

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Il contributo della tecnologia blockchain nell'attivazione di un behavioral change nei cittadini volto alla sostenibilità ambientale



**Politecnico
di Torino**

Relatore:
Prof. Carlo Cambini

Candidato:
Mattia Francesco
Grijuela Passamani
Matr. s292982

In collaborazione con
Links Foundation

Dott. Enrico Ferro
Dott. Roberto Moncada

Anno accademico 2022/2023

INDICE

Introduzione	5
1 Obiettivi di ricerca	
1.1 I settori cardine	9
2 Stato dell'arte	
2.1 Crisi climatica	11
2.1.1 Climaborough	15
2.1.2 Behavioral change dei cittadini	17
2.2 Smart city	23
2.2.1 Definizione di smart city	24
2.2.2 Contributo dell'ICT allo sviluppo di una smart city	26
2.2.3 Smart governance e coinvolgimento dei cittadini	30
2.2.4 Blockchain per le smart cities	34
2.3 Blockchain	37
2.3.1 Distributed Ledger Technologies e Blockchain	37
2.3.2 Crittografia asimmetrica e funzione di hash	39
2.3.3 I meccanismi di consenso	42
2.3.4 Tokenizzazione e smart contracts	48
2.3.5 Classificazione degli ecosistemi blockchain	51
3 Metodologia e strumenti di ricerca	
3.1 Metodi di ricerca	54
3.1.1 Fonti	55
3.1.2 Database	55
3.1.3 Clustering	64
4 Applicazione metodologia	
4.1 Presentazione database	71
4.2 Settore dell'energia	76
4.3 Settore della mobilità	89
4.4 Settore dei rifiuti	105
5 Conclusioni	123

Introduzione

Esistono numerosi indizi scientifici inequivocabili che dimostrano in modo chiaro che il cambiamento climatico è un problema serio e urgente. La comunità scientifica concorda all'unanimità sul fatto che le attività umane siano responsabili della crisi climatica, principalmente a causa dell'aumento delle emissioni di gas serra nell'atmosfera. L'accumulo di CO₂ contribuisce all'aumento delle temperature globali, portando a eventi sempre più frequenti di inondazioni, siccità, instabilità del suolo, diffusione di malattie, crisi nel settore agricolo, carenze idriche ed estinzione di specie animali e vegetali. Non possiamo più rimanere inattivi, è necessario invertire la rotta. Allo stesso tempo, l'imponente aumento della popolazione mondiale negli ultimi secoli, insieme alla graduale crescita del potere d'acquisto dei paesi in via di sviluppo, ha contribuito ad aggravare l'insostenibilità dei modelli di consumo attuali. Il consumo accelerato delle risorse naturali del pianeta, senza dare loro il tempo di rigenerarsi, si è rivelato come una delle principali minacce per i sistemi socioeconomici moderni nel corso degli anni. L'insieme di questi fenomeni sta gradualmente, ma costantemente, spingendo il mondo verso un collasso ambientale, economico e sociale su scala globale. Stiamo vivendo un'epoca senza precedenti, dove l'umanità è chiamata ad agire unita per affrontare una serie di grandi sfide collettive. I governi, le imprese e gli individui attuali hanno una responsabilità enormi nei confronti delle generazioni future.

Come ha affermato il presidente Obama (2015) presentando il piano americano per l'energia pulita: "Siamo la prima generazione che subisce gli impatti del cambiamento climatico e l'ultima in grado di fare qualcosa al riguardo".

Per contrastare i cambiamenti climatici in corso, prima che diventino irreversibili, quasi tutti i paesi del mondo hanno aderito all'Accordo di Parigi. L'accordo di Parigi è un accordo internazionale sul cambiamento climatico che è stato adottato nel dicembre 2015 durante la Conferenza delle Parti delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico (COP21) tenutasi a Parigi, in Francia. L'obiettivo principale dell'accordo è quello di limitare l'aumento della temperatura media globale al di sotto dei 2 gradi Celsius rispetto ai livelli preindustriali e di perseguire sforzi per limitare l'aumento a 1,5 gradi Celsius al fine di ridurre i rischi e gli impatti derivanti dal cambiamento climatico. Esso promuove la cooperazione internazionale per affrontare il cambiamento climatico, riconoscendo che l'impatto del fenomeno è globale e richiede azioni concertate da parte di tutti i paesi.

In particolare, l'UE, in quanto aderente all'Accordo di Parigi con tutti i suoi stati membri, ha approvato la Legge europea sul clima, che innalza l'obiettivo di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 e rende giuridicamente vincolante la neutralità climatica entro il 2050. ([Parlamento europeo, 2023](#))

In uno scenario del genere, molti osservatori hanno identificato le città come il teatro principale nella battaglia contro il cambiamento climatico: oggi il 75% della popolazione europea vive nelle città. Un

dato destinato a crescere anche a livello mondiale, entro il 2050 il 70% della popolazione globale vivrà in città. ([Nazioni Unite, 2020](#))

Pur occupando uno spazio al 2-3% del totale terre emerse, per via di questa concentrazione di persone e attività, le città sono responsabili del 70% delle emissioni di anidride carbonica e sostanze inquinanti nonché di un importante consumo energetico e hanno quindi un forte impatto sui cambiamenti climatici.

Se le città sono il luogo principale dal quale deve partire questo cambiamento, la tecnologia, un coinvolgimento diretto dei cittadini e lo sviluppo di una governance partecipativa rappresentano gli ingredienti centrali e imprescindibili di tale cambiamento, nonché gli elementi fondanti di una Smart City. Una città intelligente è un'area urbana in cui l'utilizzo delle tecnologie digitali, in particolare lo sviluppo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, consente di ottimizzare e migliorare le infrastrutture e i servizi offerti ai cittadini, rendendoli più efficienti e sostenibili dal punto di vista ambientale, sociale ed economico.

Le smart cities si basano sull'esistenza di un'infrastruttura tecnologica interna che comprende sensori IoT, software e dispositivi intelligenti, tutti collegati tra loro tramite reti intelligenti. Questi strumenti sono in grado di raccogliere ed elaborare grandi quantità di informazioni, scambiandole reciprocamente, e consentono di sviluppare soluzioni intelligenti per affrontare problemi come la congestione del traffico, migliorare i consumi energetici, gestire in modo ottimale i rifiuti diminuendone la produzione e ottimizzandone lo smaltimento e per promuovere lo sviluppo di un behavioral change volto alla sostenibilità climatica nei cittadini.

Spesso, infatti, la tecnologia da sola non è sufficiente e il successo delle applicazioni volte alla sostenibilità ambientale dipende dalla collaborazione con il comportamento umano e, soprattutto, dalla capacità di stimolare un cambiamento comportamentale nei singoli cittadini. Questo può essere ottenuto attraverso un'offerta migliorata di servizi, incentivi e informazioni.

In questa prospettiva, attualmente si presenta l'opportunità di utilizzare una nuova tecnologia che potrebbe avere un impatto molto significativo all'interno di una smart city, imponendosi come infrastruttura tecnologica alla base di innumerevoli soluzioni e applicazioni all'interno di essa.

Tale tecnologia è la Blockchain, la quale, grazie alle sue caratteristiche tecniche, ha le potenzialità per fornire un grande contributo sia allo sviluppo di servizi migliori sia nel favorire un cambiamento comportamentale volto alla sostenibilità climatica nei cittadini.

Questo lavoro di tesi, realizzato in collaborazione con Links Foundation, ente di ricerca ed innovazione che prende parte ad un progetto europeo di nome Climaborough , il quale ha come obiettivo di trovare soluzioni per ridurre le emissioni CO2 nelle città coinvolgendo 15 Nazioni europee, si pone proprio l'obiettivo di identificare il contributo che può fornire la tecnologia blockchain nell'attivare un cambiamento comportamentale nei cittadini, volto alla sostenibilità ambientale, all'interno di una smart city e di valutare l'attuale diffusione e livello di maturità delle soluzioni basate su questa tecnologia.

Capitolo 1

Obiettivi di ricerca

In questa sezione vengono presentati e descritti gli obiettivi della ricerca alla base del lavoro di tesi e le domande alla quali si è cercato di fornire una risposta.

Il lavoro di tesi nasce da una collaborazione con l'ente di ricerca ed innovazione Links Foundation che rientra tra le organizzazioni partecipanti al progetto europeo Climaborough, finanziato dal programma di ricerca europeo Horizon Europe. Questo progetto intende testare in 14 città europee approcci innovativi di pianificazione urbana che possano accompagnarle verso una transizione ecologica e digitale con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, ovvero entro la deadline fissata dalla Legge europea sul clima. Le sperimentazioni si concentrano su quattro settori specifici: energia, trasporti, rifiuti, economia circolare. Le città coinvolte nella sperimentazione lavoreranno per testare nuovi servizi e tecnologie che consentano alle città di ridurre drasticamente ed eliminare la produzione di CO2 promuovendo il più possibile una partecipazione attiva dei cittadini, considerata condizione imprescindibile per raggiungere la neutralità climatica.

L'obiettivo di Climaborough è duplice, da un lato vuole far emergere le best practices esistenti all'interno di una smart city in grado di contrastare efficacemente il cambiamento climatico coinvolgendo start-up, fornitori di soluzioni e autorità locali con particolare attenzione a quelle realtà in grado di attivare un behavioral change nei cittadini, dall'altro vuole combattere i numerosi colli di bottiglia nella transizione dalla prototipazione alla sperimentazione dell'innovazione e dalla sperimentazione di successo alla diffusione sul mercato. Nello specifico dominio della neutralità climatica, un'evidenza particolarmente sconcertante è che pochissime soluzioni vincenti si diffondono effettivamente, guadagnando la massa critica necessaria per trasformare i fornitori di soluzioni da start-up promettenti a "unicorni" paneuropei". Al contrario, la ruota tende a reinventarsi ogni volta localmente e i confini amministrativi delle Città che partecipano alle azioni pilota tendono a diventare muri e barriere insormontabili alla replica, in particolare da Paese a Paese.

Questa ricerca, tuttavia, si focalizza specificamente sul primo obiettivo di Climaborough dei due appena citati, ovvero identificare le migliori soluzioni esistenti in grado di sfruttare al meglio l'infrastruttura tecnologica delle città per contrastare efficacemente il cambiamento climatico nei settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e dell'economia circolare, ponendo in particolare l'attenzione su quelle soluzioni che coinvolgono i cittadini in prima persona promuovendo in loro un cambiamento comportamentale. Il problema con i sistemi delle smart city finora concepiti, infatti, è che si concentrano principalmente sul monitoraggio, la raccolta e l'analisi dei dati e si focalizzano

principalmente sulle politiche di offerta, come ad esempio la riduzione automatica dell'approvvigionamento energetico durante le ore non di punta, l'ottimizzazione dei sistemi semaforici per favorire il trasporto pubblico e l'avviso agli operatori di pulizia in caso di eccesso di rifiuti. Sebbene questi sforzi siano necessari e rappresentino un miglioramento rispetto al passato, non affrontano i comportamenti individuali che contribuiscono alle sfide urbane. Come possiamo incoraggiare le persone a ridurre il consumo di energia e acqua nelle proprie abitazioni? Come possiamo incentivare i pendolari a utilizzare il trasporto pubblico o mezzi di trasporto non motorizzati invece delle auto private? Come possiamo ridurre la produzione di rifiuti nelle case e nelle aziende? Solo promuovendo e incentivando un cambiamento nei comportamenti dei cittadini, le smart city possono sperare di raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica.

Complementarmente all'attenzione posta sull'importanza del behavioral change nei cittadini, il secondo argomento principale che caratterizza il lavoro di tesi è la tecnologia Blockchain. A distanza di quattordici anni dalla sua nascita la blockchain rappresenta oggi un paradigma e una piattaforma di innovazione che permette di dare nuove risposte a tanti e diversi bisogni di imprese, organizzazioni, cittadini e consumatori. In particolare, essendo una tecnologia che consente la registrazione permanente, immutabile e trasparente di dati e transazioni, senza richiedere la presenza di potenti intermediari per la loro autenticazione e processione si inserisce perfettamente in ambienti in cui sono presenti molteplici stakeholder e bassi livelli di fiducia tra gli attori, che è una delle caratteristiche principali delle complessità e della governance delle attuali città urbane. Essa consente e moltiplica le possibilità di modelli di interazione che non potrebbero essere progettati dai tradizionali modelli centralizzati, risolvendo gravi problemi di privacy, sicurezza e fiducia diventando l'infrastruttura tecnologica abilitante di diverse possibili soluzioni. Inoltre, tramite processi di tokenizzazione del valore, la tecnologia blockchain è in grado di promuovere una maggiormente equa distribuzione del valore generato all'interno del sistema generando dei sistemi incentivanti per comportamenti virtuosi maggiormente efficaci di quelli tradizionali.

In particolare, questo lavoro di tesi, ha l'ambizione di identificare il contributo che tale tecnologia può fornire nell'attivare un cambiamento comportamentale nei cittadini, volto alla sostenibilità ambientale, all'interno di una smart city e di valutare l'attuale diffusione e livello di maturità delle soluzioni basate su di essa, ponendosi i seguenti obiettivi:

- Identificare le principali soluzioni presenti sul mercato nei settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e dell'economia circolare all'interno di una smart city per combattere il cambiamento climatico, prestando particolare attenzione a quelle che abilitano un cambio comportamentale nei cittadini.
- Valutare l'impatto che può dare la tecnologia blockchain nello sviluppo di soluzioni di sostenibilità ambientale che basano la loro efficacia sull'attivazione di un behavioral change nei cittadini all'interno di una smart city.

1.1 I settori cardine

Come visto precedentemente una smart city, o città intelligente, è un'area urbana in cui le tecnologie digitali vengono utilizzate in modo integrato e innovativo per migliorare la qualità della vita dei cittadini, l'efficienza delle infrastrutture e i servizi pubblici. L'obiettivo principale di una smart city è quello di migliorare la qualità della vita dei suoi abitanti e di promuovere lo sviluppo economico, creando un ambiente inclusivo e sicuro che permetta di raggiungere una maggiore sostenibilità della vita a 360 gradi, sia dal punto di vista economico, ambientale e sociale.

Essa sfrutta la presenza diffusa di un'infrastruttura di IoT composta da dispositivi intelligenti in grado di acquisire, elaborare, scambiare e generare una innumerevole quantità di dati per creare, insieme ad algoritmi di intelligenza artificiale che sfruttano i dati raccolti da tali dispositivi, servizi più efficienti per migliorare la vita dei cittadini all'interno della città. Per estrarre il 100 % del valore da questa infrastruttura tecnologica è fondamentale che vi sia una grande interoperabilità di informazioni e che si sviluppino relazioni tra una pluralità di stakeholders che non si conoscono l'uno con l'altro. È evidente quindi come emergano diversi temi di privacy, di accuratezza dei dati, di fiducia e di sicurezza delle transazioni che i tradizionali sistemi centralizzati di certificazione e convalida fanno fatica ad affrontare. In questo contesto, la tecnologia blockchain è sempre più vista come uno strumento per aumentare la trasparenza e la tracciabilità dei dati nelle città intelligenti. Al fine di fornire servizi urbani efficienti, è fondamentale per una città garantire scambi di dati efficaci tra le diverse parti interessate della città. Blockchain consente ai partecipanti alla rete di scambiare dati con un elevato grado di affidabilità e trasparenza, senza dover dipendere da un amministratore centralizzato, aumentando la velocità delle transazioni e riducendo i costi di transazione e creando così servizi più efficienti e per questo sta attirando sempre più l'attenzione delle aziende e delle istituzioni pubbliche. Il suo impatto, unito all'impatto della tecnologia presente nelle smart city, permette di migliorare i servizi di tutti i settori coesistenti all'interno di una città come la sanità, l'amministrazione pubblica, i trasporti, l'energia, i rifiuti, la didattica, il settore finanziario e assicurativo, quello legale e molti altri.

Questa ricerca, in collaborazione con Links Foundation che rientra tra i partecipanti al progetto europeo Climaborough, si focalizza esclusivamente sul punto di vista ambientale e più in particolare sui settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e dell'economia circolare. Il progetto europeo, infatti, mira a identificare le best practices esistenti in grado di contrastare efficacemente il cambiamento climatico all'interno di una smart city e a favorire la loro diffusione sul mercato. Il lavoro di tesi si pone l'obiettivo di contribuire identificando le migliori soluzioni per la sostenibilità ambientale presenti in ognuno dei quattro settori di riferimento appena citati, con particolare attenzione a quelle che abilitano un cambio comportamentale negli utenti, e mostrando il contributo

che la tecnologia blockchain può dare allo sviluppo di tali soluzioni, in termini di servizi e incentivi migliori.

In questo ambiente dinamico e orientato all'innovazione, il progetto di tesi si svilupperà con l'obiettivo di fornire risposte alle seguenti domande di ricerca:

- Quale ecosistema di soluzioni può essere definito per i vari settori analizzati? Ovvero, quali sono le principali soluzioni presenti sul mercato nei settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e dell'economia circolare all'interno di una smart city per combattere il cambiamento climatico?
- Quali di esse basano la loro efficacia sulla capacità di attivare un behavioral change nei cittadini e come lo attivano?
- Quale contributo può dare la tecnologia blockchain nell'attivare un cambio comportamentale volto alla sostenibilità ambientale nei cittadini all'interno di una smart city?

Capitolo 2

Stato dell'arte

Il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di rispondere a due domande di ricerca (Capitolo 1) che si fondano su tre macro-argomenti: l'importanza di un maggiore coinvolgimento dei cittadini nella lotta al cambiamento climatico, l'importanza delle smart city per lo sviluppo di una società maggiormente sostenibile e il possibile contributo della tecnologia blockchain nell'attivare un cambio comportamentale nei cittadini. Per poter raggiungere gli obiettivi di ricerca è risultato necessario lo studio sincrono dell'attuale crisi climatica, del concetto di smart city e della tecnologia blockchain. Di seguito viene, quindi, riportata una panoramica sull'attuale stato dell'arte dei tre macro-argomenti prima citati. In particolare, nella prima sezione l'attenzione viene posta sull'attuale crisi climatica e sulle manovre in atto per cercare di limitarne l'impatto, ponendo particolare attenzione sul progetto europeo Climaborough e sull'importanza di un coinvolgimento maggiore dei cittadini. La seconda sezione, invece, descrive il concetto di smart city, concentrandosi sul contributo che la tecnologia può offrire, insieme a un modello di governance partecipativo, allo sviluppo di una società maggiormente sostenibile. Infine, la terza sezione, si concentra sulla tecnologia blockchain, soffermandosi sul suo funzionamento, sulle sue caratteristiche principali e sulle diverse tipologie.

2.1 Crisi climatica

La crisi climatica è una delle sfide più urgenti che l'umanità deve affrontare. Si riferisce ai cambiamenti significativi a lungo termine nel clima della Terra, che sono causati principalmente dall'uomo, in particolare dalle emissioni di gas serra. Il principale gas serra responsabile dell'aumento delle temperature globali è il diossido di carbonio (CO₂), che viene emesso principalmente dalla combustione di combustibili fossili come il carbone, il petrolio e il gas naturale per produrre energia ed alimentare le attività umane.

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land use change is not included.

Our World
in Data

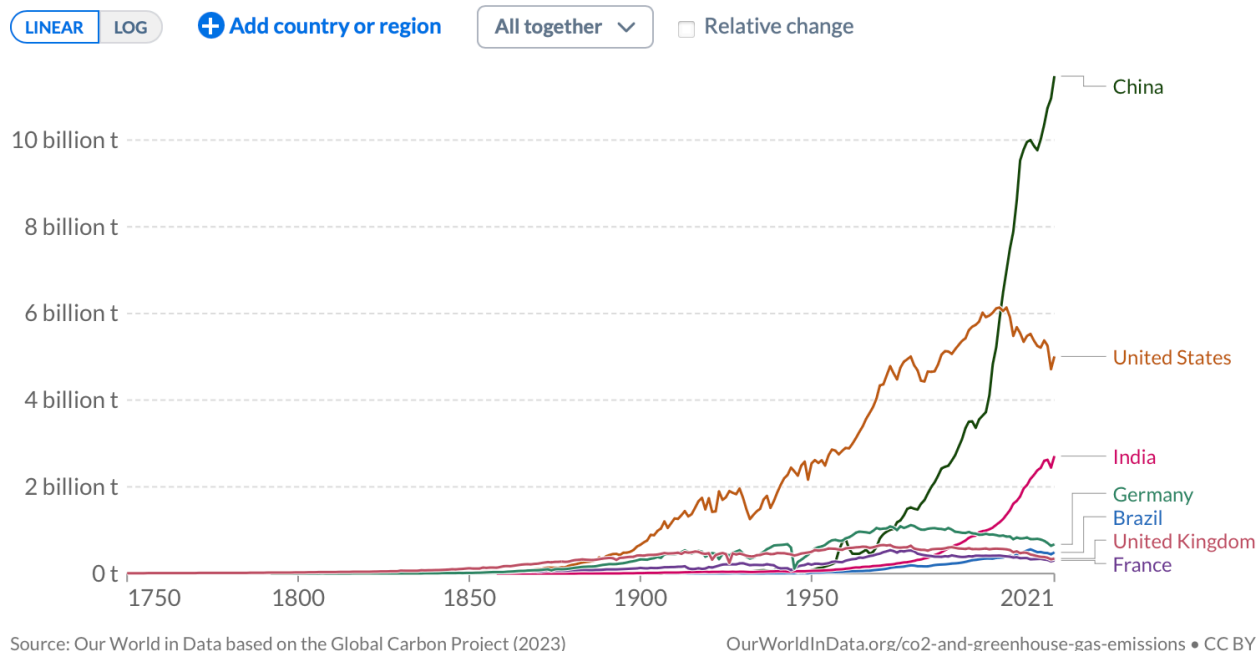


Figura 2.1: Emissioni annue CO₂ Our World in Data (2020)

Quando la luce solare raggiunge la Terra, parte dell'energia viene assorbita dalla superficie terrestre e rilasciata sotto forma di radiazione infrarossa. I gas serra presenti nell'atmosfera, come la CO₂, intrappolano parte di questa radiazione termica e la riemettono verso la superficie terrestre. Questo effetto funge da "coperta termica", trattenendo il calore nell'atmosfera e mantenendo una temperatura media adatta alla vita.

