo essere giunti alla fine di questo percorso è un po' difficile perché anche con l'enorme gioia di raggiungere un traguardo importante come la laurea, si ha sempre paura di perdere qualcosa, per esempio i colleghi, i professori nel proficuo rapporto di dare-ricevere (in senso lato), l'ambiente stesso di un'esperienza che costituisce una parte di vita fondamentale.

Vorrei ringraziare in primo luogo la mia famiglia, perché mi ha sempre confortato nei momenti difficili e detto che a volte nella vita non basta essere determinati per superare gli ostacoli, ma è necessario innamorarsi di essi per guardarli da un'altra prospettiva. Vorrei ringraziare i miei genitori perché non mi hanno fatto mai mancare il loro sostegno economico e il loro aiuto durante questi anni.

Un ringraziamento opportuno lo devo anche a tutti i miei amici colleghi che mi hanno dato fiducia e hanno condiviso con me questo percorso fatto di gioie, sofferenze, notti, speranze, ambizioni, urlate sempre con grande spirito SQUADRA: Christian, Ennio, Federica, Nicoletta, Erica, Angelica, Francesco, PUGLIA, Gianmarco, Salvadori, Simone, Mihail, Federico, Monica, Eleonora, Francesco Arcidiacono, Giorgio e Antonio Maione che è stato un punto di riferimento, grazie alla sua determinatezza e volontà. Nondimeno vorrei ringraziare i miei amici che mi sono stati accanto in questi giorni di permanenza a Torino con i quali ho condiviso bei momenti: Margherita, Gianni, Emanuele, Paola, Gaetano, Martina, Carmen, Eugenia, Christian, Ennio, Federica, Nicoletta, Erica, Antonio, Luca, Carlo, Simona, Julia, Filippo, Enrico, Francesco, Roberto e Totò, il quale ha sempre creduto in me.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) third assessment report*. Washington: U.S. G.P.O.
- [2] McCracken, K. and Phillips, D., n.d. *Global Health*.
- [3] 2021. Marmot MG. *Health and climate change*.
- [4] 2019. *Climate tipping points — too risky to bet against*. Timothy M. Lenton, Will Steffen & Hans Joachim Schellnhuber.
- [5] Beattie, G. and McGuire, L., 2019. *The psychology of climate change*.
- [6] Brulle, R., n.d. The climate lobby: a sectoral analysis of lobbying spending on climate change in the USA, 2000 to 2016.
- [7] 2014. Lobbying for and Against Subsidizing Green Energy. Thomas Eichner & Rüdiger Pethig.
- [8] 2020. World economic prospects. Oxford (Abbey House, 121 St Aldates, Oxford OX1 1HB): Oxford Economic Forecasting.
- [9] Rauland, V. and Newman, P., 2015. The Rise of Carbon Neutrality.
- [10] 2020. World Energy Outlook 2020. International Energy Agency.
- [11] Wurzbacher, J., 2017. Capturing CO2 from air.
- [12] Ashby, M., 2013. Materials and the environment. Waltham, Mass.: Butterworth-Heinemann.
- [13] Bibri, S., 2020. Advances in Eco-city Planning and Development: Emerging Practices and Strategies for Integrating the Goals of Sustainability.
- [14] Fantini, P., 2015. The Interplay Between Product-Services and Social Sustainability: Exploring the Value Along the Lifecycle.
- [15] Kaminker, C. and Stewart, F., 2011. The Role of pension fund in financing green growth initiative.
- [16] Claudi de Saint Mihiel, A. and Falotico, A., 2018. Verso la open green innovation.
- [17] Yang, J. and Roh, T., 2019. settings Open AccessArticle Open for Green Innovation: From the Perspective of Green Process and Green Consumer Innovation.