Tuttavia, l'eccessiva emissione di CO₂ e di altri gas serra causata dalle attività umane sta aumentando l'effetto serra. L'aumento delle concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera agisce come un isolante extra, trattenendo più calore nella biosfera terrestre. Questo comporta un aumento delle temperature superficiali, noto come riscaldamento globale.

Le tendenze della temperatura globale sono un indicatore importante dell'entità del cambiamento climatico e dei suoi possibili impatti. La temperatura globale annuale vicino alla superficie è in costante aumento dalla fine del XIX secolo. Il tasso di aumento è stato particolarmente elevato dagli anni '70 a circa 0,2°C per decennio. In questo periodo, la temperatura globale è aumentata più rapidamente che in qualsiasi altro periodo di 50 anni per almeno 2000 anni, con gli ultimi 7 anni (2015-2021) che sono stati i più caldi mai registrati. Tutti i set di dati di temperatura utilizzati qui collocano l'anno 2021 come uno dei sei anni più caldi mai registrati, con intervalli di anomalia compresi tra 1,09°C e 1,16°C al di sopra dei livelli preindustriali. ([European Environment Agency, 2022](#))

Quest'ultima continuerà ad aumentare nel corso di questo secolo a causa di ulteriori aumenti previsti delle concentrazioni di gas serra.

Le proiezioni climatiche riassunte nel progetto IPCC AR5 ([IPCC, 2013](#)) svolto dall'università di Cambridge identifica infatti 3 possibili scenari, secondo cui la temperatura globale aumenterà entro la metà del secolo di 0,4-1,6 ° C per il percorso di concentrazione rappresentativo più basso disponibile , di 0,9–2,0 °C per il percorso intermedio, e di 1,4–2,6 °C per lo scenario di emissioni più elevate, arrivando a un aumento di 3.5 °C rispetto ai livelli preindustriali per la fine del secolo.

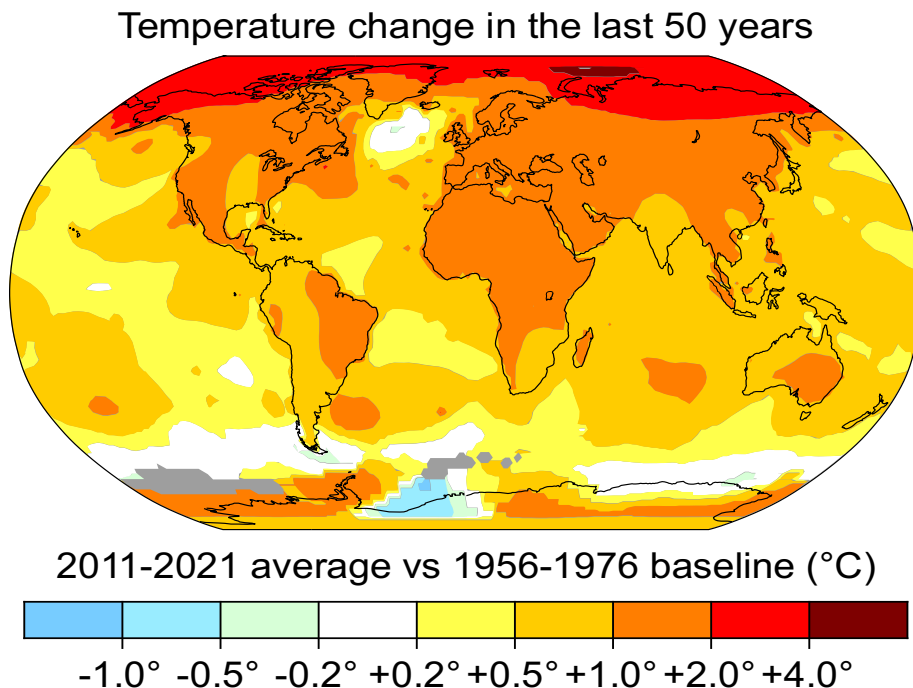


Figura 2.2: Variazione temperature globali

Le conseguenze della crisi climatica sono molteplici e diffuse. Questo aumento della temperatura media globale sta causando il disgelo dei ghiacciai e delle calotte polari, l'aumento del livello del mare e l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, come uragani, inondazioni e siccità. Ciò ha conseguenze devastanti per gli ecosistemi naturali, la biodiversità e la sopravvivenza di molte specie, nonché per la vita umana e le comunità che dipendono dagli equilibri ecologici stabili.

La crisi climatica ha anche impatti economici, sociali e sanitari significativi. Può minacciare la sicurezza alimentare, causare conflitti per le risorse naturali scarseggianti, compromettere le infrastrutture e le economie locali e causare il movimento forzato di popolazioni in cerca di ambienti più sicuri.

Per prevenire tali gravi impatti ambientali, economici e sociali dei cambiamenti climatici, tutti i firmatari della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) si sono impegnati nell'accordo di Parigi del 2015 a limitare l'aumento della temperatura globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali entro 2050 e al proseguimento degli sforzi per limitare l'aumento a 1,5°C. Il riscaldamento finora osservato ammonta già a più della metà dell'aumento massimo di 2°C che sarebbe compatibile con l'Accordo di Parigi. È necessario ridurre drasticamente

le emissioni di gas serra, promuovere l'efficienza energetica, aumentare l'uso di fonti di energia rinnovabile, proteggere le foreste e gli ecosistemi, adattarsi ai cambiamenti climatici in corso e sostenere lo sviluppo di tecnologie pulite e sostenibili.

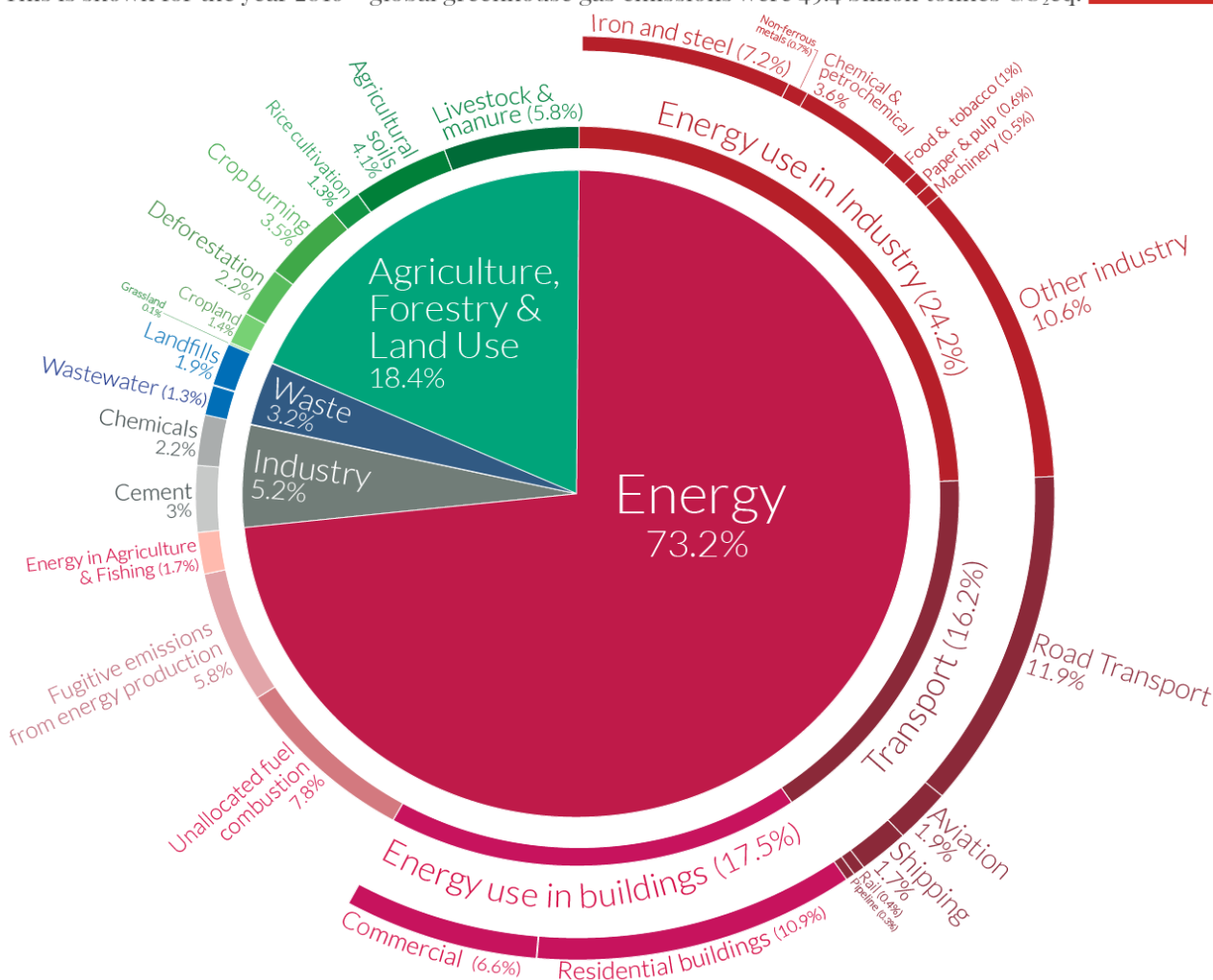
Per capire come possiamo ridurre le emissioni nel modo più efficace e quali emissioni possono e non possono essere eliminate con le tecnologie attuali, dobbiamo prima capire da dove provengono le nostre emissioni.

A questo scopo nel 2020 Our World in Data, una pubblicazione scientifica online che si concentra su grandi problemi globali come la povertà, le malattie, la fame, il cambiamento climatico, la guerra, i rischi esistenziali e la disuguaglianza, fondata da Max Roser, storico sociale ed economista dello sviluppo, ed avente sede presso l'università di Oxford, ha svolto una ricerca sulle emissioni globali di gas serra nel 2016, andando a differenziarle per i diversi settore responsabili.

Global greenhouse gas emissions by sector

Our World
in Data

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Figura 2.3: Emissioni CO₂ per settore Our World in Data (2020)

Tale ripartizione delle emissioni di CO₂ mostra come un'enorme pluralità di settori contribuiscano significativamente a tali emissioni e soprattutto come essi siano profondamente interconnessi tra di loro, come ad esempio il settore dell'energia, che da solo occupa quasi i tre quarti delle emissioni totali, e quello dei trasporti: il 16,2 % delle emissioni di CO₂ dovute all'energia prodotta sono riconducibili al settore dei trasporti, derivanti dalla combustione di combustibili fossili per alimentare il movimento delle macchine. Questo comporta che anche se riuscissimo in un prossimo futuro a decarbonizzare completamente la nostra fornitura di elettricità ciò non basterebbe per eliminare totalmente l'emissioni dovute al settore dell'energia. Dovremmo infatti essere in grado anche di elettrificare tutto il trasporto su strada per andare a colpire quel 16,2 % di emissioni. Lo stesso discorso vale anche per il riscaldamento domestico e per le innumerevoli altre interconnessioni presenti tra i diversi settori e ci suggerisce come per raggiungere il traguardo delle emissioni nette zero abbiamo bisogno di innovazioni in diversi settori. Le singole soluzioni non ci porteranno lì.

2.1.1 Climaborough

In questo scenario di emergenza climatica l'UE, in quanto aderente all'Accordo di Parigi con tutti i suoi stati membri, 11 dicembre 2019 ha presentato una strategia a lungo termine che si propone di trasformare l'Europa in un continente a impatto climatico zero entro il 2050, il Green Deal europeo, e il 24 giugno 2021 ha approvato la legge europea sul clima, che rende giuridicamente vincolante l'obiettivo di ridurre le emissioni del 55% entro il 2030 e la neutralità climatica entro il 2050. Il Green Deal europeo ha stimolato diversi progetti e iniziative a livello europeo per promuovere la transizione verso un'economia sostenibile e a basse emissioni di carbonio. Una di queste è il programma di ricerca e innovazione Horizon Europe, che finanzia progetti volti a sviluppare soluzioni innovative per affrontare le sfide ambientali, comprese quelle connesse al Green Deal europeo. Il suo obiettivo è promuovere l'eccellenza scientifica, la competitività e la trasformazione sociale ed economica attraverso l'innovazione. Il programma mira a sostenere la ricerca e lo sviluppo tecnologico, la cooperazione internazionale, nonché l'applicazione e l'implementazione delle conoscenze e delle soluzioni sviluppate.

In particolare, l'attenzione di questo Lavoro di tesi, che nasce da una collaborazione con l'ente di ricerca ed innovazione Links Foundation, è posta sul progetto europeo Climaborough¹, finanziato proprio dal programma di ricerca europeo Horizon Europe e al quale Links Foundation partecipa contribuendo come organizzazione leader per lo sviluppo dei work packages inerenti al market observatory, al market validation e all'exploitation strategy.

¹ Climaborough, project overview <https://climaborough.eu>

Climaborough intende testare in 14 città europee approcci innovativi di pianificazione urbana che possano accompagnarle verso una transizione ecologica e digitale con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. L'obiettivo di Climaborough è duplice: da un lato, vuole individuare le migliori pratiche esistenti nei contesti urbani in grado di sfruttare al meglio la tecnologia presente per contrastare efficacemente il cambiamento climatico coinvolgendo start-up, fornitori di soluzioni e autorità locali, con particolare attenzione a quelle soluzioni che coinvolgono i cittadini in prima persona. Dall'altro lato, mira a superare le sfide legate alla transizione dalla fase di prototipazione alla sperimentazione delle soluzioni innovative e dalla sperimentazione di successo alla loro diffusione sul mercato, applicando i principi della tecnologia circolare per riutilizzare e combinare prototipi di soluzioni esistenti.

Tuttavia, questa ricerca si concentra specificamente sul primo obiettivo di Climaborough, ovvero l'identificazione delle migliori soluzioni esistenti all'interno di una smart city in grado di sfruttare al meglio l'infrastruttura tecnologica presente per contrastare efficacemente il cambiamento climatico, mettendo particolare enfasi su quelle soluzioni che coinvolgono attivamente i cittadini.

Nel paragrafo precedente è emerso come per raggiungere il traguardo delle emissioni nette zero vi sia necessità di innovazioni in diversi settori e a questo proposito, il progetto europeo Climaborough ha identificato quattro macrosettori cardine sui quali concentrare in contemporanea i propri sforzi e investimenti, con l'obiettivo di coprire al massimo la grande pluralità di settori e di interconnessioni presenti tra di essi precedentemente emerse e raggiungere così il traguardo delle emissioni nette zero. Questi settori cardine sono quello dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e, strettamente collegato a quest'ultimo, quello dell'economia circolare. La scelta di Climaborough è coerente con i dati mostrati nella sezione precedente circa l'incidenza dei diversi settori in termini di emissioni di CO₂. Il settore dell'energia, escludendo le emissioni riconducibili all'energia consumata dal settore dei trasporti, è responsabile di oltre il 50% delle emissioni globali di CO₂ e rappresenta di conseguenza il settore maggiormente inquinante, soprattutto a causa dell'energia consumata per uso industriale e residenziale. Il settore dei trasporti si posiziona invece al secondo posto, contribuendo per oltre il 16% delle emissioni globali. Esso è un sottoinsieme del settore dell'energia ma viene considerato separatamente da quest'ultimo in quanto rappresenta una branca specifica dell'economia che si occupa della mobilità delle persone e delle merci e presenta delle politiche di intervento specifiche che si discostano da quelle impiegate per ridurre i consumi energetici industriali o residenziali, come, ad esempio, il miglioramento della viabilità e la promozione del movimento fisico dei cittadini a sostituzione dell'uso della macchina. Di conseguenza, data anche l'alta rilevanza in termini di emissioni, merita di essere analizzato autonomamente.

Tuttavia, è importante notare che esso è strettamente legato al settore dell'energia in quanto dipende principalmente dai combustibili fossili, come benzina e diesel, per alimentare i veicoli.

Osservando la figura 2 si nota come, in realtà, le emissioni dovute all'agricoltura, alla silvicoltura e allo sfruttamento della terra, superino quelle attribuibili al settore dei trasporti, contribuendo per oltre il 18% alle emissioni globali. Tale categoria di emissioni, però, è estremamente differenziata al

suo interno, e di conseguenza non è identificabile come un unico settore nel quale poter concentrare i propri sforzi.

Infine, Climaborough si concentra sui settori dei rifiuti e dell'economia circolare. Essi non vengono analizzati separatamente data la grande interconnessione presente tra di loro. L'economia circolare, infatti, si basa sul concetto di ridurre, riutilizzare, riciclare e ripristinare i materiali e i prodotti, riducendo al minimo la generazione di rifiuti e massimizzando il loro valore economico.

La figura 2 attribuisce al settore dei rifiuti un peso, in termini di emissioni globali, pari al 3,2%. Tale studio, però, identifica in quel settore solo le emissioni attribuite alle acque reflue e alle discariche. In realtà il concetto di rifiuto, e il relativo concetto di riutilizzo, come vedremo in seguito, sono estendibili a tutti i diversi settori analizzati e per tale motivo assumono una rilevanza ancora maggiore in termini di lotta al cambiamento climatico, al pari dell'energia e dei trasporti.

2.1.2 Behavioral change dei cittadini

Il cambio comportamentale dei cittadini riveste un'importanza fondamentale nella lotta al cambiamento climatico. Mentre le politiche e le iniziative a livello governativo e aziendale svolgono un ruolo significativo nel ridurre le emissioni di gas serra, il coinvolgimento e l'azione individuale sono essenziali per affrontare questa sfida complessa. Ecco perché il cambio comportamentale dei cittadini è così importante. Le scelte quotidiane dei cittadini, come l'uso di trasporti pubblici, l'adozione di abitudini alimentari sostenibili, il risparmio energetico nelle case e l'acquisto di prodotti a basso impatto ambientale, possono contribuire a ridurre significativamente le emissioni di gas serra. Se milioni di persone apportano cambiamenti positivi nei loro stili di vita, l'impatto cumulativo può essere estremamente significativo. Per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica stabiliti dall'Unione Europea, non è sufficiente concentrarsi solo sulle politiche di offerta, come ad esempio la regolazione dell'approvvigionamento energetico durante le ore non di punta.

Senza affrontare il comportamento umano, il lato della domanda delle sfide urbane, è improbabile che le città possano risolvere le sfide critiche che si presentano oggi.

([BVA Nudge Consulting, 2019](#)).

Quando si parla di cambiamento comportamentale ci si riferisce al processo attraverso il quale un individuo modifica i propri comportamenti, abitudini, pensieri o emozioni per raggiungere uno scopo desiderato o migliorare la propria vita o quella degli altri. Questo processo può essere guidato da molteplici fattori, come la motivazione personale, l'educazione, l'influenza sociale o da qualche forma di incentivo. Il cambiamento comportamentale può essere positivo o negativo, a seconda degli obiettivi e delle conseguenze che produce. ([Michie et Al., 2011](#))

In particolare, Il cambiamento comportamentale per la sostenibilità ambientale si riferisce alla modifica degli atteggiamenti e dei comportamenti individuali e collettivi che portano a una riduzione dell'impatto ambientale negativo delle attività umane.

Come sottolinea uno studio della Commissione Europea sull'impatto dei cambiamenti comportamentali ([Faber et Al., 2012](#)) è importante, quando si parla di cambio comportamentale, distinguere due categorie di comportamento: azioni abituali e comportamenti pianificati. L'azione abituale comprende azioni frequentemente ripetute che non sono il risultato di un processo di pianificazione e spesso sono controllate consapevolmente solo la prima volta che vengono eseguite. Dopo che le persone hanno interiorizzato queste azioni, sono guidate da abitudini e routine. La modifica dell'azione abituale non richiede investimenti significativi come modifiche strutturali all'interno o all'esterno di un edificio o l'acquisto di automobili o attrezzature.

Il comportamento pianificato, d'altra parte, comprende un comportamento consapevole che coinvolge la pianificazione e il processo decisionale. Esempi di comportamento previsto sono le scelte tecnologiche. Le scelte tecnologiche implicano decisioni comportamentali relative all'acquisto di tecnologie ed elettrodomestici.

Per promuovere efficacemente un cambio comportamentale nei cittadini è fondamentale prima andare a individuare quelle barriere che impediscono ai cittadini di modificare i loro comportamenti, sia per quanto riguarda le azioni abituali e per i comportamenti pianificati. Le barriere al cambiamento comportamentale sono gli ostacoli o le sfide che impediscono alle persone di adottare nuovi comportamenti o di abbandonare vecchi comportamenti non sostenibili. Queste barriere possono essere di natura psicologica, sociale, economica o strutturale e possono variare da persona a persona o da contesto a contesto. Esse si dividono in:

- **Abitudini consolidate:** Le abitudini consolidate sono comportamenti che le persone ripetono automaticamente, senza doverci pensare. Questi comportamenti possono essere difficili da modificare, poiché richiedono una consapevolezza e un impegno costante per il cambiamento.
- **Mancanza di conoscenza:** La mancanza di conoscenza sui problemi ambientali e sui comportamenti sostenibili può impedire il cambiamento comportamentale. Senza una comprensione approfondita dei problemi ambientali e delle azioni necessarie per affrontarli, le persone possono essere riluttanti a modificare i propri comportamenti.
- **Costi finanziari:** I costi finanziari associati al cambiamento comportamentale possono rappresentare una barriera significativa. Ad esempio, l'acquisto di prodotti sostenibili può essere più costoso rispetto a quelli non sostenibili, e questo può scoraggiare le persone dal cambiare i propri comportamenti.
- **Pressioni sociali:** Le pressioni sociali possono impedire il cambiamento comportamentale. Ad esempio, le persone possono sentirsi escluse o emarginate se non seguono i comportamenti considerati "normali" o "accettabili" dal proprio gruppo sociale.

- **Inerzia:** L'inerzia può impedire il cambiamento comportamentale. Le persone possono sentirsi frustrate se il cambiamento comportamentale richiede troppo tempo o sforzo, e possono quindi abbandonare i propri sforzi di cambiamento.
- **Mancanza di infrastrutture e servizi:** Fattori esterni, come la mancanza di infrastrutture o servizi sostenibili, possono impedire il cambiamento comportamentale. Ad esempio, se non ci sono servizi di trasporto pubblico convenienti, le persone possono essere costrette a usare l'auto, anche se preferirebbero altre opzioni sostenibili.

lo studio citato precedentemente propone un'ulteriore distinzione, complementare alla precedente, tra barriere comportamentali interne ed esterne:

Different categories of barriers, divided between individual and societal barriers

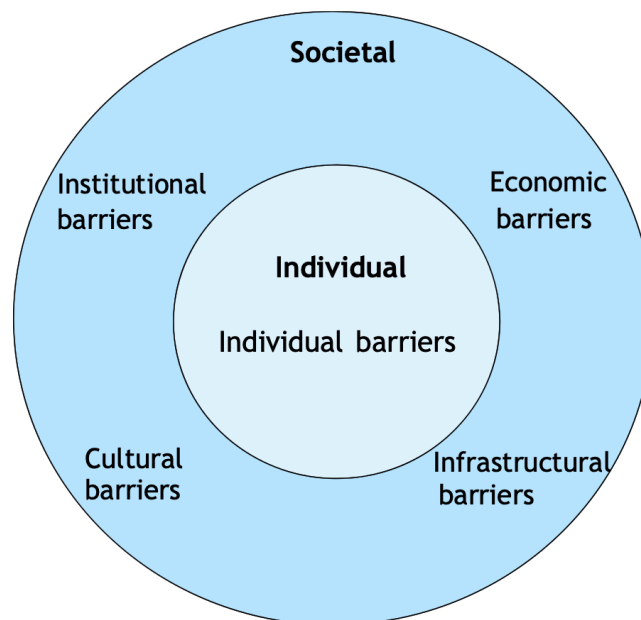


Figura 1.4: Tipologie di barriere al cambio comportamentale

- **Barriere individuali (interne):** Sebbene molte decisioni dei consumatori non vengano prese in modo razionalizzato, l'analisi delle motivazioni alla base di determinate scelte aiuta a trovare ostacoli al cambiamento comportamentale. I consumatori fanno compromessi tra vantaggi e svantaggi di determinati stili di vita e scelte di prodotto. Questi vantaggi e svantaggi possono essere correlati a costi, comfort, salute, praticità, sicurezza, qualità, ecc. I compromessi risultanti da vari fattori potrebbero agire come barriere (individuali) per il cambiamento comportamentale.
- **Barriere sociali (esterne):** Barriere infrastrutturali: mancanza di infrastrutture necessarie, ad es. le persone sono meno motivate a prendere la bici se non hanno una buona struttura ciclistica. Barriere culturali: norme e tradizioni sociali, ad es. l'usanza di mangiare carne tutti

i giorni. Barriere economiche: la capacità delle persone di investire in tecnologie rispettose dell'ambiente può essere limitata da vincoli finanziari. Barriere istituzionali: diritto, politica e strutture organizzative. Ad esempio, la struttura organizzativa di un'azienda può costituire un ostacolo al lavoro da casa.

È importante comprendere a fondo queste barriere per poter sviluppare delle strategie efficaci per superarle e incoraggiare un cambiamento comportamentale verso pratiche più sostenibili.

Paul C. Stern, nel suo testo “Toward a coherent theory of environmentally significant behavior” ([Stern, 2000](#)) identifica cinque macrocategorie di politiche da mettere in atto per il loro superamento, di seguito elencate:

- **Comunicazione efficace:** Una comunicazione efficace può aiutare a superare la mancanza di conoscenza sulle questioni ambientali e sui comportamenti sostenibili. Le informazioni dovrebbero essere presentate in modo chiaro, conciso e accessibile, per garantire che le persone comprendano la natura dei problemi ambientali e delle azioni necessarie per affrontarli.
- **Incentivi appropriati:** Gli incentivi appropriati possono motivare le persone a modificare i propri comportamenti. Gli incentivi dovrebbero essere adeguati e adattati alle esigenze specifiche delle persone e delle comunità coinvolte.
- **Norme sociali:** Le norme sociali possono aiutare a superare le pressioni sociali negative e promuovere comportamenti sostenibili. Ad esempio, se una comunità promuove l'uso della bicicletta per gli spostamenti quotidiani, questa può diventare la norma sociale accettata, aumentando la probabilità che le persone adottino questo comportamento.
- **Interventi strutturali:** Gli interventi strutturali, come la creazione di infrastrutture e servizi sostenibili, possono aiutare a superare le barriere legate ai costi finanziari e ai fattori esterni. Ad esempio, la creazione di percorsi ciclabili sicuri e la costruzione di stazioni di ricarica per veicoli elettrici possono incoraggiare le persone a adottare comportamenti sostenibili.
- **Partecipazione attiva:** La partecipazione attiva delle persone e delle comunità coinvolte può aiutare a superare l'inerzia e promuovere il cambiamento comportamentale. Ad esempio, coinvolgere le persone nella progettazione di soluzioni sostenibili e fornire feedback costante sulle prestazioni ambientali può aiutare a mantenere alta la motivazione e promuovere il cambiamento.

Al fine di comprendere al meglio l'impatto che il behavioral change dei cittadini può avere sul clima e la relazione presente tra le barriere al cambio comportamentale e le relative politiche messe in atto per il loro superamento, viene di seguito presentato uno studio sui potenziali di riduzione delle emissioni abilitati da un cambio di comportamento quotidiano da parte dei cittadini. ([Faber et Al., 2012](#))

Tale studio è stato commissionato nel 2012 dalla Commissione Europea e realizzato da Fraunhofer ISI (la più grande organizzazione di ricerca orientata alle applicazioni d'Europa) e LEI (Nei Paesi Bassi e in Belgio, LEI è l'istituto leader per la ricerca socioeconomica nei settori dell'agricoltura, dell'orticoltura e della pesca, della gestione delle aree rurali, del settore agricolo e della produzione e del consumo di alimenti.).

Lo scopo del progetto è valutare il potenziale di riduzione in Europa delle emissioni di gas serra dei cambiamenti nei modelli di comportamento e di analizzare le relative opzioni politiche che inducono cambiamenti nei modelli di comportamento.

L'impatto dei cambiamenti comportamentali sulle emissioni di GHG è riportato in termini di massimo potenziale realistico di mitigazione. La massima mitigazione realistica potenziale è definito come la riduzione delle emissioni di GHG ottenuta quando l'opzione è adottata dal maggior numero possibile di attori, tenendo conto dei vincoli realistici e strutturali, degli effetti indiretti e degli effetti di rimbalzo.

Questo studio ha identificato 36 opzioni per il cambiamento comportamentale nei settori della mobilità, dell'housing e dell'alimentazione che, una volta realizzati, si tradurranno in una diminuzione delle emissioni di gas serra. Di queste opzioni, 11 sono state studiate in dettaglio. Di seguito ne vengono presentate quattro appartenenti ai consumi energetici in ambito domestico.

Maximum realistic mitigation potential of behavioural changes

(Valori numerici espresso in Mt)

Behavioural change	2020	2030	2050
Reduction of room temperature by 1 °C	22	19	16
Reduction of room temperature by 2 °C	45	38	32
Optimised thermostat settings	11	10	9
Optimised ventilation behaviour	43	42	<<42

Figura 2.5: Potenziale massimo realistico di mitigazione Faber et Al. (2012)

In particolare, nella figura 2.5, per ognuna delle 4 opzioni individuate, viene mostrato una previsione per gli anni 2020, 2030 e 2050 del potenziale massimo realistico di mitigazione delle emissioni annuali di CO2 nel caso in cui venissero adottate su larga scala.

Dopo aver individuato le opzioni di modifica comportamentale il progetto ha analizzato le principali barriere a tali cambiamenti e ipotizzato delle politiche di intervento (Figura 2.7).

Nel settore abitativo, le barriere più importanti al risparmio energetico residenziale legate al comportamento d'uso sono la cognizione limitata, come la mancanza di conoscenza e consapevolezza del proprio consumo energetico.

Per affrontare gli ostacoli è stato definito un pacchetto di politiche costituito da strumenti informativi e normativi, nonché da sussidi e tasse sull'energia. Le prove empiriche sull'efficacia delle politiche sono limitate e non ci sono prove sull'efficacia dei pacchetti.

Barriers to energy saving behaviour in the housing sector

Barrier category	Examples
Individual (internal) barriers	
Psychological barriers	– No environmental concern – Emotions (e.g. health-related) – No interest in energy-related topics – Political attitudes – Risk-assessment: no threat perceived – Attribution of responsibility to others – Low self-efficacy – Low behavioural control
Knowledge-based barriers	– Lack of adequate information – Overestimation of own energy savings compared to others – Limited knowledge of consumers on their own space heating costs – Believe that no significant savings will occur
Unconscious behaviour	– Strong habits and routines (e.g. no habit to turn down heating)
Demographic factors	– Low income – Younger age – Gender differences
Societal (external) barriers	
Structural and physical barriers	– No possibility to adjust room temperature, install thermostat, open the windows
Cultural barriers	– Comfort is a priority – No social norms towards energy saving; traditions – No social 'competition' or comparison – Social image not related to energy saving
Economic barriers	– Decreasing energy prices – Lack of incentives
Institutional barriers	– Lack of direct consumption feedback – Heating costs included in monthly rent – Incredibleness of experts and authorities – Political barriers

Policies addressing barriers to energy saving behaviour in the housing sector

Policy category	Examples
Regulative instruments	– Mandatory heating energy billing at frequent intervals – More informative heating energy billing – Mandatory energy performance certificates with real display orientation – Obligation to include information in formal education
Economic instruments	– Higher energy prices – Taxation of high energy consumption – Subsidies e.g. on purchase of smart metering equipment or set-back thermometers – Incentives for energy efficient, adjustable heating infrastructure
Communication	– Information campaigns (large scale; demonstration projects; informal advice networks; community progr.) – Communicate best practices – Communicate the direct link between GHG reduction and space heating consumption – Creating ICT-based energy efficiency evaluation tools
Direct governmental expenditures	– Public investments in infrastructure, like smart meters
Procedural instruments	– Voluntary agreements with companies, schools, etc. – Voluntary contracting agreements with ESCO's

Figura 3.7: : Barriere ai cambiamenti comportamentali e politiche di intervento Faber et Al. (2012)

2.2 Smart city

I modelli urbani attuali presentano sfide significative in termini di sostenibilità. secondo le statistiche di Eurostat, oggi il 75% della popolazione europea vive nelle città. Un dato destinato a crescere anche a livello mondiale. Stando ai rapporti delle Nazioni Unite ([Nazioni unite,2022](#)), entro il 2050 il 70% della popolazione globale vivrà in città.

Pur occupando uno spazio al 2-3% del totale terre emerse, per via di questa concentrazione di persone e attività, le città sono responsabili del 70% delle emissioni di anidride carbonica e sostanze inquinanti nonché di un importante consumo energetico e hanno quindi un forte impatto sui cambiamenti climatici.

L'enorme crescita demografica avvenuta negli ultimi secoli, insieme all'aumento progressivo del reddito nei paesi in via di sviluppo, ha contribuito ad esacerbare l'insostenibilità dei modelli di consumo esistenti. Questi modelli stanno portando il mondo verso un collasso globale che coinvolge l'ambiente, l'economia e il benessere sociale.

Le città affrontano una serie di problemi sociali e ambientali che influenzano la qualità della vita dei cittadini e l'equilibrio ecologico. Alcuni dei principali problemi includono:

- **Scarsità di risorse e servizi sociali.** Man mano che sempre più persone migrano verso le aree urbane metterà a dura prova le risorse e i servizi già limitati delle città come energia, acqua,

assistenza sanitaria, alloggi, educazione. Inoltre, non solo queste risorse e servizi sono limitati nell'offerta, ma sono spesso mal gestiti. Di conseguenza, ci sono incoerenze nel modo in cui sono distribuiti e contenuti.

- **Inquinamento atmosferici.** Le città sono spesso caratterizzate da alti livelli di inquinamento atmosferico a causa delle emissioni dei veicoli, delle attività industriali e delle fonti di energia non rinnovabile. L'inquinamento atmosferico ha gravi conseguenze sulla salute umana e sull'ambiente circostante.
- **Espansione urbana.** La crescita incontrollata delle città può portare all'espansione delle periferie e alla perdita di spazi verdi e terreni agricoli. Ciò può compromettere la biodiversità, ridurre la qualità dell'aria e del suolo e aumentare la distanza tra le abitazioni e i luoghi di lavoro.
- **Disuguaglianza sociale.** Le città spesso presentano disuguaglianze sociali, con disparità di reddito, accesso a servizi di base e opportunità. Le persone svantaggiate possono essere escluse da servizi essenziali come l'istruzione, la sanità e l'occupazione, creando divisioni sociali e aumentando le disuguaglianze.
- **Traffico e congestione.** Il traffico intenso e la congestione stradale sono comuni nelle città, causando ritardi, inquinamento atmosferico e stress per i cittadini. Un sistema di trasporto inefficiente può influire negativamente sulla qualità della vita e sulla mobilità urbana.

La situazione sopra descritta mette in evidenza tre messaggi principali: in primo luogo, la necessità di rivedere il modo in cui la società è organizzata e gestita, dando così vita a un processo globale di riforma; in secondo luogo, l'individuazione delle città come terreno fertile da cui partire per la riorganizzazione; in terzo luogo, le aspettative significative riposte nelle tecnologie dell'informazione e della comunicazione come ingrediente centrale di tale cambiamento. (The Role of ICT in Smart Cities Governance; Enrico Ferro, Brunella Caroleo, Maurizio Leo, Michele Osella, Elisa Pautasso).

2.2.1 Definizione di smart city

Il concetto di "smart city" è diventato sempre più rilevante nell'era moderna, in cui la tecnologia digitale e le soluzioni innovative stanno trasformando le nostre città in centri urbani intelligenti e sostenibili. Una smart city è una comunità che sfrutta le tecnologie dell'informazione e della

comunicazione (ICT) per migliorare la qualità della vita dei suoi cittadini, aumentare l'efficienza dei servizi urbani e ridurre l'impatto ambientale. Il concetto di smart city, infatti, fa riferimento sì a una città intelligente, ma soprattutto a una città sostenibile, efficiente e innovativa, una città in grado di garantire un'elevata qualità di vita ai suoi cittadini grazie all'utilizzo di soluzioni e sistemi tecnologici connessi e integrati tra loro.

Ciò implica fornire servizi pubblici efficienti, come trasporti, energia, gestione dei rifiuti, sicurezza, salute e istruzione, che siano accessibili, sostenibili ed economicamente vantaggiosi. La tecnologia viene utilizzata per ottimizzare l'utilizzo delle risorse, ridurre i costi operativi, migliorare la tempestività delle risposte e coinvolgere attivamente i cittadini nella vita urbana.

In una smart city, le infrastrutture e i servizi urbani tradizionali vengono integrati con la tecnologia per creare un ecosistema interconnesso che favorisce la comunicazione, la collaborazione e l'efficienza tra i cittadini, le imprese e il governo. Le smart city utilizzano una vasta gamma di soluzioni tecnologiche, come sensori, reti di comunicazione, intelligenza artificiale, analisi dei dati e blockchain, per raccogliere, elaborare e utilizzare informazioni in tempo reale per prendere decisioni informate e ottimizzare le risorse.

Come molti esperti hanno evidenziato, il concetto di "smart city" non è nuovo. Le sue origini possono essere rintracciate verso la fine degli anni '90 con il movimento per la crescita intelligente, che promuoveva politiche di pianificazione urbana innovative.

Tuttavia, è solo a partire dal 2005 che importanti attori globali nel campo delle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni, come CISCO, SIEMENS e IBM, hanno cominciato a utilizzare il termine "smart city" per descrivere l'integrazione dei sistemi informativi con i processi urbani. Da allora, il termine si è evoluto per catturare un concetto più complesso per il quale molti studiosi si sono avventurati nel tentativo di creare una definizione completa, di seguito un elenco delle più autorevoli.

- [Harrison et al, 2010](#): Smart city vista come una città instrumented, interconnected, and intelligent. La strumentazione consente l'acquisizione e l'integrazione di dati reali dal vivo attraverso l'uso di sensori, contatori, dispositivi personali, elettrodomestici, fotocamere, smartphone, dispositivi medici impiantati, il Web e altri sistemi di acquisizione dati simili, inclusi i social network come reti di sensori umani. Per interconnessione si intende l'integrazione di tali dati in una piattaforma informatica aziendale e la comunicazione di tali informazioni tra i vari servizi cittadini. L'intelligence si riferisce all'inclusione di analisi complesse, modellazione, ottimizzazione e visualizzazione nei processi aziendali operativi per prendere decisioni operative migliori.
- [Kanter e Litow, 2009](#): considerano una smartcity come un insieme organico -una rete e un sistema collegato. Mentre i sistemi nelle città industriali erano per lo più scheletro e pelle, le smartcity sono come organismi che sviluppano un sistema nervoso artificiale, che consente

loro di comportarsi in modi coordinati intelligentemente. La nuova intelligenza delle città, quindi, risiede nella combinazione sempre più efficace di reti di telecomunicazioni digitali (i nervi), intelligenza ubiquitariamente incorporata (i cervelli), sensori e tag (gli organi sensoriali) e software (la conoscenza e la competenza cognitiva).

- [Caragliu et al, 2009](#): Secondo tale definizione una città è smart quando gli investimenti in capitale umano e sociale e in infrastrutture di comunicazione tradizionali (trasporti) e moderne (ICT) alimentano una crescita economica sostenibile e un'alta qualità della vita, con una gestione oculata delle risorse naturali, attraverso una governance partecipativa.

Osservando le seguenti definizioni emerge chiaramente come la disponibilità e la qualità dell'infrastruttura tecnologica non sia l'unico elemento caratterizzante una città intelligente, ma come un coinvolgimento diretto dei cittadini e una governance partecipativa siano elementi altrettanto imprescindibili al suo sviluppo. Molte applicazioni hanno successo solo se sono ampiamente adottate e riescono a cambiare il comportamento.

Secondo Caragliu, inoltre, una smart governance è il fulcro delle iniziative per le smartcities, ovvero un modello di governance che non consista in una mera applicazione dell'autorità amministrativa e politica, ma bensì una governance bidirezionale e con una platea diversificata riconosciuta come interlocutore autorevole nel processo di creazione di valore per la società.

2.2.2 Contributo dell'ICT allo sviluppo di una smart city

Quando si sottolinea l'importanza dell'infrastruttura tecnologica all'interno di una città intelligente si fa riferimento all'intero ecosistema delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, ovvero all'ICT (Information and Communication Technology). Essa si riferisce a un'ampia gamma di strumenti, reti e sistemi utilizzati per acquisire, gestire, trasmettere e utilizzare le informazioni attraverso la comunicazione elettronica. L'ICT comprende diverse componenti, tra cui hardware, software, reti, infrastrutture di telecomunicazione e servizi digitali.

Quest'ultima non va confusa con l'IoT (Internet of things). L'ICT (Information and Communication Technology) è un termine ampio che indica l'insieme delle tecnologie utilizzate per la gestione delle informazioni e la comunicazione. Include reti di computer, software, hardware, sistemi di comunicazione, infrastrutture di telecomunicazione e altro ancora.

L'IoT (Internet of Things), invece, si riferisce a una rete di dispositivi fisici, come sensori, attuatori, dispositivi indossabili e oggetti di uso quotidiano, che sono collegati tra loro e possono comunicare tra loro attraverso Internet senza la necessità di interazione umana diretta. L'IoT consente a questi

dispositivi di raccogliere e scambiare dati, prendere decisioni autonome e interagire con l'ambiente circostante.