- [18] Ronco, J. and Pelosi, R., 2013. Open Innovation come modello di gestione della conoscenza per facilitare l'eco-innovazione.
- [19] Carrillo-Hermosilla, J. and Río del González, P., 2020. Policy strategies to promote eco-innovation.
- [20] Ilomäki, L., 2016. Digital competence – an emergent boundary concept for policy and educational research.
- [21] LOONELA, V., 2020. The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained.
- [22] Ronchi, E., Morabito, R., Federico, T. and Barberio, G., 2019. Un green new deal per l'Italia.7
- [23] Ghosh, S., 2020. Circular Economy. Singapore: Springer.
- [24] Weaver, P., 2000. Sustainable technology development. Sheffield, South Yorkshire, England: Greenleaf Pub.
- [25] 2017. Large Energy Storage Systems Handbook. CRC Pr I Llc.
- [26] Heath, G., 2009. Life cycle assessment of thermal energy storage. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- [27] Author unknown., 2010. Rural Biomass Energy 2020. Asian Development Bank.
- [28] Goswami, D. and Kreith, F., 2008. Energy conversion. Boca Raton: CRC Press
- [29] Chen, J., 2016. A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China.
- [30] Li, D. and Chen, Y., 2012. Computer and computing technologies in agriculture V. Heidelberg: Springer.
- [31] Killi, S., 2017. Additive Manufacturing. London: CRC Press.
- [32] Mrugalska, B., Trzcielinski, S., Karwowski, W., Di Nicolantonio, M. and Rossi, E., 2020. Advances in manufacturing, production management and process control. Cham: Springer.
- [33] Nelid, P., 2016. The Green Building. Rosen Classroom.
- [34] Tardif, M., 2012. Building Information Modeling. Wiley.
- [35] 2011. Digital Design and Manufacturing Technology II. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd.
- [36] Jakab, C., 2011. Waste management. New York: Marshall Cavendish Benchmark.
- [37] Epstein, E., 2011. Industrial composting. Boca Raton (Fla.): CRC Press.
- [38] Wang, L., 2019. Prediction of anaerobic digestion performance and identification of critical operational parameters using machine learning algorithms.
- [39] Crawford, R. and Crawford, D., 2009. Bioremediation. Cambridge, GBR: Cambridge University Press.

- [40] Chauhan, C., 2020. Contemporary voltammetric techniques and its application to pesticide analysis: A review.
- [41] Mariappan, R., 2012. Influence of molar concentration on the physical properties of nebulizer-sprayed ZnO thin films for ammonia gas sensor.
- [42] Terzis, A., 2018. Splashing characteristics of diesel exhaust fluid (AdBlue) droplets impacting on urea-water solution films.
- [43] Luiz Messa, L., 2019. Spray-dried potassium nitrate-containing chitosan/montmorillonite microparticles as potential enhanced efficiency fertilizer.
- [44] Chabert, A., 2019. Conservation agriculture as a promising trade-off between conventional and organic agriculture in bundling ecosystem services.
- [45] Lajoie-O'Malley, A., 2020. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents.
- [46] Charabi, Y., 2020. GHG emissions from the transport sector in Oman: Trends and potential decarbonization pathways.
- [47] Antonella, L., 2018. The discourse of eco-innovation in the European Union: An analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020.
- [48] Xiang, Y., 2020. Techno-economic design of energy systems for airport electrification: A hydrogen-solar-storage integrated microgrid solution.
- [49] Lee, S., 2008. Metabolic engineering of microorganisms for biofuels production: from bugs to synthetic biology to fuels.
- [50] Polater, A., 2019. Airports' role as logistics centers in humanitarian supply chains: A surge capacity management perspective.
- [51] Roso, V., 2020. Can digitalization mitigate barriers to intermodal transport? An exploratory study.
- [52] Lakshmi, E., 2020. An overview on the treatment of ballast water in ships.
- [53] Treutler, J., 2017. Combination of ORC system and electrified auxiliaries on a long-haul truck equipped with 48-Volt board net.
- [54] Mikalef, P., 2020. Building dynamic capabilities by leveraging big data analytics: The role of organizational inertia.
- [55] Kim, K., 2021. Improvement of signal and noise performance using single image super-resolution based on deep learning in single photon-emission computed tomography imaging system.
- [56] Zhang, P., 2020. On machinability and surface integrity in subsequent machining of additively-manufactured thick coatings: A review.
- [57] Chakraborty, S., 2020. Smart meters for enhancing protection and monitoring functions in emerging distribution systems.

SITOGRAFIA

Recyclind.it. 2020. Gestione rifiuti | Recycling Industry. [online] Available at:

<https://www.recyclind.it/ita/tag/61/gestionerifiuti/>

Barozzi, N. and Barozzi, N., 2020. In Svezia la prima strada intelligente che ricarica le auto elettriche in movimento — Fast2drive. [online] Fast2drive. Available at: <https://blog.fast2drive.it/blog/in-svezia-la-prima-strada-intelligente-che-ricarica-le-auto-elettriche-in-movimento>

Teknoring. 2020. eHighway: a cosa servono e come funzionano le autostrade elettrificate. [online] Available at: <https://www.teknoring.com/news/infrastrutture/ehighway-cosa-servono-funzionano-autostrade-elettrificate/>

asvis.it. 2020. Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile - Sito Ufficiale. [online] Available at: <https://asvis.it/goal17/home/311-4030/le-sfide-europee-tra-sviluppo-sostenibile-e-democrazia-in-crisi#>