In sintesi, l'ICT riguarda l'intero ecosistema delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, mentre l'IoT è una specifica area dell'ICT che si concentra sulla connettività e l'interazione tra dispositivi fisici attraverso Internet.

Nel contesto delle smart city, l'ICT svolge diverse funzioni cruciali, di seguito sintetizzate:

- **Acquisizione delle informazioni:** L'ICT consente di raccogliere dati e informazioni da diverse fonti, come sensori, dispositivi mobili, reti di computer e Internet. Questa funzione coinvolge la raccolta e l'organizzazione dei dati per renderli accessibili e utilizzabili.
- **Elaborazione dei dati:** L'ICT comprende l'elaborazione dei dati attraverso l'uso di algoritmi, software e hardware. Questa funzione riguarda la trasformazione dei dati grezzi in informazioni significative attraverso processi di analisi, calcolo, manipolazione e visualizzazione.
- **Archiviazione e gestione delle informazioni:** L'ICT offre soluzioni per l'archiviazione, l'organizzazione e la gestione delle informazioni in modo sicuro e affidabile. Questo include la creazione di database, sistemi di gestione dei documenti, sistemi di archiviazione cloud e altre tecnologie per la gestione efficiente dei dati.
- **Comunicazione e condivisione delle informazioni:** L'ICT facilita la comunicazione e la condivisione delle informazioni tra persone, organizzazioni e dispositivi. Questa funzione coinvolge strumenti come e-mail, messaggistica istantanea, videoconferenza, reti sociali e piattaforme di collaborazione online.
- **Connessione e connettività:** L'ICT offre soluzioni per la connessione e la connettività tra dispositivi e reti. Questo include tecnologie di rete come Wi-Fi, Bluetooth, fibra ottica e reti mobili, che consentono la trasmissione rapida e affidabile dei dati.

Queste funzioni se implementate correttamente possono contribuire a migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la qualità della vita all'interno dei contesti urbani.

Attraverso l'utilizzo di sensori e dispositivi intelligenti, le smart city sono in grado di monitorare, raccogliere e scambiare una grande quantità di dati in tempo reale su diversi aspetti come il flusso del traffico, la qualità dell'aria, i livelli di rumore e l'utilizzo delle risorse. Questi dati forniscono ai governi, agli amministratori della città, alle autorità e ai cittadini una panoramica più approfondita delle loro città e delle informazioni raccolte, aprendo le porte a diversi miglioramenti:

L'ICT può portare una più ampia disponibilità di dati in tempo reale e leggibili da una macchina, i quali, grazie anche agli algoritmi di intelligenza artificiale, consentono, da un lato, di migliorare le capacità di "previsione" e "nowcasting" permettendo di ottimizzare gli investimenti nello sviluppo della città e, dall'altro, di creare servizi maggiormente efficienti, facilitando la condivisione di informazioni, la collaborazione e l'accesso ai dati necessari. ([Commissione Europea, 2020](#))

Ad esempio, L'implementazione di soluzioni digitali consente di semplificare e automatizzare i processi burocratici, migliorando l'efficienza e riducendo i tempi di attesa per i cittadini.

Nel loro studio sul ruolo dell'ICT all'interno delle smart cities Ferro et al. ([Ferro et al., 2012](#)) hanno sviluppato un framework battezzato modello "the smart city house" con l'intento di eseguire un parallelo tra il processo di costruzione di una casa e quello di creazione di valore. Il modello va letto dal basso verso l'alto.



Figura 2.8: The smart city house Ferro et Al (2013)

Nelle fondamenta della casa è possibile trovare un'infrastruttura sociotecnica. Questi elementi sono fondamentali per garantire il pieno sfruttamento delle opportunità offerte dalle ICT. Gli ingredienti chiave includono reti, dati, software, persone (o "brainware") e normative che devono essere accessibili, interconnesse e favorevoli all'innovazione. È importante sottolineare che il valore non risiede solo nelle singole risorse, ma anche nella capacità di stabilire collegamenti e connessioni tra di esse. In altre parole, l'interconnessione e la sinergia tra le diverse risorse sono cruciali per massimizzare il valore complessivo dell'ecosistema. La condivisione e l'interoperabilità delle informazioni sono elementi fondamentali all'interno di una smart city. Ciò implica l'adozione di standard comuni, protocolli di comunicazione e formati dati condivisi, al fine di garantire che le informazioni possano fluire senza intoppi tra i diversi componenti dell'ecosistema urbano. L'interoperabilità consente l'integrazione e l'interconnessione dei sistemi e dei servizi, facilitando l'implementazione di soluzioni innovative e la creazione di un ecosistema urbano più efficiente e resiliente.

Procedendo verso un livello superiore, incontriamo i pilastri fondamentali che rappresentano i principali contributi strategici che le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT)

possono offrire per creare valore e trasformare le città in ambienti più intelligenti e sostenibili. Sono stati identificati tre contributi principali che svolgono un ruolo cruciale in questo processo.

1. Il primo contributo riguarda la capacità di abilitare nuovi paradigmi di produzione, distribuzione e governance, come ad esempio nel settore dell'energia, dove l'emergere di modelli di generazione distribuita richiede reti intelligenti con nodi periferici. Qui, l'ICT può svolgere un ruolo complementare fornendo soluzioni per la gestione, la pianificazione e il controllo della produzione energetica.
2. Il secondo contributo si concentra sulla trasformazione delle attività quotidiane, come il telelavoro e la telemedicina, che consentono di svolgere attività senza essere necessariamente presenti fisicamente in un determinato luogo. L'ICT ha rivoluzionato numerosi aspetti della nostra vita quotidiana, semplificando le comunicazioni, rendendo più efficienti le attività lavorative, facilitando l'apprendimento e l'accesso a servizi e beni. Ha creato nuove opportunità e ha cambiato radicalmente il modo in cui interagiamo, lavoriamo, apprendiamo e ci intratteniamo.
3. Il terzo e ultimo contributo riguarda il ruolo dell'ICT nel guidare le scelte e i comportamenti individuali. Per ridurre l'impronta di carbonio delle città, è necessario che milioni di persone modifichino le loro scelte quotidiane. Questo non è un compito facile, ma l'uso intelligente delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, compresi i social media, può contribuire a diffondere una maggiore consapevolezza ambientale e a promuovere norme sociali che incoraggiano comportamenti virtuosi. Ad esempio, l'aggregazione dei dati sui consumi energetici può essere utilizzata per promuovere comportamenti rispettosi dell'ambiente attraverso politiche contestuali e stimolare una competizione virtuosa. Inoltre, grazie ai dati raccolti dagli innumerevoli sensori presenti in una città intelligente e al contributo degli algoritmi di intelligenza artificiale è possibile sviluppare analisi predittive in grado di aiutare le aziende e le istituzioni nel prendere decisioni migliori.

La cima rappresenta l'orientamento valoriale che ogni iniziativa smart non dovrebbe mai perdere di vista per generare impatti positivi sulla società. La forma a triangolo è stata suddivisa in tre strati distinti, creando una configurazione a pila con livelli interconnessi. Ogni livello dipende dal livello inferiore in termini di esistenza. L'integrazione delle necessità della società in questa struttura stratificata intende sottolineare non solo l'importanza di un orientamento al valore, ma anche stimolare la riflessione su quale tipo di valore dovrebbe essere generato. Ad esempio, la semplice ricerca di crescita economica a discapito dell'ambiente e della salute pubblica, che ha dominato l'economia mondiale nell'ultimo secolo, evidenzia chiaramente le sue carenze quando confrontata con questo schema gerarchico, poiché cerca di costruire il secondo strato senza garantire l'esistenza del livello sottostante.

2.2.3 Smart governance e coinvolgimento dei cittadini

Nel paragrafo 2.2.1 è emerso chiaramente come, affianco al ruolo dell'ICT, altri due concetti, fortemente interconnessi tra di loro, giochino un ruolo imprescindibile allo sviluppo della stessa smart city. Essi sono il concetto di capitale umano e quello di smart governance.

La smart governance rappresenta un approccio innovativo alla gestione e all'amministrazione delle città intelligenti. Si basa sull'utilizzo di tecnologie digitali avanzate per migliorare la trasparenza, la partecipazione dei cittadini, l'efficienza e l'efficacia delle decisioni prese a livello urbano, sfruttando al 100% l'infrastruttura tecnologica presente. Essa mira a creare un ambiente in cui i cittadini, le imprese e il governo possano collaborare in modo efficace per affrontare sfide complesse e promuovere la sostenibilità, l'efficienza e la qualità della vita nella città.

In particolare, è possibile individuare le seguenti caratteristiche principali:

- **Trasparenza e accesso ai dati:** La smart governance si basa sull'apertura e la condivisione dei dati tra i vari attori coinvolti nella gestione urbana, inclusi cittadini, amministrazioni pubbliche e aziende. L'accesso ai dati e alle informazioni permette ad aziende e privati di sviluppare soluzioni intelligenti usufruendo dei dati messi a disposizione. Il tutto garantendo politiche e normative che tutelino la privacy dei cittadini.
- **Partecipazione dei cittadini:** La smart governance promuove la partecipazione attiva dei cittadini attraverso l'uso di tecnologie digitali. Le piattaforme online e le applicazioni mobili consentono ai cittadini di esprimere le proprie opinioni, fornire feedback, partecipare a sondaggi e consultazioni pubbliche e di contribuire direttamente alla progettazione e alla co-creazione di soluzioni urbane, oltre a fornire la possibilità di guidarli verso dei comportamenti più virtuosi in termini di sostenibilità ambientale e sociale, grazie a servizi e incentivi migliori. È fondamentale che vengano sviluppate strategie di governo volte alla messa in pratica di misure di partecipazione e meccanismi di apprendimento nelle comunità, che includono pratiche di partecipazione, consapevolezza e apprendimento collettivo.
- **Collaborazione tra attori:** La smart governance incoraggia la collaborazione e la cooperazione tra cittadini, amministrazioni pubbliche, aziende e organizzazioni della società civile. Attraverso partnership e alleanze strategiche, si mira a combinare le competenze e le risorse di diverse parti interessate per affrontare le sfide urbane in modo più efficace e sostenibile. La sinergia tra enti governativi e attori privati, insieme alla partecipazione di tutte le parti interessate di un'area geografica, nella pianificazione e nel finanziamento di progetti, programmi e servizi costituisce un elemento centrale nella strategia delle città intelligenti.

Le collaborazioni tra enti pubblici e privati sono considerate un mezzo efficace per migliorare la qualità dei servizi offerti e garantire la loro sostenibilità economica. Attraverso il coinvolgimento delle imprese e dei capitali privati, è possibile definire, produrre e finanziare progetti innovativi che altrimenti non sarebbero avviati a causa delle limitate risorse finanziarie degli enti locali. ([Brinkerhoff et al., 2011](#)). LA PA deve abbandonare un modello organizzativo “verticale” per abbracciare una logica orizzontale che “porti dentro” l’amministrazione il contributo dei diversi attori pubblici e privati nella progettazione e gestione dei servizi avanzati. In un contesto di governance partecipata il governo della città non deve essere l'unico finanziatore e gestore di ogni tipo di sistema di servizi e infrastrutture. Una buona percentuale dell'investimento iniziale potrebbe provenire da attori privati, in quanto più della metà dell'investimento iniziale che deve essere effettuato dal settore pubblico genererebbe un ritorno finanziario positivo, che aprirebbe le porte alle partnership.

Uno dei punti cardini del concetto di smart governance è proprio la partecipazione attiva dei cittadini, a testimonianza della forte interconnessione presente tra i due concetti.

Spesso però le città, nel loro percorso di transizione verso il realizzarsi come una città intelligente a tutti gli effetti, tendono a sottovalutare l’importanza del coinvolgimento dei cittadini in tale percorso.

“Invece della città intelligente, forse dovremmo preoccuparci di più dei cittadini intelligenti. La visione della città intelligente tende a concentrarsi su infrastrutture, edifici, veicoli, cercando un cliente tra le amministrazioni cittadine che procurano o pianificano tali cose. Ma la città è un'altra cosa. La città è la sua gente. Non creiamo città per costruire edifici e infrastrutture. Costruiamo città per riunirci, per creare ricchezza, cultura, più persone”

([Hill, 2013](#))

Oggi giorno, come sottolinea Gabrys ([Gabrys, Jennifer, 2014](#)), in molti contesti urbani i cittadini vengono visti come semplici sensori che raccolgono dati tramite i propri dispositivi mobile, i legislatori si concentrano principalmente sul monitoraggio, la raccolta e l'analisi dei dati e si focalizzano principalmente sulle politiche di offerta, come ad esempio l'ottimizzazione dei sistemi semaforici per favorire il trasporto pubblico e l'avviso agli operatori di pulizia in caso di eccesso di rifiuti. Queste soluzioni sono indispensabili per la lotta al cambiamento climatico, ma non sono sufficienti, in quanto non tengono conto dei comportamenti individuali. Essi sono una componente fondamentale nello sviluppo di una città sostenibile, che non può essere ignorata o considerata di relativa importanza, solo promuovendo una maggiore partecipazione dei cittadini la transizione da “città tecnologica” a città intelligente può dirsi completa.

La cosa più importante è concentrarsi sui servizi offerti ai cittadini piuttosto che sulla costruzione di infrastrutture e strutture urbane.

In primo luogo, i cittadini, Come discusso nel paragrafo 2.1.2, possono contribuire alla sostenibilità ambientale attraverso l'adozione di comportamenti responsabili. Ad esempio, possono ridurre il loro consumo di energia e acqua, optare per mezzi di trasporto ecologici, ridurre i rifiuti e impegnarsi nel riciclaggio. Queste azioni possono contribuire a ridurre l'impatto ambientale sia a livello individuale che comunitario.

In secondo luogo, Il fattore umano riveste un ruolo di grande importanza nello sviluppo dell'innovazione. Nell'ambito di una Smart City, la collaborazione tra diverse competenze e professioni, quali ingegneri, urbanisti, esperti di tecnologia, sociologi, designer e altri professionisti, risulta essenziale. Il capitale umano, rappresentato da una forza lavoro altamente qualificata, costituisce quindi un elemento chiave per il progresso e l'implementazione di soluzioni innovative e sostenibili a beneficio della città.

In aggiunta, le persone che vivono e lavorano nella città rappresentano gli utenti principali delle soluzioni tecnologiche e delle infrastrutture implementate. Pertanto, è di fondamentale importanza coinvolgere attivamente i cittadini nel processo di pianificazione e progettazione di tali soluzioni, al fine di garantire che siano adatte alle loro specifiche esigenze e che possano mantenere un livello di sostenibilità nel lungo periodo.

Oggi abbiamo l'opportunità di sfruttare questi sistemi intelligenti per modificare effettivamente il comportamento incorporando un livello di progettazione comportamentale. Ciò significa creare sistemi intelligenti comportamentali paralleli che vanno oltre il monitoraggio, la raccolta e l'analisi dei dati e che rendono effettivamente operative le informazioni prodotte dai sistemi di città intelligenti per promuovere il cambiamento del comportamento e realizzare servizi più su misura delle esigenze dei cittadini. ([Khansari et al., 2014](#)).

In conclusione, possiamo affermare come in una Smart City, la tecnologia, la governance e il coinvolgimento dei cittadini siano strettamente interconnessi e giochino un ruolo fondamentale nello sviluppo e nella gestione dell'ambiente urbano intelligente.

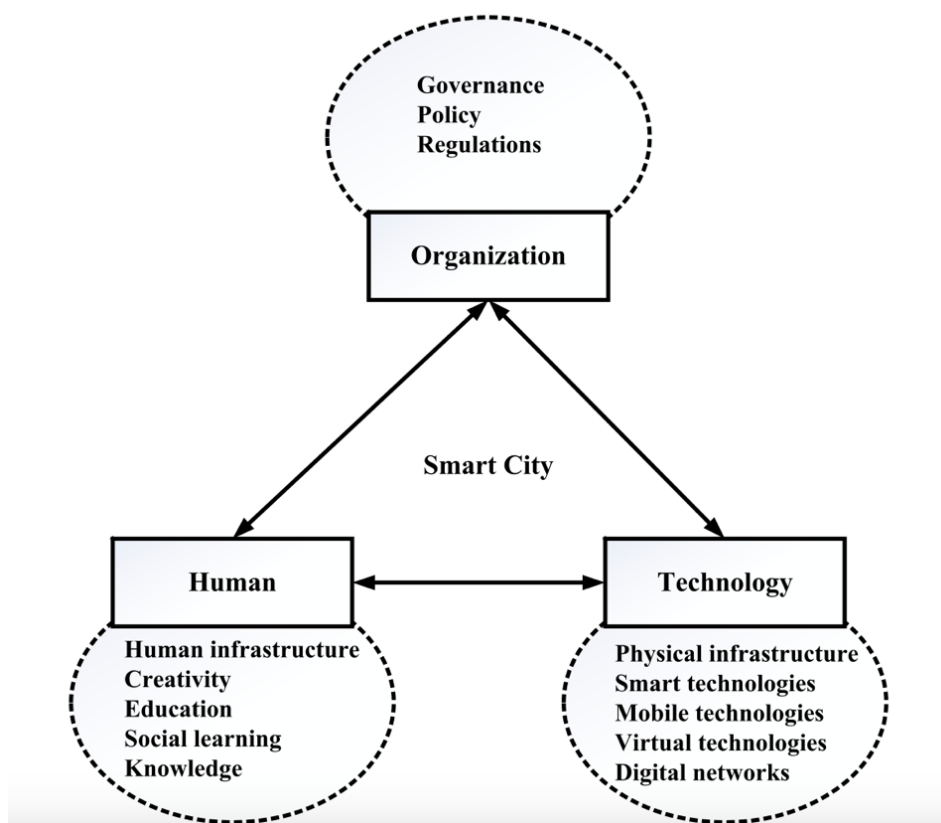


Figura 2.9: Smart city: umani, tecnologia e organizzazione

La tecnologia offre ai cittadini la possibilità di accedere a informazioni in tempo reale sulla città, partecipare attivamente alla raccolta di dati e fornire feedback sulle questioni urbane. Ciò crea un ambiente in cui i cittadini sono informati e possono prendere decisioni più consapevoli e virtuose riguardo al loro modo di vivere e interagire con la città.

La governance gioca un ruolo cruciale nel garantire che la tecnologia sia utilizzata in modo equo, trasparente e sostenibile e nel creare un assetto normativo che permetta di sfruttarne al 100% il proprio potenziale. Ciò implica la definizione di politiche e normative che tutelino la privacy dei cittadini, promuovano l'accessibilità e l'inclusione digitale e assicurino la sicurezza dei dati. La governance deve anche essere responsabile alle esigenze e alle aspettative dei cittadini, coinvolgendoli attivamente nel processo decisionale e nella definizione delle priorità urbane.

Infine, il coinvolgimento dei cittadini nella Smart City promuove un senso di appartenenza e responsabilità verso il proprio ambiente urbano. I cittadini diventano partecipi nella co-creazione delle soluzioni urbane, offrendo idee, feedback e competenze per affrontare le sfide e migliorare la qualità della vita nella città e assumono comportamenti maggiormente sostenibili grazie a un migliore accesso alle informazioni e a programmi di incentivi più funzionali. Questa collaborazione tra tecnologia, governance e cittadini favorisce la creazione di una Smart City più inclusiva, sostenibile e adatta alle esigenze della comunità.

2.2.4 Blockchain per le smart cities

L'obiettivo di questo paragrafo è comprendere il potenziale della blockchain come tecnologia centrale per iniziative volte a rendere le città più intelligenti e più sostenibili.

Per estrarre il 100% del valore dall'infrastruttura tecnologica dell'ICT è fondamentale che si instaurino tra tutti gli stakeholders coinvolti delle relazioni basate sulla fiducia, la trasparenza e la condivisione. Se ciò non accade il potenziale tecnologico fornito dalle reti di interconnessione presenti tra software e persone verrebbero sfruttate in minima parte.

Senza fiducia tra le parti sarebbe impossibile abilitare nuovi paradigmi di produzione o di governance basati sulle connessioni o sviluppare servizi basati sulle interconnessioni presenti tra diversi stakeholders connessi tecnologicamente l'uno con l'altro ma tra di loro sconosciuti.

Inoltre, per poter sfruttare a pieno tutto il valore dei dati e creare dei servizi realmente efficienti è necessario che vi sia la maggiore condivisione possibile tra tutti gli stakeholders. Per estrarre il 100% del potenziale dai dati e sviluppare servizi basati sui dati realmente significativi è infatti indispensabile che vi sia una diffusa interoperabilità di quest'ultimi tra i diversi stakeholders in una smart city.

In questo contesto, la tecnologia blockchain è sempre più considerata uno strumento formidabile per gestire il delicato trade-off tra privacy, sicurezza e condivisione. C'è un complesso equilibrio da trovare tra sicurezza e accessibilità, ed essa può dare un grande contributo.

Essa viene considerata particolarmente adatta per ambienti in cui sono presenti molteplici stakeholder e bassi livelli di fiducia tra gli attori, che è una delle caratteristiche principali delle complessità e della governance delle attuali città urbane, in quanto, consente e moltiplica le possibilità di modelli di interazione che non potrebbero essere progettati dai tradizionali modelli centralizzati, risolvendo gravi problemi di privacy, sicurezza e fiducia permettendo uno scambio immutabile e tracciabile di dati sensibili e valori di proprietà. ([Esposito et al., 2021](#)).