2021. [online] Available at: <https://www.efanews.eu/item/2308-nuove-tecnologie-per-ridurre-gas-serra-e-ammoniaca-in-agricoltura.html>

Romano, A., 2021. Come limitare l'aumento delle temperature e continuare a dare energia al pianeta. La sfida titanica della crisi climatica. [online] Valigia Blu. Available at: <https://www.valigiablu.it/crisi-climatica-cosa-fare/>

Pellegrini, A., 2021. 4 Tecnologie innovative a supporto della sostenibilità ambientale. [online] Blog.pltpuregreen.it. Available at: <https://blog.pltpuregreen.it/green-factor/sostenibilita/tecnologie-per-la-sostenibilita-ambientale#tecnologia-per-catturare-e-stoccare-la-Co2>

IEA. 2021. World Energy Outlook 2020 – Analysis - IEA. [online] Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

Tech Economy 2030. 2021. Digitale e Green Deal priorità della UE: quali le sfide da vincere? | Tech Economy 2030. [online] Available at: <https://www.techeconomy2030.it/2020/03/11/digitale-e-green-deal-priorita-ue/>

Expobiomasa. 2021. Le biomasse digitali implementano sistemi innovativi di tracciamento delle emissioni. [online] Available at: <https://www.expobiomasa.com/it/contenuto/la-biomassa-digitale-implementa-sistemi-innovativi-di-rilevamento-delle-emissioni>

Extrasys.it. 2021. Le 5 migliori tecnologie per i Big Data per l'estrazione, la gestione e l'analisi dei dati. [online] Available at: <https://www.extrasys.it/it/redblog/tecnologie-big-data-etl>

Climate Action - European Commission. 2021. 2020 climate & energy package - Climate Action - European Commission. [online] Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en

UFAM, U., 2021. Come ridurre le emissioni di CO2: 10 esempi innovativi. [online] Bafu.admin.ch. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/clima/dossier/conferenza-parigi-cop21-clima/come-ridurre-le-emissioni-di-co2--10-esempi-innovativi.html#-1958937921>

Oceanservice.noaa.gov. 2021. How does NOAA help clean up oil and chemical spills?. [online] Available at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/spills-cleanup.html>

TODAYonline. 2021. How Singapore can tap carbon capture technology to fight climate change post-Covid-19. [online] Available at: <https://www.todayonline.com/commentary/how-singapore-can-use-carbon-capture-technology-tackle-climate-change-post-pandemic-world>

Netapp.com. 2021. What Is High-Performance Computing (HPC)? How It Works | NetApp. [online] Available at: <https://www.netapp.com/data-storage/high-performance-computing/what-is-hpc/>

Wood, T., 2021. Global Stars: The Most Innovative Countries, Ranked by Income Group. [online] Visual Capitalist. Available at: <https://www.visualcapitalist.com/national-innovation-the-most-innovative-countries-by-income/>

Energia-plus.it. 2021. [online] Available at: http://energia-plus.it/le-macchine-possono-pensare-il-potenziale-dalla-ai-per-motori-e-azionamenti_92672/

Energia-plus.it. 2021. [online] Available at: http://energia-plus.it/lintelligenza-artificiale-di-microsoft-per-la-sostenibilita-ambientale_87443/

Dataskills. 2021. IoT, Intelligenza Artificiale e sostenibilità: come la tecnologia ci aiuta a prenderci cura del nostro pianeta | Dataskills. [online] Available at: https://www.dataskills.it/iot-e-ambiente/#Lotta_al_bracconaggio

Geopillole | Nicola De Innocentis. 2021. Le tipologie di sensore - Geopillole | Nicola De Innocentis. [online] Available at: <https://www.nicoladeinnocentis.it/le-tipologie-di-sensore>

Meti.go.jp. 2021. Joint Meeting of the First Meeting of the Green Innovation Strategy Meeting and the First Meeting of the Working Group for the Green Innovation Strategy Meeting Held. [online] Available at: https://www.meti.go.jp/english/press/2020/0707_003.html

Shaping Europe's digital future - European Commission. 2021. High Performance Computing, our ally for climate simulations and early warnings - Shaping Europe's digital future - European Commission. [online] Available at: [https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/high-performance-computing-our-ally-climate-simulations-and-early-warnings#:~:text=High%20Performance%20Computing%20\(HPC\)%20is,forecasting%20and%20earth%20resource%20evolution.&text=These%20simulations%20require%20significant%20computing,provided%20by%20High%20Performance%20Computing.](https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/high-performance-computing-our-ally-climate-simulations-and-early-warnings#:~:text=High%20Performance%20Computing%20(HPC)%20is,forecasting%20and%20earth%20resource%20evolution.&text=These%20simulations%20require%20significant%20computing,provided%20by%20High%20Performance%20Computing.)