I modelli di consenso centralizzati, infatti, presentano alcune problematiche che possono inficiarne l'apporto in un contesto urbano. Nei modelli centralizzati, l'autorità centrale detiene il controllo decisionale e operativo su diversi aspetti della smart city, come la gestione dei dati, l'erogazione dei servizi e la pianificazione urbana. Ciò crea dipendenza da un'unica entità, che può limitare la partecipazione democratica dei cittadini e il potenziale sviluppo innovativo, oltre a creare problemi di privacy e trasparenza. I dati sensibili e le informazioni personali dei cittadini infatti, vengono raccolte, archiviate e gestite da un'unica entità, aumentando, da un lato, i rischi di violazioni della sicurezza e della privacy, in quanto un attacco o una violazione potrebbe compromettere una vasta quantità di dati sensibili e dall'altro generando opacità circa i processi decisionali.

Inoltre, l'interruzione o il malfunzionamento dell'entità centrale può causare l'interruzione di tutto il sistema. Questo rappresenta un single point of failure che può avere gravi conseguenze per una smart city.

I modelli centralizzati tendono anche ad essere rigidi e difficili da adattare ai rapidi cambiamenti e alle esigenze mutevoli di una smart city. Poiché tutte le decisioni sono prese da un'autorità centrale, spesso è necessario seguire procedure e processi burocratici per apportare modifiche o implementare nuove soluzioni. Ciò può rallentare l'innovazione e ostacolare la capacità di risposta alle esigenze emergenti della città.

La tecnologia blockchain, grazie alle sue proprietà discusse nella sezione 2.3, può contribuire significativamente a superare o limitare tali difficoltà. In particolare, consente di creare relazioni decentralizzate tra stakeholders basate sulla condivisione di informazioni e valore che permettono la creazione di servizi più efficienti e di meccanismi di informazione e partecipazione cittadina più inclusivi. Andando maggiormente nel dettaglio, è possibile identificare sei contributi specifici della tecnologia blockchain all'interno di una smart city:

- **Possesso e privacy dei dati:** la blockchain utilizza algoritmi crittografici per proteggere i dati e garantire la loro confidenzialità. Le transazioni e le informazioni sensibili possono essere crittografate, consentendo solo alle parti autorizzate di accedere ai dettagli delle transazioni o ai dati personali. Ciò contribuisce a preservare la privacy e a prevenire l'accesso non autorizzato alle informazioni sensibili. Attraverso l'uso di chiavi crittografiche, gli utenti possono autorizzare selettivamente l'accesso ai loro dati da parte di terzi, garantendo che solo le parti autorizzate possano visualizzare o utilizzare le informazioni personali.
Ad esempio, quando si utilizzano applicazioni di tipo "Move to Earn" o simili, che offrono incentivi per gli spostamenti o per l'attività fisica, è importante considerare la privacy dei dati personali che vengono raccolti e utilizzati dall'app. Le applicazioni di questo tipo possono richiedere l'accesso a dati sensibili come la posizione GPS, i dati relativi all'attività fisica, le distanze percorse e altre informazioni correlate agli spostamenti e venderli a compagnie di assicurazioni o istituzioni sanitarie. Se però tali applicazioni vengono sviluppate tramite una piattaforma blockchain io utente sono libero di impedire l'accesso ai miei dati a terze parti, oppure consentirne l'accesso ma monetizzare in prima persona dalla loro vendita.
- **Incentivo:** la tecnologia blockchain, tramite processi di tokenizzazione del valore, è in grado di promuovere una maggiormente equa distribuzione del valore generato all'interno del sistema generando dei sistemi incentivanti per comportamenti virtuosi maggiormente efficaci di quelli tradizionali. Questi sistemi sfruttano la tecnologia blockchain per registrare e tracciare le azioni degli utenti in modo trasparente e immutabile, e utilizzano i token o le criptovalute come mezzo di incentivazione. Tradizionalmente, molte transazioni e scambi di valore sono gestiti da intermediari centralizzati che possono influenzare la distribuzione dei profitti e del valore a proprio vantaggio. La tecnologia blockchain mira a sfidare questo modello centralizzato e promuovere una distribuzione più equa del valore, permettendo di creare sistemi incentivanti più efficaci e coinvolgenti per orientare i comportamenti dei

cittadini. Inoltre, a differenza degli incentivi tradizionali tramite valute fiat, dove il valore dell'incentivo non è influenzato dalla crescita della comunità, la crescita del valore dei token può essere influenzata dalla crescita della comunità: maggiori adozione e utilizzo della piattaforma possono creare una maggiore richiesta di token per l'accesso a servizi, prodotti o funzionalità offerti dalla piattaforma. L'aumento della domanda può spingere il prezzo dei token verso l'alto, premiando così gli utenti che collaborano e si impegnano nello sviluppo della comunità.

- **Certifica e rende trasparente contributo stakeholders:** La blockchain può essere utilizzata per creare certificati digitali o attestazioni che confermano il contributo degli stakeholders in determinati processi o progetti. Questi certificati, per natura stessa della tecnologia, risultano immutabili e facilmente verificabili sulla blockchain, fornendo una prova indiscutibile del coinvolgimento e delle azioni compiute dagli stakeholders. Ad esempio, nel settore delle energie rinnovabili, la blockchain può essere utilizzata per certificare la produzione e lo scambio di energia verde tra i produttori e i consumatori.
- **Tracciabilità filiera:** La blockchain può fornire una soluzione efficace per garantire la tracciabilità della filiera di produzione, distribuzione e vendita di beni e servizi. Utilizzando la blockchain, è possibile creare un registro condiviso e immutabile che registri ogni passaggio lungo la filiera, consentendo una visibilità completa e trasparente delle transazioni e delle informazioni correlate. Ad esempio, nel settore della filiera alimentare, la blockchain può essere utilizzata per registrare e condividere informazioni sulla provenienza, la qualità e le caratteristiche dei prodotti, consentendo una maggiore trasparenza e fiducia tra i vari attori della catena di approvvigionamento.
- **Gestione delle transazioni:** La blockchain consente transazioni peer-to-peer senza la necessità di intermediari centralizzati. Essa opera su una rete decentralizzata di nodi, in cui le transazioni sono validate e registrate da più partecipanti, permettendo di convalidare e registrare le transazioni in modo permanente e immutabile senza la necessità di un'autorità centrale. Una volta che una transazione è confermata e aggiunta a un blocco, diventa estremamente difficile modificarla o annullarla. Questa caratteristica impedisce frodi, alterazioni dei dati o manipolazioni delle transazioni, garantendo l'integrità del valore depositato.

Questo significa che le transazioni possono essere eseguite direttamente tra le parti coinvolte, eliminando i costi associati ai servizi intermediari e riducendo i tempi di elaborazione. Inoltre, gli utenti non essendo vincolati alle regole e alle restrizioni di un'autorità centrale, possono negoziare direttamente i termini degli scambi, inclusi i prezzi e le quantità, in base alle proprie esigenze e preferenze.

- Garantisce la corretta applicazione dei termini contrattuali: la blockchain può utilizzare i contratti intelligenti per garantire la corretta applicazione dei termini contrattuali automatizzare la loro esecuzione. I contratti intelligenti si attivano automaticamente quando le condizioni predefinite vengono soddisfatte, eliminando la necessità di interventi manuali. La trasparenza e l'immutabilità dei contratti intelligenti creano un ambiente di fiducia tra le parti coinvolte. Tutte le regole e le azioni stabilite nel contratto sono visibili e accessibili a tutti, eliminando la necessità di affidarsi a un intermediario o a un'autorità centrale per garantire la correttezza del contratto. Inoltre, la loro immutabilità garantisce che le condizioni contrattuali non possano essere alterate o modificate senza il consenso della maggioranza dei partecipanti alla rete. Questa sicurezza riduce il rischio di frodi o manipolazioni contrattuali, proteggendo gli interessi delle parti coinvolte.

2.3 Blockchain

2.3.1 Distributed Ledger Technologies e Blockchain

La Blockchain è un database sicuro condiviso attraverso una rete di partecipanti, dove le informazioni aggiornate sono disponibili a tutti i partecipanti contemporaneamente.

Essa consente la registrazione permanente, immutabile e trasparente di dati e transazioni. Questo, a sua volta, rende possibile lo scambio di qualsiasi cosa abbia valore, sia che si tratti di un oggetto fisico o di qualcosa di meno tangibile, senza che sia necessaria la presenza di potenti intermediari per autenticare e processare le transazioni ([McKinsey & Company, 2016](#)).

La sua origine risale al 31 ottobre 2008, quando, come risposta alle gravi conseguenze della crisi finanziaria del 2007/2008, l'inventore della criptovaluta Bitcoin, noto con lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto, inviò un'e-mail a una mailing list di un sito di crittografia. In allegato a questa e-mail, Nakamoto incluse il white paper intitolato "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", in cui annunciava di aver creato "una forma di denaro elettronico completamente peer-to-peer che consente l'invio diretto di pagamenti online da un ente all'altro senza la necessità di un'istituzione finanziaria intermediaria". ([Nakamoto Satoshi, 2008](#)). Successivamente, alcuni mesi dopo, il codice sorgente di Bitcoin viene pubblicato e viene creato il primo blocco della blockchain di Bitcoin, che costituisce oggi la sua struttura. La tecnologia blockchain, chiamata così perché letteralmente rappresenta una "catena di blocchi", viene introdotta per la prima volta allo scopo di fornire un registro pubblico, noto come "ledger", per registrare le transazioni di Bitcoin.

La tecnologia blockchain fa parte di una famiglia più ampia di tecnologie chiamate DLT (Distributed Ledger Technologies), che si basano sul concetto di un registro distribuito. Il concetto di DLT è stato sviluppato prima dell'introduzione specifica della tecnologia blockchain stessa, la quale rappresenta solo un tipo particolare di DLT. Diverse in letteratura sono le definizioni di Distributed Ledger Technologies, tra le più autorevoli vi sono quella della World Bank che definisce i sistemi DLT come "una tecnologia che consente di registrare, condividere e sincronizzare transazioni e dati in una rete distribuita con diversi partecipanti" ([Natarajan et al., 2017](#)) e quella della Banca Centrale che descrive la DLT come una tecnologia che "permette agli utenti di memorizzare e accedere alle informazioni relative a un dato insieme di attività. Queste informazioni sono distribuite tra gli utenti, che potrebbero poi usarle per regolare i loro trasferimenti, ad esempio di titoli e contanti, senza dover fare affidamento su un sistema di convalida centrale di fiducia" ([Pinna et al., 2016](#))

Prima della nascita dei sistemi DLT esistevano solamente i Central Ledger, da sempre utilizzati per gestire la contabilità, l'archiviazione dei dati e le transazioni contabili. Essi si differenziano dai sistemi DLT in quanto la modifica del ledger avviene attraverso il consenso di un'autorità centrale, nella quale tutti i membri del sistema ripongono la loro fiducia. Al contrario alla base del funzionamento dei sistemi DLT non vi è un rapporto di fiducia istauratosi con un'autorità centrale.

Essi, infatti, sono dei registri distribuiti, il che significa che non esistono in una singola copia, ma sono presenti in numerose copie identiche possedute da tutti gli utenti, che sono liberi di controllarle, visualizzarle e, secondo le regole stabilite dalla governance, apportarvi modifiche, senza la necessità di una figura centrale che certifichi il contributo di ogni individuo e le transazioni all'interno della rete.

Esistono diverse tipologie di Distributed Ledger Technologies (DLT) che si differenziano principalmente per i meccanismi di "governance" che regolano le azioni sul registro, il tipo di "consenso" richiesto per convalidare tali azioni e la struttura del registro stesso. È proprio in questo contesto di differenziazione dei diversi sistemi DLT che la tecnologia blockchain entra in gioco. La blockchain è un particolare sistema DLT dove tutti i nodi contribuiscono alla validazione delle transazioni, mentre un Distributed Ledger può raggiungere questo obiettivo anche senza una convalida a livello di rete.

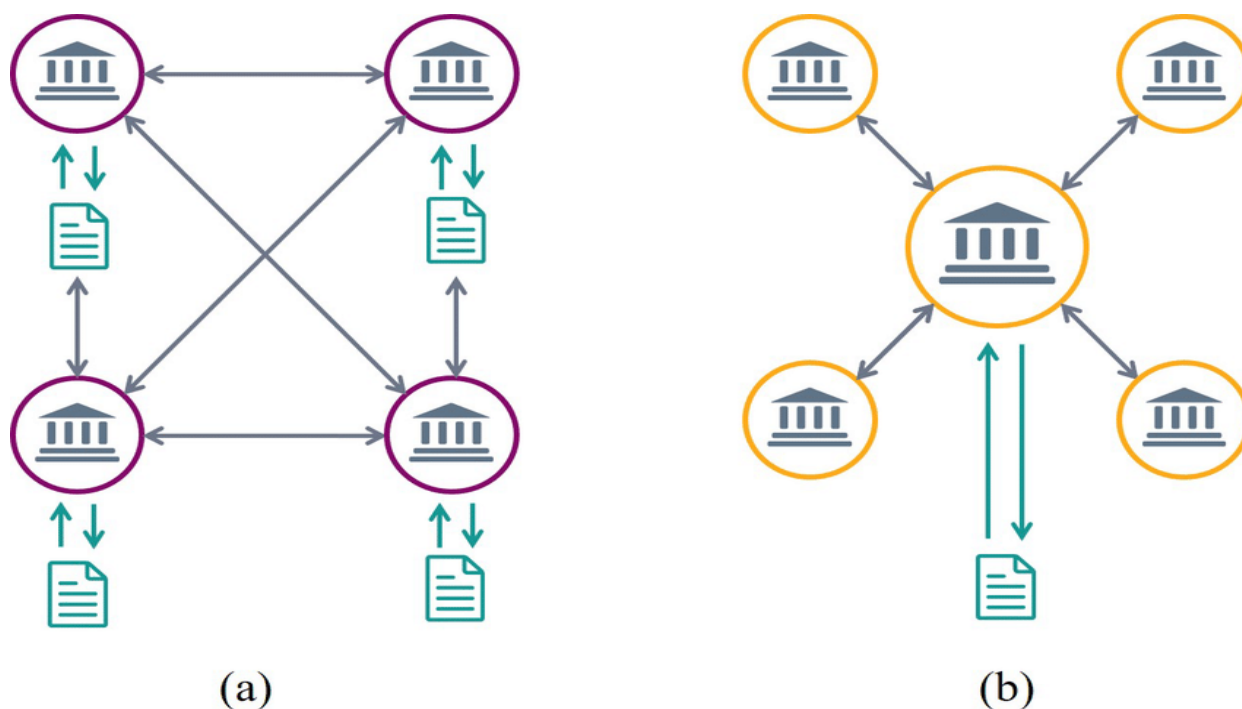


Figura 2.10: Differenza tra Centralized e Distributed Ledger

2.3.2 Crittografia asimmetrica e funzione di hash

Come illustrato nel paragrafo precedente nel 2008, in seguito a una delle più grandi crisi finanziarie della storia, Satoshi Nakamoto, uno pseudonimo utilizzato da una o più persone, pubblica un documento scientifico chiamato "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" in cui viene dichiarato l'invenzione di un sistema di pagamento completamente elettronico basato su una rete peer-to-peer, che è del tutto autonomo e che permette di non dipendere per la verifica della proprietà dei beni e delle transazioni dalla presenza di intermediari come le istituzioni finanziarie, risparmiando tempi, costi e proteggendosi dal rischio di un loro fallimento. ([Nakamoto Satoshi, 2008](#))

Nasce così la prima Blockchain detta Bitcoin, con lo scopo di avere un registro pubblico sul quale vengono registrate tutte le transazioni effettuate con la moneta.

Due concetti fondamentali per comprendere il funzionamento della blockchain sono l'hash crittografico e la crittografia asimmetrica, nota anche come crittografia a chiave pubblica/privata.

La sicurezza della blockchain si basa sull'utilizzo di una crittografia specifica. Ogni transazione registrata sulla blockchain è crittografata e solo il destinatario designato ha la capacità di decifrarla. Questo approccio elimina la necessità di implementare sistemi di sicurezza aggiuntivi per proteggere i dati, poiché le informazioni vengono rese indecifrabili a tutti coloro che non sono autorizzati ad

accedervi. Questo risultato è stato ottenuto mediante l'uso della crittografia asimmetrica. Essa si basa sull'utilizzo di una coppia di chiavi, composta da una chiave pubblica e una chiave privata. Queste due chiavi sono strettamente correlate attraverso una funzione matematica che garantisce che un messaggio criptato con una delle chiavi possa essere decifrato solo con l'altra chiave corrispondente.

Prendiamo ad esempio due persone, A e B. A desidera inviare un documento di testo a B, ma vuole garantire che solo B sia in grado di leggere il contenuto del documento. A decide di utilizzare la crittografia asimmetrica e utilizza la chiave pubblica di B per criptare il suo messaggio. Poiché la chiave pubblica di B è accessibile a tutti, anche A può ottenerla. Tuttavia, una volta che il messaggio è criptato, A non può più decifrarlo senza la chiave privata di B, che è mantenuta segreta da B. Quando B riceve il documento criptato, può utilizzare la sua chiave privata per decifrarlo e leggere il contenuto originale del messaggio.

In questo modo, la crittografia asimmetrica assicura che solo il destinatario designato, in questo caso B, sia in grado di leggere il messaggio, poiché solo lui possiede la chiave privata necessaria per decifrarlo.



Figura 2.11: Invio documento crittografia asimmetrica

Dopo aver ricevuto e aperto il documento da A, B decide di rispondere utilizzando lo stesso metodo di crittografia, garantendo così che solo A possa leggere il contenuto del suo messaggio. B cripta il documento utilizzando la chiave pubblica di A, che è stata messa a disposizione da A stesso. Successivamente, B invia il documento criptato ad A. A, avendo la sua chiave privata, è in grado di decriptare il documento ricevuto e leggerne il contenuto originale in modo sicuro e riservato. In questo modo, entrambe le parti possono comunicare in modo crittografato, assicurandosi che solo il destinatario designato possa leggere i messaggi scambiati.



Figura 2.12: Invio documento crittografia asimmetrica

La blockchain sfrutta la crittografia asimmetrica per consentire lo scambio di beni, come le criptovalute, tra due parti. Ogni individuo che possiede un bene sulla blockchain, indipendentemente dal tipo, dispone di una chiave pubblica, anche chiamata "indirizzo", e di una chiave privata. Per rendere più chiaro il concetto immaginiamo che due soggetti, Enzo e Stefano, vogliano scambiarsi un bitcoin.

corrispondente. Entrambi possiedono una chiave privata che garantisce che il trasferimento di beni sia effettuato volontariamente dal proprietario dei beni, proprio come un codice PIN per una carta di credito. Solo chi possiede la chiave privata può effettuare il trasferimento dei beni. È importante custodire la chiave privata in un luogo sicuro per evitare il rischio di furto.

Esaminiamo il processo dettagliato che si verifica se Enzo desidera inviare 1 bitcoin (BTC) a Stefano: Enzo accede ai suoi beni utilizzando la sua chiave privata e trasferisce 1 bitcoin all'indirizzo di Stefano. Durante questo processo, la crittografia asimmetrica entra in gioco, poiché la transazione viene criptata utilizzando la chiave pubblica di Stefano. Il trasferimento avviene in modo sicuro e legittimo, poiché è Enzo che ha inviato la transazione (autorizzata dalla sua chiave privata) all'indirizzo di Stefano. Solo Stefano è in grado di decryptare la transazione utilizzando la sua chiave privata.

Una domanda alla quale non è ancora stata data una risposta è come venga criptato il documento che transita tra due soggetti, in maniera tale che solo il soggetto ricevente sia in grado di leggerne il contenuto utilizzando la sua chiave privata. A questo scopo la tecnologia blockchain utilizza l'algoritmo di hash: L'hash è una vera e propria impronta digitale (digest). Un hash si ricava prendendo più dati (input) di lunghezza/dimensione variabile, questi vengono processati tramite una funzione di hash, che restituisce (output) un codice (hash) di lunghezza predefinita (di qualsiasi dimensione siano i dati inseriti nell'input, l'hash che si ottiene avrà la stessa lunghezza, quest'ultima è definita dal tipo di funzione hash utilizzata. Essa è una funzione irreversibile, il che significa che non è possibile risalire all'input originale (i dati utilizzati per generare l'hash) a partire dall'output (l'hash stesso), simile al fatto che non è possibile risalire al DNA di una persona partendo da un'impronta digitale, nonostante sia possibile risalire all'impronta digitale partendo dal DNA. Nella blockchain di Bitcoin, viene utilizzato l'algoritmo di hash SHA-256 (Secure Hash Algorithm a 256 bit), che produce hash di 256 bit. SHA-256 è considerato uno degli algoritmi più sicuri utilizzati nelle blockchain. Un

determinato input produrrà sempre lo stesso hash associato ad esso. Ad esempio, se dieci persone applicassero la funzione di hash alla parola "cane", otterrebbero tutte lo stesso risultato, sia oggi che tra un anno. Al contrario, anche una sola modifica, come cambiare una lettera in una parola (ad esempio, da "casa" a "cosa"), produrrebbe risultati di hash completamente diversi. ([Criptoinvestire, 2023](#))

La funzione di hash viene utilizzata per estrarre dal documento quella che viene chiamata impronta digitale, ovvero una stringa di dati univoca. Poi, l'impronta digitale viene criptata attraverso la chiave privata e si ottiene la firma digitale. L'impronta digitale, chiamata anche digest, può essere decodificata da chi riceve il documento tramite la chiave pubblica e confrontata con quella prodotta da lui in base al documento ricevuto, per verificarne l'autenticità e l'integrità.

Ecco quali sono i passaggi necessari per utilizzare la firma digitale:

1. Il mittente crea un messaggio e lo inserisce in una funzione di hash, ottenendo un output di lunghezza fissa chiamato "digest".
2. Il mittente crittografa il digest con la propria chiave privata, generando una firma digitale.
3. Il mittente invia il messaggio originale insieme alla firma digitale.
4. Il destinatario separa il messaggio e la firma digitale ricevuti.
5. Il destinatario utilizza la chiave pubblica del mittente per decifrare la firma digitale, ottenendo il digest.
6. Il destinatario applica la stessa funzione di hash utilizzata dal mittente al messaggio ricevuto, ottenendo un nuovo digest.
7. Il destinatario confronta i due digest per verificare l'integrità del messaggio e l'autenticità del mittente.

La verifica permetterà quindi di attestare che chiunque abbia inserito quei dati era in possesso della chiave privata, ricollegata alla chiave pubblica inserita, che ha generato la stringa di codice utilizzata come firma ([Brownworth, 2021](#)).

2.3.3 I meccanismi di consenso

Dopo avere spiegato come i vari attori possano verificare una transazione, altro punto cardine per comprendere a pieno il funzionamento della blockchain è il meccanismo di consenso. È fondamentale, infatti, la creazione di un sistema che permetta a tutti i partecipanti del network di fidarsi reciprocamente nel momento in cui una transazione debba essere validata e aggiunta alla

catena. In modo tale da evitarne il fallimento anche in presenza di comportamenti ostili all'interno della rete (bitcoin.org, 2009).

Ogni qual volta avviene una nuova transazione essa viene registrata e unita ad altre transazioni, così da formare un blocco dotato di timestamp, ovvero di una marca temporale che ne certifica la data e l'orario di avvenimento. Tali transazioni vengono validate e il blocco diventa un anello di una lunga catena di transazioni (blocchi) che seguono un ordine cronologico (quindi ogni volta che si genera un blocco la catena si allunga). La catena così composta rappresenta il libro mastro (ledger) che viene distribuito su tutti i nodi partecipanti alla rete. La blockchain viene sincronizzata costantemente su tutti i nodi, così da fare in modo che tutti abbiano sempre le stesse informazioni aggiornate.

Ma come avviene il processo di validazione?

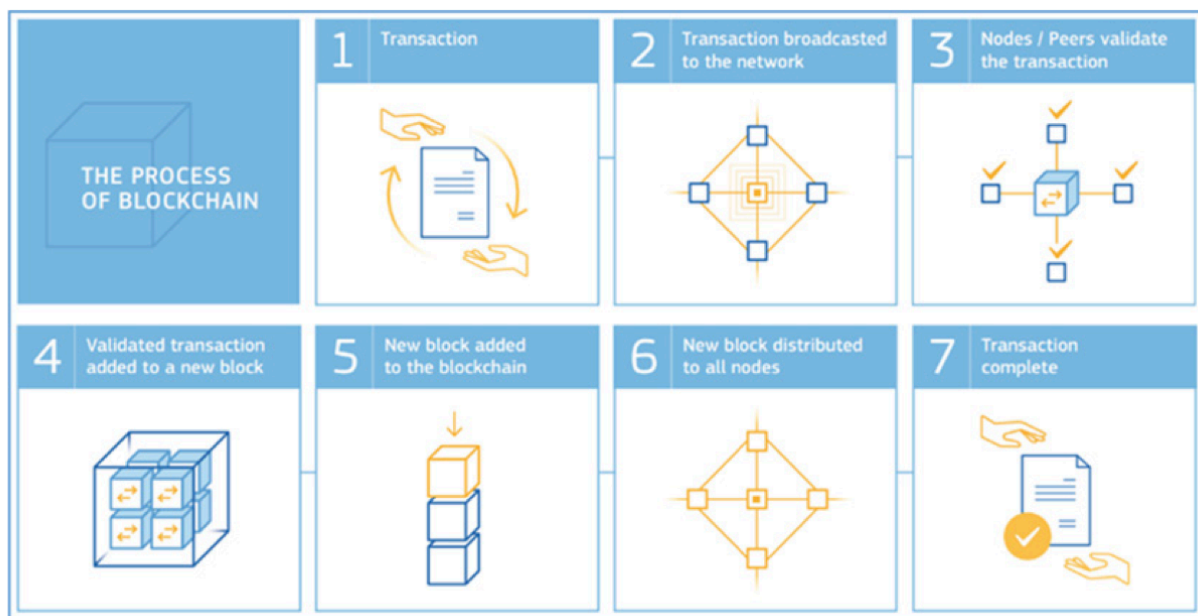


Figura 2.13: Validazione transazione blockchain

Per garantire il successo della validazione (punto 3 nella figura 2.13), è richiesto ai partecipanti che desiderano aggiungere blocchi (chiamati validatori) di fornire una "stake". La stake rappresenta un valore o un asset che il validatore deve mettere in gioco, al fine di dissuaderlo dal comportarsi in modo disonesto. Nel caso in cui il validatore commetta una frode o si comporti in maniera scorretta, perderà la sua stake. La stake può assumere diverse forme, come potenza computazionale, criptovaluta o persino reputazione. ([Binance Academy, 2018](#))

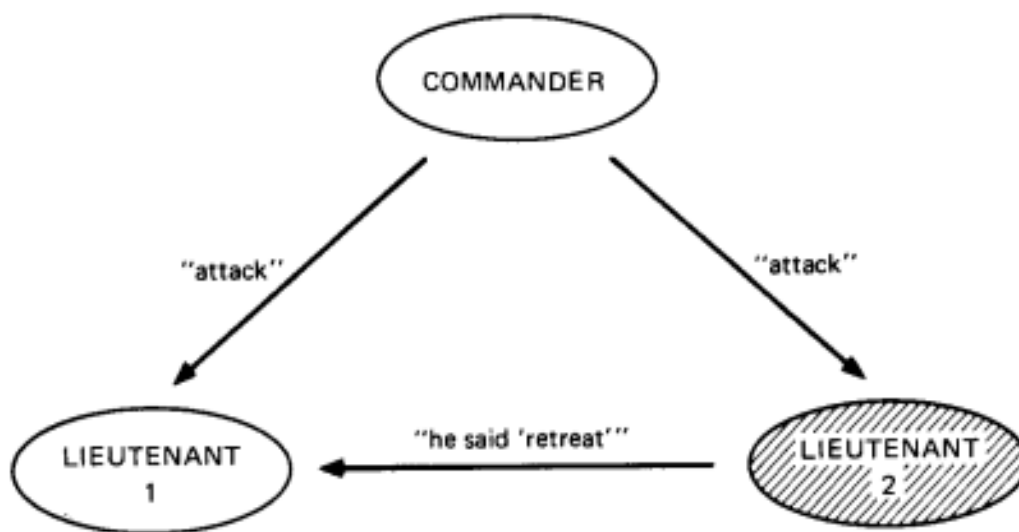
Per comprendere meglio i comportamenti ostili, è utile esaminare il problema informatico che rende possibili tali atteggiamenti. Il "Problema dei Generali Bizantini", noto anche come "The Byzantine Generals Problem", è stato introdotto per la prima volta nel 1982 da Marshall Pease, Robert Shostak e Leslie Lamport. In questa pubblicazione, i tre matematici utilizzano la metafora dei generali

bizantini per presentare un problema informatico che riguarda la capacità di raggiungere un consenso anche in presenza di informazioni imperfette.

L'allegoria descrive un gruppo di generali, rappresentati da un numero n di individui posizionati in diverse posizioni al di fuori di una città nemica. Questi generali devono prendere una decisione congiunta su sé attaccare o meno la città, ma possono comunicare solo attraverso messaggi, e potrebbero esserci generali traditori tra di loro. L'obiettivo finale è trovare un algoritmo che garantisca ai generali leali di giungere a un piano d'azione comune e impedire a un numero limitato di generali traditori di influenzare la scelta verso un piano errato.

Tuttavia, se vi sono tre generali, uno dei quali è un traditore, non è possibile trovare una soluzione al problema. Questo esempio evidenzia le sfide legate alla comunicazione e al raggiungimento del consenso in un contesto in cui la presenza di attori malevoli può compromettere l'obiettivo comune.

([Lamport et al., 1982](#))



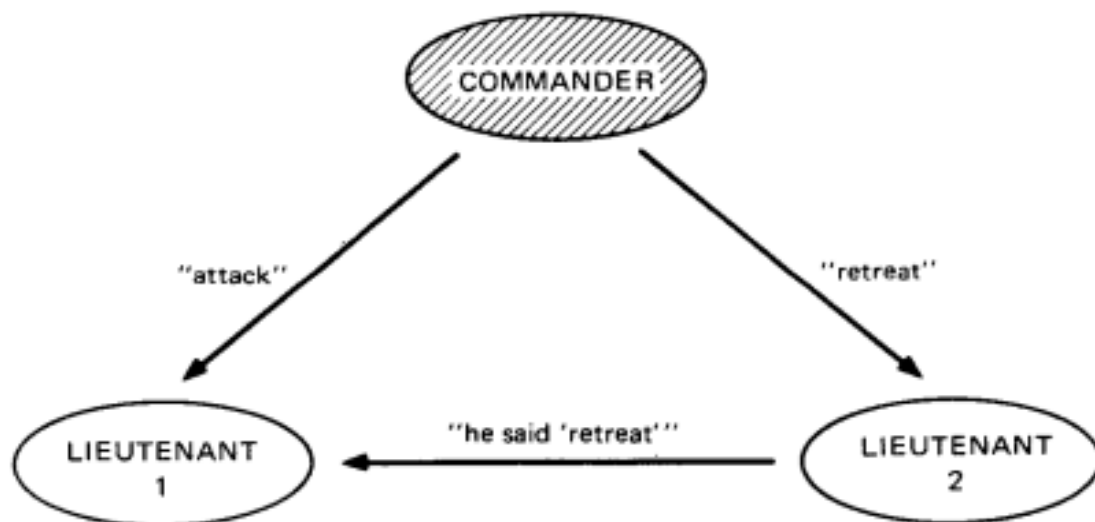


Figura 2.14: Il problema dei Generali Bizantini Lamport et Al. (1982)

Sia nel caso in cui il comandante (commander) sia un traditore, sia nel caso in cui lo sia il luogotenente (lieutenant), il secondo luogotenente non sarà in grado di individuare il traditore e di determinare quale decisione sia quella corretta da prendere.

Quando il numero di attori all'interno del sistema aumenta, il numero dei canali di comunicazione cresce in modo esponenziale. Questo fenomeno porta a una maggiore sfiducia all'interno della rete. La mancanza di fiducia è generata dal fatto che i traditori, come mostrato nelle figure 1 e 2, inviano segnali contrastanti ai partecipanti della rete. Di conseguenza, i partecipanti non possono determinare quale segnale sia quello corretto. Questa situazione corrisponde a quanto descritto da Nakamoto come il problema del "double-spending", che si riferisce alla possibilità che un attore invii alla rete informazioni contrastanti riguardanti il trasferimento di un Bitcoin. È simile alla situazione in cui si utilizza la stessa banconota per effettuare più acquisti contemporaneamente.

(Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System; Satoshi Nakamoto)

La situazione diventa ancora più complicata se si considera che i traditori, oltre a inviare informazioni contrastanti ai diversi nodi della rete, potrebbero inviare più messaggi a uno stesso nodo, senza che il nodo possa identificarne il mittente ([Squartini, 2017](#)). Questo fenomeno è noto in informatica come attacco Sybil, che si verifica quando un nodo in una rete peer-to-peer cerca di controllare la rete creando una serie di identità false.

La soluzione proposta nel White Paper di Bitcoin per affrontare il problema del double-spending e mitigare gli attacchi Sybil è la Proof-of-Work (PoW). Dal punto di vista tecnico, il protocollo PoW utilizza una funzione crittografica di hash, specificamente l'algoritmo SHA-256, per generare un hash fisso e di dimensione predefinita a partire da un input di qualsiasi dimensione e formato ([Antonopoulos, 2016](#)). In altre parole, l'applicazione della funzione SHA-256 su un qualsiasi file produrrà sempre una stringa alfanumerica di 256 bit che sarà univocamente associata a quel file di origine.

La Proof-of-Work rappresenta l'approccio per raggiungere il consenso nella blockchain di Bitcoin, come descritto nel White Paper: Il concetto che sta alla base è semplice: vuoi validare un blocco? Bene, allora devi provare il tuo impegno nel farlo, in modo tale che tutto il network possa essere tutelato da azioni malevole e scorrette. Qualsiasi nodo desideri partecipare al processo di validazione deve possedere un'enorme potenza di calcolo: Il Proof-of-Work chiede ai miners di risolvere un complesso calcolo probabilistico; il primo a riuscirci è colui che valida il nuovo blocco (e ottiene la ricompensa).

Per risolvere il calcolo, i miners di successo utilizzano speciali computer chiamati ASIC. Queste macchine non fanno altro che provare in continuazione delle combinazioni di numeri e lettere (crittografia SHA-256) fino al momento in cui non viene trovata quella al di sotto di un certo limite, risolvendo il problema proposto. Questo meccanismo serve appunto per impedire manomissioni del network: la validazione comporta spese ingenti in macchinari ed energia elettrica, non sarebbe conveniente agire in modo malevolo, perderemmo solo soldi.

Maggiore è la potenza di calcolo a disposizione, superiori saranno le possibilità di "aggiudicarsi la battaglia" contro tutti gli altri miners.

Alla validazione del blocco, il vincitore riceve una certa quantità di bitcoin come ricompensa.

Per poter validare una transazione fraudolenta è necessario possedere il 51% della cpu del sistema, ovvero una potenza di calcolo incredibile. "La proof-of-work segue il principio "una CPU-un voto". La decisione di maggioranza è rappresentata dalla catena più lunga, su cui è stato speso il massimo sforzo di Proof-of-Work. Se la maggioranza di potenza della CPU è controllata da nodi onesti, la catena onesta crescerà più velocemente e supererà eventuali catene concorrenti. Per modificare un blocco passato, un utente malintenzionato dovrebbe rifare la proof-of-work del blocco e di tutti i blocchi successivi ad esso e poi raggiungere e superare il lavoro dei nodi onesti ([Nakamoto Satoshi, 2008](#)). Fortunatamente un attacco 51% non è per nulla redditizio. Servirebbe una potenza di calcolo incredibile per poter controllare l'intera Blockchain, ed una volta che la notizia raggiunge il resto degli utenti la rete viene considerata compromessa e prontamente abbandonata. Questo porterebbe inevitabilmente ad una diminuzione del valore della criptovaluta, e di conseguenza dei fondi in possesso degli esecutori dell'attacco. Di conseguenza, nonostante a livello teorico un attacco del 51% sarebbe possibile, l'immutabilità del registro e la validazione corretta delle transazioni non sono in pericolo.

Tornando all'analogia dei generali bizantini, si potrebbe immaginare che a ogni decisione presa dai generali sia associato un problema complesso da risolvere, e la soluzione a questo problema dovrebbe essere inclusa nel messaggio per essere verificata dagli altri generali. In questa situazione, un generale traditore non sarebbe in grado di inviare messaggi discordanti semplicemente perché non avrebbe abbastanza tempo per risolvere tutti i problemi necessari ([Squartini, 2017](#)).

L'attività di mining richiede l'uso di macchine altamente specializzate capaci di risolvere algoritmi estremamente complessi in tempi ridotti. Questi dispositivi non solo sono estremamente costosi, ma consumano anche enormi quantità di energia elettrica, aumentando ulteriormente i costi.

Questo fenomeno rappresenta una minaccia alla decentralizzazione del sistema in quanto solo una piccola parte degli utenti può permettersi di fare tali investimenti. Di conseguenza, dal 2009 a oggi sono stati sviluppati altri meccanismi di consenso al fine di superare alcune criticità presenti nell'attività di creazione e validazione dei blocchi (conosciuta anche come mining) che si basa sulla Proof-of-Work (PoW).

Alcuni dei meccanismi di consenso più significativi sono il Proof-of-Stake (PoS) e il Delegated-Proof-of-Stake (DPoS). Nel caso del PoS, la potenza di calcolo della CPU non è utilizzata per determinare la potenza nel network nella validazione dei blocchi, ma viene preso in considerazione il numero di criptovalute detenute. I validatori possono essere selezionati in base a diversi criteri, come la quantità di token in staking, il tempo di permanenza dei token in staking o tramite un processo di selezione casuale.

([McKinsey & Company, 2022](#))

Alcune blockchain richiedono un deposito minimo di criptovalute per partecipare al processo di staking, mentre altre non lo richiedono. Queste variazioni nel criterio di selezione portano a diverse varianti del PoS, come il Delegated PoS o il Pure PoS. Lo staking, ovvero la quantità di criptovalute bloccate per il processo di validazione, funge come una garanzia fornita dal nodo per svolgere correttamente il suo ruolo di validatore. Nel caso in cui un nodo commetta errori o si comporti in modo fraudolento, perderà tutte le criptovalute in staking. Il PoS è considerato il meccanismo di consenso più decentralizzato, richiede minori barriere tecniche per partecipare alla rete e i nodi sono più distribuiti, garantendo così maggiore sicurezza. Una critica rivolta al PoS è che favorisce i grandi detentori di criptovalute, poiché vengono selezionati più frequentemente per validare i blocchi e ottenere incentivi. Tuttavia, la dimensione dello stake è un incentivo per svolgere correttamente e frequentemente il lavoro di validazione. Più alta è la quantità di criptovalute in gioco, maggiore è il rischio di perderle in caso di errori nella validazione.

Il Delegated Proof-of-Stake (DPoS) è stato ideato da Dan Larimer per EOS come variante del meccanismo di consenso PoS. Questo meccanismo è basato sul concetto di delegare la partecipazione. Le blockchain che utilizzano il DPoS non selezionano i validatori dei blocchi tra tutti gli utenti che hanno criptovalute in staking, ma tra un numero fisso di delegati eletti dai partecipanti della rete. Chi possiede criptovalute in staking può trasferire il suo diritto di essere selezionato come validatore a delegati. In questo modo, i partecipanti della rete votano i delegati più efficienti e possono revocare il loro sostegno a quelli negligenti. In cambio del supporto ai delegati, i partecipanti ricevono una percentuale di ricompense di blocco proporzionale alla quantità di criptovalute che hanno delegato. Il DPoS è considerato uno dei meccanismi di consenso più democratici perché tutti i detentori del token hanno la possibilità di partecipare alla creazione dei blocchi e ricevere ricompense, non solo i grandi detentori. ([Gervais, 2016](#))

2.3.4 Tokenizzazione e smart contracts

L'eliminazione di un'autorità centrale che certifichi e validi il contributo di ogni individuo e le transazioni tra ognuno di essi non è l'unico cambio di paradigma che la tecnologia blockchain ha apportato. Grazie ad essa è possibile espandere il concetto di valore che può essere suddiviso e scambiato oltre i termini puramente economici, inclusi reputazione, lavoro, diritto d'autore, utilità e diritti di voto. Questo grazie ai token e al relativo concetto di tokenizzazione.

Un Token corrisponde a un gruppo di informazioni digitali inserite all'interno di una blockchain. Queste conferiscono a un dato soggetto un determinato diritto che può riguardare la proprietà di un asset, l'accesso a un bene o a un servizio e la realizzazione o la ricezione di un pagamento. Esso è registrato all'interno di un'infrastruttura blockchain. Quest'ultima fa sì che gli scambi di token avvengano in maniera sicura e senza intermediari. ([Shin, 2019](#))

Il concetto di token è strettamente legato al concetto di tokenizzazione, una delle conseguenze più dirompenti della tecnologia blockchain, che rappresenta il processo di creazione dei token. Essa può essere descritta come l'incapsulamento di un valore in un'unità di conto scambiabile e negoziabile chiamata token, come una forma di digitalizzazione del valore. ([Freni, 2020](#))

Tuttavia, la tokenizzazione va oltre i soli termini economici e influisce su altri aspetti. La reputazione, il lavoro, il diritto d'autore e i diritti di voto sono solo alcuni esempi che evidenziano le enormi potenzialità di questo processo. Una volta che questi valori vengono tokenizzati, possono essere scambiati, contabilizzati e sfruttati all'interno di un sistema di incentivi che promuove livelli equi di ricchezza e disintermediazione, consentendo la vera realizzazione di una sharing economy eliminando la concentrazione di potere in mano a pochi intermediari.

Nonostante il termine "token" venga spesso utilizzato nel contesto delle criptovalute, è importante notare che i due termini non sono intercambiabili. Le criptovalute sono una parte integrante di una specifica blockchain e possono essere estratte da essa (ad esempio, Ether è la criptovaluta nativa della blockchain Ethereum). D'altra parte, i token vengono generati su blockchain preesistenti utilizzando smart contract, che sono software presenti all'interno delle blockchain stesse.