Gómez, M. and Rodríguez, J., 2021. Innovation Trends in South Korea. [online] Publications.waset.org. Available at: <https://publications.waset.org/9999463/innovation-trends-in-south-korea>

la Repubblica. 2021. Cambiamenti climatici, così scopriamo la grandine dal satellite. [online] Available at: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/30/news/scoprire_la_grandine_dal_satellite-280409231/

HPCwire. 2021. Meet the Supercomputer-Powered Hurricane Tool That Saves Lives. [online] Available at: <https://www.hpcwire.com/2020/10/12/meet-the-supercomputer-powered-hurricane-tool-that-saves-lives/>

Geopillole | Nicola De Innocentis. 2021. Le tipologie di sensore - Geopillole | Nicola De Innocentis. [online] Available at: <https://www.nicoladeinnocentis.it/le-tipologie-di-sensore>

Piano d'azione per l'ecoinnovazione - European Commission. 2021. Il contributo pratico delle TIC alla crescita sostenibile - Piano d'azione per l'ecoinnovazione - European Commission. [online] Available at: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/good-practices/eu/411_it

Energy - European Commission. 2021. Digitalisation - Energy European Commission. [online] Available at: https://ec.europa.eu/energy/topics/technology-and-innovation/digitalisation_en

HPCwire. 2021. Meet the Supercomputer-Powered Hurricane Tool That Saves Lives. [online] Available at: <https://www.hpcwire.com/2020/10/12/meet-the-supercomputer-powered-hurricane-tool-that-saves-lives/>

Shaping Europe's digital future - European Commission. 2021. High Performance Computing, our ally for climate simulations and early warnings - Shaping Europe's digital future - European Commission. [online] Available at: [https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/high-performance-computing-our-ally-climate-simulations-and-early-warnings#:~:text=High%20Performance%20Computing%20\(HPC\)%20is,forecasting%20and%20earth%20resource%20evolution.&text=These%20simulations%20require%20significant%20computing,provided%20by%20High%20Performance%20Computing.](https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/high-performance-computing-our-ally-climate-simulations-and-early-warnings#:~:text=High%20Performance%20Computing%20(HPC)%20is,forecasting%20and%20earth%20resource%20evolution.&text=These%20simulations%20require%20significant%20computing,provided%20by%20High%20Performance%20Computing.)

Emilio, M., Garbillo, D., Casini, S., Canna, F., Post, L., Intelligenza artificiale, r., Post, C. and Deep Learning, a., 2021. Intelligenza artificiale, deep learning e machine learning: quali sono le differenze? [online] Innovation Post. Available at: <https://www.innovationpost.it/2018/02/14/intelligenza-artificiale-deep-learning-e-machine-learning-quali-sono-le-differenze/>

Vaisala. 2021. Digestione anaerobica: come sfruttare al meglio i rifiuti. [online] Available at: <https://www.vaisala.com/it/blog/2020-01/digestione-anaerobica-come-sfruttare-al-meglio-i-rifiuti>

D' Angelo, G. and Fioretto, F., 2021. Sostenibilità 4.0: sarà l'Additive Manufacturing a farla? - Leadership & Management Magazine. [online] Leadership & Management Magazine. Available at:

<https://www.leadershipmanagementmagazine.com/articoli/sostenibilita-4-0-sara-ladditive-manufacturing-farla/>

Cordis.europa.eu. 2021. CORDIS | European Commission. [online] Available at: <https://cordis.europa.eu/article/id/422225-private-finance-for-energy-efficiency-new-solutions-for-funding-europes-energy-transition/it>

Büchele, R., 2021. Die Digitalisierung in der GreenTech-Branche. [online] Roland Berger. Available at: <https://www.rolandberger.com/de/Publications/Die-Digitalisierung-in-der-GreenTech-Branche.html>

Energia-plus.it. 2021. [online] Available at: http://energia-plus.it/lintelligenza-artificiale-di-microsoft-per-la-sostenibilita-ambientale_87443/

UK charity fighting global poverty | Christian Aid | Mediacentre. 2021. 15 climate disasters of 2019 that cost more than \$1 billion - UK charity fighting global poverty | Christian Aid | Mediacentre. [online] Available at: <https://mediacentre.christianaid.org.uk/strongnew-report-2019-saw-world-counting-the-cost-of-climate-breakdown-strong/>

Policy, R., 2021. Research Policy. [online] Journals.elsevier.com. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/research-policy>

Lista Tabelle

Fig. 2.2.1 Struttura base dell'International Patent Classification.

Fig. 2.2.2 Suddivisione delle tecnologie brevettabili in sezioni.

Fig. 2.2.3 Esempio di struttura base classificazione giapponese File Index.

Fig. 2.2.4 Esempio di classificazione giapponese con schema F-terms.

Tab. 2.3.1 Tecnologie brevettabili appartenenti all'area di gestione ambientale della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.2 Tecnologie relative alla generazione di energia della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.3 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale del trasporto della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.7 Tecnologie brevettabili appartenenti allo stoccaggio di gas serra della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.4 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale dell'edilizia della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.5 Tecnologie brevettabili appartenenti all'area di gestione dei rifiuti della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab. 2.3.6 Tecnologie brevettabili appartenenti ai processi produttivi della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab 2.4.1 Tecnologie appartenenti alla famiglia brevettuale del trasporto della classificazione ENV-TECH guidata dall'OCSE.

Tab.2.7.1 Incremento percentuale dei brevetti verdi inerenti alle tecnologie per la conservazione e distribuzione dell'acqua.

Fig. 2.7.3 Distribuzione dei brevetti riguardanti la thermal performance of building secondo l'anno di pubblicazione

Tab.2.9.1 Evoluzione temporale dei contributi incrociati di invenzioni verdi e digitali.

Lista Figure

Fig.1.7.1 Global Carbon Project IEA (2019).

Fig. 1.7.2 Sistemi No Ballast.

Fig.1.7.3 Sistema di elettrificazione conduttivo.

Fig. 2.6.1 Mappatura grezza di brevetti verdi nel mondo.

Fig. 2.6.2 Dinamica temporale dei brevetti annessi alla cattura ed immagazzinamento dei gas serra.

Fig. 2.6.3 Mappatura grezza di brevetti nel mondo.

Fig. 2.6.4 Adozione pianificata e corrente delle tecnologie di storage da parte delle aziende.

Fig. 2.6.5 Mappatura grezza normalizzata di brevetti verdi in Italia e nel mondo.

Fig. 2.6.6 Mappatura grezza normalizzata di brevetti digitali in Italia e nel mondo.

Fig.2.7.1 Evoluzione temporale dei brevetti verdi inerenti all'abbattimento dell'inquinamento delle acque.

Fig.2.7.2 Evoluzione temporale dei brevetti verdi inerenti alle tecnologie per la conservazione e distribuzione dell'acqua.

Fig. 2.7.3 Distribuzione dei brevetti riguardanti la thermal performance of building secondo l'anno di pubblicazione.

Fig. 2.8.1 Evoluzione temporale dei brevetti J tag più rilevanti.

Fig. 2.9.1 Contributi incrociati di invenzioni verdi e digitali suddivisi per anno di cessione e anno di priorità.

Fig. 2.9.2 Andamento brevetti ENV-TECH e J Tag sulla base dell'ultimo anno di concessione.

Fig. 2.10.1 R&S nel settore dell'energia pubblica come quota del PIL in paesi selezionati, 2012-2019.

Fig. 2.10.2 Mappatura dei brevetti verdi e digitali assegnati ai Paesi più esposti all'innovazione e geografia degli inventori.

Fig.2.10.3 Mappatura delle tecnologie con carattere prevalente green o digitale sviluppate nei Paesi candidati.

Fig. 2.10.4 Percentuale di invenzioni totali (verdi e digitali) brevettate e assegnate alle aziende dei Paesi selezionati.

Fig. 2.10.5 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

Fig. 2.10.6 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

Fig. 2.10.7 Andamento temporale dei brevetti green e digitali assegnati nei Paesi candidati.

Fig. 2.10.8 Diffusione dei brevetti relativi ai maggiori trend tecnologici settoriali nei Paesi candidati.

Fig. 2.10.9 Quote percentuali d'impatto incrociato delle componenti verdi e digitali per tecnologia settoriale e per Paese candidato.

Fig. 2.10.10 Quote percentuali di brevetti verdi e digitali assegnati ai Paesi candidati con maggior e minor influenza nelle tecnologie settoriali di riferimento.