Il valore e lo scopo dei token sono determinati da chi li crea e dal contesto in cui operano. Mentre le criptovalute possono essere paragonate alle valute tradizionali perché possono essere utilizzate come mezzo di scambio, i token hanno molte altre applicazioni al di là dello scambio di valuta digitale. La tokenizzazione su blockchain può essere applicata praticamente a qualsiasi cosa, che si tratti di una bevanda, un bene, documenti, identità o persino una casa.

Un token può essere descritto come "un'unità di valore che un'organizzazione crea per autogovernare il proprio modello di business e consentire ai suoi utenti di interagire con i suoi prodotti, facilitando la distribuzione e la condivisione di premi e benefici per tutti i suoi stakeholder" e ancora "come uno strumento fittizio socioeconomico per promuovere il coordinamento degli attori

in un ecosistema regolato verso il perseguimento di una funzione obiettivo di rete, attraverso un insieme di sistemi di incentivazione.” ([Freni, 2020](#)).

Proprio come Internet ha abilitato la circolazione gratuita e veloce di informazioni digitalizzate, così la blockchain sta consentendo il flusso “quasi gratuito” e senza confini di valore digitalizzato. La blockchain ha permesso di risolvere algebricamente il problema della doppia spesa e ha introdotto il concetto di scarsità digitale, in contrapposizione all'abbondanza digitale che caratterizza l'Internet delle informazioni, che non permette la duplicazione infinita del bene e ne preserva il valore. ([Freni, 2020](#)).

Un concetto molto importante già parzialmente emerso all'interno di questo paragrafo e strettamente correlato al concetto di tokenizzazione è quello di smart contract.

Gli smart contracts, teorizzati per la prima volta dall'informatico e crittografo Nick Szabo nel 1997, sono dei software basati sulla blockchain. A differenza dei contratti legali nel mondo reale, sono formati da un codice crittografico e servono ad automatizzare l'esecuzione di un accordo, garantendo che tutti i partecipanti siano immediatamente certi dell'esito senza bisogno di intermediari o perdite di tempo. Si tratta di codice digitale che stabilisce una serie di garanzie basate su condizioni predefinite concordate tra le parti. Fondamentalmente, le parti possono stabilire una condizione che attiva un'azione o una serie di azioni quando non viene soddisfatta.

A differenza dei contratti tradizionali, in cui una parte che viola i termini può essere portata in tribunale, gli smart contract rafforzano tali accordi, poiché le regole vengono applicate automaticamente senza coinvolgere tribunali o terze parti.

Gli smart contract funzionano seguendo istruzioni semplici come "se/allora" scritte nel codice su una blockchain. Di solito, la piattaforma più comune per gli smart contract è Ethereum, anche se esistono diverse piattaforme blockchain che offrono servizi di smart contract, come Cardano e Ripple. ([Forbes, 2022](#))

La creazione di un token sulla blockchain implica la definizione di tutte le sue caratteristiche fondamentali all'interno di uno smart contract. Questo include dettagli come il numero di token in circolazione, i soggetti autorizzati a trasferirli, i detentori dei token (conosciuti come "token holder"), le regole per l'accesso ai token e le condizioni per il guadagno. In sostanza, lo smart contract stabilisce le specifiche e le condizioni che regolano il funzionamento del token sulla blockchain.

Per comprendere le potenziali applicazioni in diversi settori, è necessario esaminare le varie tipologie di token, iniziando con una distinzione fondamentale tra due grandi categorie: i token fungibili e i token non fungibili (NFT).

Un token fungibile può essere scambiato con un altro token dello stesso valore, mentre un NFT rappresenta un asset unico che non può essere sostituito da un altro NFT dello stesso tipo. Inoltre, i token fungibili possono essere suddivisi in unità più piccole, mentre gli NFT non possono essere frazionati.

Gli NFT offrono la possibilità di attestare l'autenticità e la proprietà di un oggetto digitale. È proprio per questa ragione che sono diventati particolarmente popolari nel campo dell'arte, attirando l'interesse di artisti e collezionisti. Gli NFT rappresentano un modo per certificare la proprietà e l'unicità delle opere d'arte digitali.

Alcuni importanti istituti finanziari come la svizzera FINMA (Autorità federale di vigilanza sui mercati finanziari), l'americana SEC (Securities and Exchange Commission), e la Cryptoassets Taskforce formata da un'azione combinata di HM Treasury, Financial Conduct Authority e Bank of England, hanno provato a dare una classificazione preliminare dei token fungibili, che sono stati divisi in tre categorie:

- **Exchange Token:** Questa categoria include le "semplici criptovalute" utilizzate per effettuare pagamenti per l'acquisto di beni o servizi. Questi token sono basati su una piattaforma DLT (Distributed Ledger Technology) e non sono emessi o controllati da una banca centrale. Non forniscono alcun diritto o accesso a servizi specifici, ma sono utilizzati come strumenti di scambio o per scopi di investimento. Esempi rappresentativi di questa categoria di token includono Bitcoin, Ether e Monero.
- **Utility Token:** Questi token sono utilizzati per consentire l'accesso a prodotti o servizi offerti tramite una piattaforma DLT. Non possono essere considerati come valori mobiliari e conferiscono solo il diritto di accesso a un'utilità o a un servizio digitale, che deve essere esercitabile dal momento dell'emissione del token. Se un utility token ha anche una funzione di investimento, viene classificato come security token. Un esempio di utility token è MANA, che si basa su Ethereum e viene utilizzato dagli utenti nella piattaforma di gioco virtuale Decentraland per acquistare terreni, beni e servizi.
- **Security Token:** Questi token rappresentano la proprietà di un asset digitale o fisico e hanno un valore collegato ad esso. Consentono ai proprietari di tenere traccia delle transazioni relative all'asset tramite la registrazione su una blockchain. A differenza degli utility token, i security token sono assimilabili a titoli finanziari e sono soggetti alle relative regolamentazioni. Sono considerati strumenti di investimento e possono generare profitti per gli acquirenti. All'interno di questa categoria, esiste una sottocategoria chiamata equity token, che consente agli acquirenti di partecipare alle decisioni dell'azienda emittente, simile all'emissione tradizionale di azioni e soggetta a specifiche normative. I proprietari di equity token possono avere il diritto di ricevere dividendi o di esercitare il potere di voto all'interno dell'azienda.

2.3.5 Classificazione degli ecosistemi blockchain

Oggi giorno è possibile individuare numerose blockchain attive nel mondo in diversi contesti. Tuttavia, all'interno di questo ecosistema altamente diversificato, è possibile individuare tre macrocategorie principali. Melanie Swan nel suo libro "Blockchain: Blueprint for a New Economy" e Don Tapscott, due dei più importanti esperti in ambito blockchain, individuano tre categorie utili a distinguere e capire i vari progetti nati su un ecosistema blockchain, cercando di descrivere l'evoluzione e le caratteristiche distintive delle diverse fasi di sviluppo delle tecnologie blockchain. Di seguito fornirò una descrizione generale di ciascuna generazione:

1. Blockchain 1.0 (Blockchain di Valore): La blockchain 1.0 è la prima generazione delle tecnologie blockchain, rappresentata principalmente da Bitcoin. È focalizzata sulla creazione di una valuta digitale decentralizzata che consente transazioni peer-to-peer senza l'intermediazione di istituzioni finanziarie tradizionali. La blockchain 1.0 è principalmente incentrata sulla sicurezza e l'immutabilità dei registri di transazione, utilizzando algoritmi di consenso come la Proof-of-Work (PoW) per raggiungere un consenso distribuito.

lo scopo di tutti questi progetti è sempre lo stesso: creare un meccanismo che archivi in maniera sicura e immutabile le transazioni e che risolva il problema della doppia spesa ([Gervais, 2016](#)).

Questa versione è essenzialmente un sistema di trasferimento di denaro elettronico automatizzato e funziona senza la necessità di intervento umano tra le transazioni come autorità fidata. Questo sistema consente agli utenti di scambiare valute senza l'intervento di una banca (del settore privato o governativo).

2. Blockchain 2.0 (Blockchain di Contratti Intelligenti): La blockchain 2.0 è la seconda generazione delle tecnologie blockchain e ha introdotto i contratti intelligenti. Un esempio notevole di blockchain 2.0 è Ethereum. I contratti intelligenti consentono l'esecuzione automatica di contratti digitali senza la necessità di intermediari. Questa generazione si concentra sulla programmabilità delle transazioni, consentendo la creazione di applicazioni decentralizzate (DApp) che possono eseguire una vasta gamma di operazioni automatizzate. La blockchain 2.0 ha portato l'attenzione dalla semplice trasferimento di valore alle potenzialità di creare applicazioni complesse sulla blockchain, In questo caso la blockchain viene utilizzata come strumento attraverso cui trasferire qualsiasi tipo di asset e per la creazione di unità di valore. ([Swan, 2015](#))

3. Blockchain 3.0 (Blockchain Scalabili e Interconnesse): La blockchain 3.0 è la terza generazione delle tecnologie blockchain ed è incentrata sulla risoluzione delle limitazioni di

scala e interoperabilità delle generazioni precedenti. L'obiettivo è creare un ecosistema blockchain più scalabile, in grado di gestire un numero maggiore di transazioni al secondo, e interconnesso, consentendo la comunicazione e lo scambio di dati tra diverse blockchain. Alcune tecnologie blockchain che rientrano nella categoria della blockchain 3.0 includono Ripple, Cardano e EOS. Questa generazione mira a rendere le blockchain più adatte all'adozione su larga scala e all'integrazione con altre tecnologie e sistemi.

([Maesa, 2020](#))

Un'ulteriore possibile classificazione delle diverse tipologie di ecosistemi blockchain può essere basata sul livello di accessibilità della rete, ovvero chi ha il diritto di partecipare al network e in che modo possono farlo. In questo contesto individuiamo nuovamente 3 diverse categorie di blockchain:

- **Public blockchains (blockchain pubbliche):** le blockchain pubbliche sono accessibili a chiunque e aperte alla partecipazione di qualsiasi individuo o organizzazione senza restrizioni. In queste blockchain, qualsiasi persona può diventare un partecipante, validare le transazioni e contribuire alla sicurezza della rete. Un esempio noto di blockchain pubblica è Bitcoin, dove chiunque può partecipare alla rete, inviare e ricevere transazioni e contribuire alla verifica delle transazioni tramite il processo di mining. Le blockchain pubbliche sono decentralizzate e basate su protocolli di consenso che garantiscono l'integrità e la sicurezza dei dati.
- **Consortium blockchains (blockchain consortili):** le blockchain consortili sono reti blockchain gestite da un consorzio di organizzazioni o entità preselezionate. In una blockchain consortile, i partecipanti sono limitati a un gruppo ristretto e autorizzato di entità. Queste reti sono progettate per consentire la condivisione di dati e transazioni tra le organizzazioni coinvolte, fornendo al contempo un certo grado di controllo e privacy. La governance e la gestione della blockchain consortile sono generalmente definite da accordi tra i membri del consorzio. Un esempio di blockchain consortile è R3 Corda, utilizzata in settori come la finanza e la logistica.
- **Fully private blockchains (blockchain completamente private):** le blockchain completamente private sono reti blockchain che sono gestite e controllate da un'entità o un'organizzazione specifica. In queste reti, l'accesso e la partecipazione sono limitati esclusivamente all'entità che controlla la blockchain. Ciò significa che le transazioni e i dati sulla blockchain sono accessibili solo agli utenti autorizzati all'interno di quella particolare organizzazione. Le blockchain completamente private sono utilizzate principalmente per casi d'uso interni

all'interno di un'organizzazione, come la gestione delle forniture o la condivisione di dati sensibili tra diversi dipartimenti. Un esempio di blockchain completamente privata è Quorum, sviluppata da JPMorgan Chase.

In sintesi, le blockchain pubbliche sono accessibili a chiunque, le blockchain consortili sono limitate a un gruppo preselezionato di entità e le blockchain completamente private sono gestite e controllate da un'entità specifica. La scelta tra queste tipologie di blockchain dipende dai requisiti di accesso, controllo, privacy e sicurezza delle reti blockchain per un determinato caso d'uso.

Capitolo 3

Metodologia e strumenti di ricerca

3.1 Metodo di ricerca

Il lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare due tematiche principali: la tecnologia blockchain e la lotta al cambiamento climatico attraverso l'attivazione di un cambio comportamentale nei cittadini. In particolare, l'obiettivo di questa ricerca è quello di identificare il contributo che tale tecnologia può fornire nell'attivazione di un behavioral change nei cittadini all'interno di una smart city, nei quattro mercati di riferimento (energia, mobilità, economia circolare e rifiuti).

Per la conduzione di tale ricerca risulta di rilevante importanza precisare come, mentre per la tecnologia blockchain e le sue potenzialità esista una letteratura scientifica adeguata, per quanto concerne il contributo di quest'ultima nell'attivare un cambio comportamentale nei cittadini poche sono le ricerche scientifiche in merito. Pertanto, è stato ritenuto opportuno condurre la ricerca utilizzando una metodologia empirica, che consiste nell'analizzare direttamente l'incidenza delle piattaforme decentralizzate all'interno di ogni soluzione esaminata.

Al fine di condurre un'analisi esplorativa sull'ecosistema di soluzioni per la sostenibilità ambientale all'interno dei mercati di riferimento e sul relativo contributo delle piattaforme blockchain-based, è stato scelto il metodo di ricerca Case Study, un metodo di ricerca empirico che studia un fenomeno entro il suo contesto di vita reale e non indipendentemente da esso ([Pettigrew, 1979](#)).

In particolare, dato l'alto grado di differenziazione delle soluzioni presenti nel contesto di analisi, si è optato per un embedded case study, ovvero un caso di studio contenente più di una sottounità di analisi.

Data la mancanza di teorie consolidate e validate sull'argomento della tesi è necessaria l'adozione di un approccio esplorativo per il caso di studio ([Yin, 2011](#)).

A tale scopo, è stato realizzato un database contenente una lista di soluzioni e progetti aventi l'obiettivo di promuovere la sostenibilità ambientale, con particolare attenzione a quelle soluzioni che basano la loro efficacia sull'attivazione di un cambio comportamentale nei cittadini.

Una volta realizzato il database si è proceduto con la cluster analysis, anche detta clustering. Per cluster analysis si intende il partizionamento dei dati in sottogruppi significativi, quando il numero di sottogruppi e altre informazioni sulla loro composizione possono essere sconosciuti ([Fraley and](#)

[Raftery, 1998](#)). Applicato al nostro studio la cluster analysis permette di raggruppare le soluzioni simili in un unico cluster in modo da definire al meglio l'ecosistema di soluzioni per i vari settori analizzati e il differente apporto che la blockchain ha dato ai diversi ecosistemi. In particolare, come spiegato in dettaglio nella sezione 3.1.3, nel seguente lavoro di tesi si è deciso di utilizzare l'algoritmo di clusterizzazione k-means.

3.1.1 Fonti

Al fine di identificare in maniera esaustiva, all'interno di ogni settore di riferimento, l'ecosistema di soluzioni esistenti per la lotta al cambiamento climatico e il valore aggiunto offerto dalle piattaforme blockchain allo sviluppo di soluzioni basate sul cambio comportamentale degli utenti, è stata condotta un'analisi esplorativa dei casi di studio utilizzando diverse fonti di informazione che possono essere suddivise in tre categorie: Scientific literature, Grey literature e Company database. La prima categoria comprende diversi articoli scientifici ottenuti attraverso la consultazione di librerie digitali come IEEEExplore e ResearchGate. Questi articoli sono stati utilizzati come fonti di informazione per gli aspetti tecnologici legati alla blockchain e al contributo da essa offerto.

La Grey literature include i white-paper, blue-paper e industry reports che sono stati invece utilizzati per analizzare gli aspetti legati al business model e alla diffusione geografica delle piattaforme selezionate.

Infine, l'ultima categoria fa riferimento ai database online messi a disposizione da diverse aziende per ottenere informazioni aziendali ed economiche. Nel caso specifico, sono stati presi in considerazione i dati forniti dai seguenti sistemi: CrunchBase e CoinMarketCap.

3.1.2 Database

Per realizzare il database sono state prese in considerazione famiglie di soluzioni e progetti molto eterogenee tra loro, al fine di ottenere una panoramica delle soluzioni esistenti per la sostenibilità ambientale, nei settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti e dell'economia circolare, che fosse a più ampio spettro possibile, coerentemente con la prima domanda di ricerca. Essa, infatti, si pone l'obiettivo di identificare l'intero ecosistema di soluzioni esistenti, con unica discriminante la lotta al cambiamento climatico e l'appartenenza a uno dei quattro settori di riferimento. Una volta ottenuto una visione completa di tutte le famiglie di soluzioni esistenti sul mercato, si porrà

l'attenzione su quelle in grado di attivare un behavioral change nei cittadini e sull'eventuale contributo della tecnologia blockchain.

Per le soluzioni inserite all'interno del database sono state raccolte informazioni suddivise in tre categorie: la prima fa riferimento a informazioni più generali sul progetto o sulla soluzione in questione, la seconda mira a identificare e distinguere tra loro le diverse famiglie di soluzioni identificate. Infine, la terza include delle informazioni sulle caratteristiche tecnologiche delle soluzioni analizzate come l'eventuale sfruttamento dell'IoT, dell'intelligenza artificiale o della blockchain.

Di seguito, per ognuna delle tre categorie, vengono mostrate e descritte le singole sottocategorie di dati raccolti per ogni soluzione analizzata.

Informazioni generali: L'obiettivo delle informazioni raccolte in questa categoria è quello di identificare il settore nella quale operano le diverse soluzioni e di valutare il loro livello di maturità e diffusione geografica. Viene inoltre valutata l'applicabilità delle diverse soluzioni all'interno di un contesto urbano, per valutare l'impatto che possono fornire in termini di sostenibilità ambientale all'interno di una città. Pertanto, le categorie di dati presi in considerazione sono:

- **NOME SOLUZIONE:**

Descrizione: indicare il nome del progetto o della soluzione analizzata

- **SETTORE DI RIFERIMENTO:**

Descrizione: indicare a quale settore la soluzione in esame appartiene. I settori di riferimento sono quello dell'energia, della mobilità e dei rifiuti/economia circolare. I settori dei rifiuti e dell'economia circolare, data l'elevata interdipendenza reciproca, sono stati uniti in un unico settore.

- **MATURITA':**

Descrizione: indicare il livello di maturità delle soluzioni in esame. Questo parametro può assumere quattro valori: attiva sul mercato, progetto pilota, in fase di sviluppo, non più operativa.

Per le applicazioni web il valore "progetto pilota" è sostituito dal valore "Beta".

"Attiva sul mercato" indica tutte quelle soluzioni che sono attualmente disponibili e in uso nel mercato. Indica che l'entità o l'azienda che offre tale soluzione ha lanciato il proprio prodotto o servizio e sta attivamente operando e cercando di ottenere clienti o utenti.

"Progetto pilota" indica un'attività o un'iniziativa limitata nel tempo e nello scopo, che viene eseguita come test o prova iniziale per valutare l'efficacia e la fattibilità di un'idea. In modo

analogo, la versione Beta di un'applicazione digitale è invece una versione di prova resa disponibile a una platea di pubblico limitata.

“In fase di sviluppo” si riferisce a uno stadio o a una fase di un processo in cui un prodotto, un progetto o un'idea è ancora in corso di sviluppo o di creazione. Indica che il lavoro è in corso per trasformare l'idea in una forma tangibile.

“Non più operativa” indica che un'entità, un'organizzazione o un sistema che in passato era attivo e funzionante, ha cessato la sua operatività o la sua attività.

- **DIFFUSIONE GEOGRAFICA:**

Descrizione: indicare la diffusione geografica delle soluzioni in esame. Questo parametro può assumere tre valori: “locale” (con indicazione della/e località nella quale è diffuso), “nazionale” (con indicazione della/e nazione/i nella quale è diffuso) e “internazionale” (con indicazione del continente nel quale è diffuso. Nel caso sia diffuso in più continenti assume il valore globale).

- **CONTRIBUTO DIRETTO ALLA SOSTENIBILITA' DELLA CITTA':**

Descrizione: Indicare, attraverso una variabile dummy che può assumere i valori si/no, se la soluzione in esame sviluppi il suo servizio direttamente all'interno delle città o se invece fornisca un contributo indiretto allo sviluppo della sostenibilità urbana

Nome soluzione	Settore	Maturità	Diffusione	Contributo a città
Nome soluzione	Energia, mobilità, rifiuti/economia circolare	Attiva sul mercato, progetto pilota, in fase di sviluppo/ beta, non più operativa	Locale, nazionale, internazionale	si/no

Tabella 2.1

Informazioni sulle diverse famiglie di soluzioni osservate: La famiglia di soluzioni si riferisce a un insieme di soluzioni e approcci che condividono caratteristiche comuni e risolvono problemi simili. Queste soluzioni sono raggruppate insieme perché condividono uno stesso obiettivo o una stessa finalità e condividono le modalità operative o gli approcci specifici utilizzati.

A tale scopo, ci si concentra sull'identificazione del servizio da esse offerto, se tale servizio basi o meno la propria efficacia sull'attivazione di un cambio comportamentale nei cittadini e sul ruolo che svolgono i dati al loro interno. I dati, infatti, costituiscono la base essenziale per lo sviluppo e la fornitura di ogni servizio. Riconoscere il loro ruolo all'interno di ogni soluzione consente di comprendere in modo più approfondito il servizio offerto, differenziando le soluzioni che operano in modi diversi tra di loro.

Le informazioni presenti in questa categoria sono le uniche che verranno utilizzate come rilevanti per il processo di clusterizzazione, come spiegato nella sezione 4.1. A tale scopo, i valori all'interno di ogni attributo (servizio offerto, behavioral change e ruolo dati) sono stati espressi attraverso delle variabili dummy che possono assumere solo due valori, 0 e 1, per indicare la presenza o l'assenza di una caratteristica specifica. Ogni soluzione viene così trasformata in un vettore di 0 e 1, pronta per essere clusterizzata.

Le categorie di dati raccolti vengono di seguito, così descritte e motivate:

- **SERVIZIO OFFERTO:**

Descrizione: Identificare il tipo di servizio offerto dalla singola soluzione in esame. Questo parametro è l'unico parametro nel database i cui valori che può assumere si differenziano a seconda del settore di riferimento, ovvero energia, mobilità e rifiuti/economia circolare.

Per identificare i valori che il parametro può assumere all'interno di ogni settore è stata svolta un'analisi di tipo empirico-concettuale, andando ad analizzare dettagliatamente il contributo di ognuna delle singole soluzioni in esame, grazie alle informazioni diffuse dalle stesse piattaforme all'interno della loro documentazione (whitepaper, siti web e repository Github). È importante sottolineare come una singola soluzione possa assumere più di un valore tra quelli presenti all'interno del suo settore di appartenenza.

Di seguito, per ogni settore, l'elenco dei diversi valori identificati:

- 1. Energia:**

- *Sviluppo Sistemi energetici distribuiti:* i sistemi energetici distribuiti sono un approccio alternativo ai tradizionali sistemi energetici centralizzati, in cui la produzione e la distribuzione dell'energia avvengono in modo decentralizzato. Invece di dipendere da grandi centrali elettriche o reti di trasmissione a lunga distanza, i sistemi energetici distribuiti si basano su una combinazione di fonti di energia locali, produzione distribuita e gestione intelligente dell'energia. Gli obiettivi dei sistemi energetici distribuiti includono la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, la promozione dell'indipendenza energetica, l'aumento della resilienza del sistema energetico e la creazione di comunità energetiche locali.
- *Efficientamento produzione e consumi di energia:* l'efficientamento della produzione e dei consumi di energia è un approccio finalizzato a ottimizzare l'uso delle risorse energetiche, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza complessiva del sistema energetico.
- *Diffusione energie rinnovabili:* soluzioni aventi l'obiettivo di favorire la diffusione delle energie rinnovabili su larga scala, attraverso un miglioramento della loro resa, la

creazione di sistemi di immagazzinamento dell'energia più efficienti o individuando nuovi contesti favorevoli alla loro implementazione.

- *Ricarica veicoli elettrici*: soluzioni che favoriscono una maggiore diffusione su larga scala di veicoli elettrici, eliminando l'ansia da autonomia limitata.

2. Mobilità:

- *Movimento fisico*: soluzioni che incentivano gli utenti a spostarsi a piedi, in bici o in monopattino al posto di utilizzare un veicolo a motore.
- *Interventi a supporto di un miglioramento della viabilità*: soluzioni che mirano a limitare gli ingorghi urbani, ottimizzando la viabilità.
- *Veicoli a motore meno inquinanti*: soluzioni che mirano a diminuire il rapporto tra le emissioni totali dovuti agli spostamenti all'interno di una città e il numero di cittadini, sia promuovendo lo sviluppo e l'utilizzo di veicoli meno inquinanti che promuovendo un maggiore utilizzo dei mezzi pubblici.
- *Mobility as a service*: sviluppo di soluzioni di mobilità integrata. Invece di possedere un mezzo di trasporto, come un'auto o una bicicletta, gli utenti possono accedere a una piattaforma digitale che offre una vasta gamma di opzioni di mobilità, come il trasporto pubblico, il car sharing, il bike sharing, i servizi di ride-hailing e altri servizi di trasporto.

3. Rifiuti/economia circolare:

- *Smaltimento rifiuti*: soluzioni che mirano ad incoraggiare i cittadini verso un corretto smaltimento dei rifiuti, così da favorire un loro successivo riciclo, e a sviluppare tecnologie che migliorino il processo di smaltimento.
- *Trasformazione rifiuto in risorsa*: soluzioni che sviluppano processi e tecnologie per cercare valorizzare i rifiuti e utilizzarli come materie prime preziose per la produzione di nuovi prodotti.
- *Product as a service*: soluzioni che offrono ai clienti l'accesso a un prodotto come servizio anziché la proprietà fisica del prodotto stesso. Invece di acquistare un prodotto e assumerne la responsabilità della gestione, della manutenzione e del riciclaggio, i clienti pagano per l'utilizzo o il consumo del prodotto.
- *Tracciamento filiera prodotto/rifiuto*: I servizi di tracciamento della filiera prodotto/rifiuto sono strumenti e soluzioni che consentono di monitorare e tracciare il percorso di un prodotto o di un rifiuto lungo l'intera catena di approvvigionamento e smaltimento. Questi servizi sono finalizzati a garantire la trasparenza, la conformità normativa e la gestione efficiente dei prodotti e dei rifiuti lungo tutto il ciclo di vita.

- *Riduzione consumismo e produzione inquinanti*: soluzioni che mirano a ridurre il quantitativo di rifiuti e sostanze inquinanti prodotto dai cittadini e dalle aziende.

ENERGIA:

Nome soluzione	Sviluppo sistemi energetici distribuiti	Efficientamento energetico	Diffusione rinnovabili	Ricarica veicoli elettrici
<i>Nome soluzione</i>	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.2

MOBILITA':

Nome soluzione	Movimento fisico	miglioramento della viabilità	Veicoli meno inquinanti	Mobility as a service
<i>Nome soluzione</i>	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.3

RIFIUTI/ECONOMIA CIRCOLARE:

Nome soluzione	Smaltimento rifiuti	Trasformazione rifiuto in risorsa	PaaS	Tracciamento filiera	Riduzione consumi, rifiuti
<i>Nome soluzione</i>	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.4

- **BEHAVIORAL CHANGE:**

Descrizione: identificare il tipo di contributo che la soluzione in esame fornisce per attivare un behavioral change nei cittadini. È importante sottolineare come i diversi contributi non siano mutuamente esclusivi, ma come una singola soluzione possa fornire più di un contributo o anche nessuno. A questo scopo, si fa riferimento alle cinque macrocategorie di politiche individuate da Paul C. Stern, nel suo testo “Toward a coherent theory of environmentally significant behavior” presentate nella sezione 2.1.2.

- *Comunicazione efficace*: una comunicazione efficace può aiutare a superare la mancanza di conoscenza sulle questioni ambientali e sui comportamenti sostenibili. La mancanza di conoscenza sui problemi ambientali e sui comportamenti sostenibili può impedire il cambiamento comportamentale. Senza una comprensione approfondita dei problemi

ambientali e delle azioni necessarie per affrontarli, le persone possono essere riluttanti a modificare i propri comportamenti.

- *Incentivi appropriati*: Gli incentivi appropriati possono motivare le persone a modificare i propri comportamenti. Gli incentivi dovrebbero essere adeguati e adattati alle esigenze specifiche delle persone e delle comunità coinvolte.
- *interventi strutturali/servizi migliori*: Gli interventi strutturali, come la creazione di infrastrutture e servizi sostenibili, possono aiutare a superare le barriere legate ai costi finanziari e ai fattori esterni. ad es. le persone sono meno motivate a prendere la bici se non hanno una buona struttura ciclistica.

Il miglioramento dei servizi offerti può svolgere un ruolo significativo nel favorire il cambiamento comportamentale. Quando i servizi sono progettati in modo da soddisfare le esigenze e le preferenze delle persone, possono incoraggiare comportamenti positivi e sostenibili.

- *partecipazione attiva*: La partecipazione attiva delle persone e delle comunità coinvolte può aiutare a superare l'inerzia e promuovere il cambiamento comportamentale. Ad esempio, coinvolgere le persone nella progettazione di soluzioni sostenibili e fornire riscontri costanti sulle prestazioni ambientali può aiutare a mantenere alta la motivazione e promuovere il cambiamento.
- *Norme sociali*: Le norme sociali possono aiutare a superare le pressioni sociali negative e promuovere comportamenti sostenibili. Ad esempio, se una comunità promuove l'uso della bicicletta per gli spostamenti quotidiani, questa può diventare la norma sociale accettata, aumentando la probabilità che le persone adottino questo comportamento.

Nome soluzione	Comunicazione efficace	Incentivi appropriati	interventi strutturali, servizi migliori	partecipazione attiva	Norme sociali
Nome soluzione	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.5

• RUOLO DATI:

Descrizione: Identificare il ruolo che svolgono i dati all'interno della soluzione in esame. Essi sono la materia prima fondamentale per lo sviluppo e l'erogazione di ogni servizio, identificare il loro ruolo all'interno di ogni soluzione permette di comprendere in maniera ancora più approfondita il servizio da esse offerto, distinguendo tra loro soluzioni che operano in maniera differente.

Studiando in dettaglio, attraverso le informazioni diffuse dalle stesse piattaforme, ognuna delle soluzioni presenti nel database è stato possibile identificare tre diversi ruoli dei dati. È

bene sottolineare come i dati di ognuna delle soluzioni in esame possano svolgere più di un ruolo, oppure, non svolgere nessun ruolo (in alcune soluzioni si è osservato come i dati, benché presenti in quanto ogni soluzione durante il suo ciclo di vita genera dei dati, non svolgessero nessun ruolo cruciale all'erogazione del servizio). Di seguito la descrizione dei tre ruoli:

- *Comunicare l'attività di un singolo individuo/iniziativa*: I dati sono la base di prova concreta delle attività e dei risultati di ogni iniziativa. Sono imprescindibili per dimostrare il progresso, l'efficacia, il contributo e l'impatto di ogni azione intrapresa.
- *Tracciare passaggio di prodotti/valore tra diversi stakeholders/punti della filiera*: I dati vengono utilizzati per registrare le transazioni che coinvolgono il passaggio di prodotti o di valore (come una transazione economica) da un punto all'altro della filiera. Questi dati includono informazioni come la data e l'ora delle transazioni, i dettagli delle parti coinvolte, le quantità trasferite e altre informazioni pertinenti. Il registro delle transazioni consente di tenere traccia delle attività di movimento del prodotto/valore e di verificarne la corretta gestione.
- *Ottimizzare il servizio offerto*: I dati forniscono informazioni preziose che possono essere utilizzate dagli algoritmi di analisi dati per analizzare, valutare e migliorare l'efficienza e l'efficacia dei servizi offerti.

Nome soluzione	Ruolo dati comunicare attività	Ruolo dati tracciabilità	Ruolo dati ottimizzazione
Nome soluzione	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.6

Informazioni sulle caratteristiche tecniche: Come ultima categoria di informazioni raccolte per la stesura della Long List ci sono quelle di carattere tecnico, le quali ci permettono di conoscere le principali specifiche tecnologiche delle piattaforme prese in analisi.

Le caratteristiche tecniche prese in considerazione sono:

- **TECNOLOGIA UTILIZZATA:**

Descrizione: Identificare quale tecnologia utilizzi la soluzione esame per sviluppare il proprio servizio. Grazie alle informazioni diffuse dalle stesse piattaforme all'interno della loro documentazione (whitepaper, siti web e repository Gi-thub) è stato possibile identificare tre valori possibili per tale attributo: "internet of things", "blockchain" e "intelligenza artificiale". Tuttavia, l'implementazione della tecnologia blockchain, in quanto argomento principale di questo lavoro di tesi, viene analizzata tramite un attributo dedicato. Di conseguenza questo attributo può assumere solamente i valori "internet of things" e "intelligenza artificiale".

È importante sottolineare come le diverse tecnologie non siano mutuamente esclusive, ma come una singola soluzione possa avvalersi di entrambe le tecnologie oppure di nessuna di esse.

Nome soluzione	IoT	AI
Nome soluzione	1/0	1/0

Tabella 2.7

- **RUOLO BLOCKCHAIN:**

Descrizione: identificare il contributo della piattaforma blockchain all'interno della soluzione in esame. A tale scopo si fa riferimento ai sei contributi della tecnologia blockchain identificati nella sezione 2.2.4. È importante sottolineare come i diversi contributi non siano mutuamente esclusivi, ma come, all'interno di una soluzione, la blockchain possa fornire più di un contributo, oppure nessuno nel caso quella soluzione non si avvalga della tecnologia blockchain. Di seguito vengono elencati i sei contributi: (vedere sezione 2.2.4 per maggiori approfondimenti)

- *Possesso e privacy dei dati*
- *Incentivo*
- *Certifica e rende trasparente contributo stakeholders*
- *Tracciabilità filiera*
- *Riduzione dei tempi/costi burocratici/di transazione*
- *Sicurezza valore depositato/transazioni*

Nome soluzione	Possesso, privacy dati	Incentivo	Certifica	Tracciabilità	Riduzione dei tempi/costi burocratici/di transazione	Sicurezza
Nome soluzione	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabella 2.8

3.1.3 Clustering

Terminata la preparazione del database si è proceduto con l'applicazione dell'algoritmo di clustering. L'obiettivo della tecnica di clustering è quello di raggruppare gli oggetti in gruppi che condividano caratteristiche simili. Un buon algoritmo di clustering genererà gruppi con alta similarità tra gli oggetti all'interno dello stesso cluster e bassa similarità tra gli oggetti appartenenti a cluster diversi. L'attività di clustering viene sviluppata seguendo i seguenti passaggi: ([Jain, 1999](#))

- 1. Rappresentazione dei pattern:** si definiscono e rappresentano i pattern. Un pattern X rappresenta un singolo oggetto o dato utilizzato per il processo di raggruppamento. Di solito, un pattern è rappresentato da un vettore con dimensioni d , che contiene le informazioni rilevanti dell'oggetto. Un cluster invece è un insieme di pattern simili.
All'interno di un singolo pattern si individuano diversi attributi, ovvero le componenti scalari x_i del singolo pattern X . In questo lavoro di tesi i pattern corrispondono alle diverse soluzioni inserite nel database e gli attributi le diverse categorie di dati raccolti.
- 2. Clustering:** esecuzione dell'algoritmo di clustering. Il clustering può essere di tipo "hard", in cui ogni pattern viene assegnato a un unico cluster, o può essere di tipo "fuzzy", in cui un pattern può essere associato a più cluster in base al livello di similarità o appartenenza a ciascun gruppo.
- 3. Astrazione dei dati:** si riferisce a una rappresentazione concisa e sintetica dei dati. Nel contesto del clustering, l'astrazione dei dati assume la forma di una descrizione compatta per ciascun cluster, che sintetizza le caratteristiche principali dei dati contenuti nel cluster.
- 4. Analisi della validità dei cluster:** rappresenta la valutazione dell'output ottenuto da un algoritmo di clustering. Consiste nel valutare la qualità dei cluster generati, misurando l'omogeneità interna e l'eterogeneità tra i cluster. L'analisi della validità dei cluster aiuta a determinare se l'algoritmo di clustering ha prodotto risultati significativi e utili per l'analisi dei dati.

Prima di procedere con il clustering è necessario decidere quale algoritmo di clusterizzazione utilizzare. Esistono diversi algoritmi di clusterizzazione, ognuno dei quali ha caratteristiche e applicazioni differenti. Una prima distinzione è già precedentemente descritta, sottolineando la differenza tra un algoritmo di tipo hard e uno di tipo fuzzy. Una seconda grande distinzione può essere fatta distinguendo gli algoritmi partizionali da quelli gerarchici.

Clustering gerarchico: gli algoritmi di clustering gerarchico sono utilizzati per creare una struttura gerarchica di cluster. Questi algoritmi possono essere di due tipi: agglomerativi (o bottom-up) o divisivi (o top-down). Ecco una breve descrizione di entrambi i tipi: ([Leung, 2000](#))

Algoritmi agglomerativi: Questi algoritmi partono dall'ipotesi che ogni punto dei dati sia inizialmente un cluster separato e poi procedono a unire iterativamente i cluster più simili fino a formare un singolo cluster contenente tutti i punti. L'agglomerazione avviene in base a una misura di similarità o dissimilarità tra i cluster, come la distanza euclidea o la correlazione. Gli algoritmi agglomerativi producono una struttura gerarchica detta dendrogramma, che mostra come i cluster si uniscono progressivamente.

Algoritmi divisivi: Questi algoritmi partono dall'ipotesi che tutti i punti dei dati appartengano inizialmente a un unico cluster e successivamente dividono iterativamente il cluster in sottocluster più piccoli. La divisione avviene in base a criteri come la varianza interna del cluster o la massimizzazione della similarità interna e della dissimilarità tra i sottocluster. Gli algoritmi divisivi producono una struttura gerarchica invertita rispetto al dendrogramma, in cui si inizia con un unico cluster e si procede a suddividerlo in cluster più piccoli.

Un esempio è visibile in Figura 3.1, dove è rappresentato un dendrogramma che rappresenta il raggruppamento dei pattern (abbiamo sette pattern etichettati A, B, C, D, E, F e G in tre cluster) e i livelli di somiglianza ai quali i raggruppamenti cambiano. Il dendrogramma può essere "rotto" a diversi livelli per ottenere un numero diverso di cluster.

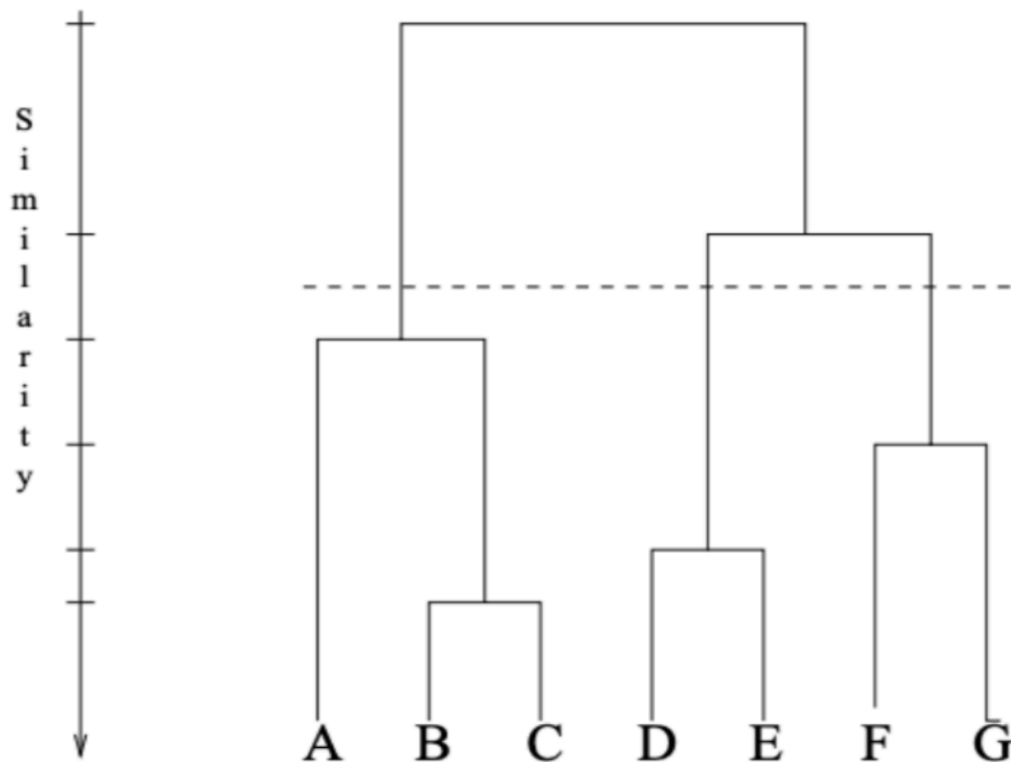


Figura 3.1: Dendrogramma

Clustering partizionale: gli algoritmi di clustering partizionali sono utilizzati per suddividere un insieme di dati in un numero predefinito di cluster. A differenza degli algoritmi gerarchici che creano una struttura gerarchica di cluster, gli algoritmi partizionali producono un'assegnazione diretta dei punti ai cluster senza una gerarchia. Questi algoritmi cercano di minimizzare un criterio specifico, come ad esempio una funzione di errore quadratica, e pertanto possono essere trattati come problemi di ottimizzazione. L'algoritmo k-means è il più semplice e più comunemente usato che impiega un criterio di errore quadratico. Gli algoritmi partizionali offrono vantaggi nelle applicazioni che coinvolgono grandi insiemi di dati, in cui la costruzione di un dendrogramma è computazionalmente onerosa. Tuttavia, uno dei problemi associati all'utilizzo di tali algoritmi è la scelta del numero desiderato di cluster di output. Una delle tecniche maggiormente utilizzate per determinare il numero ottimale di cluster da fornire in input è una euristica detta metodo del gomito (elbow method). Il metodo del gomito è un metodo che guarda la percentuale di varianza spiegata in funzione del numero di cluster. L'obiettivo è identificare il punto di "gomito" nel grafico della varianza intra-cluster in funzione del numero di cluster.

Il procedimento consiste nel calcolare il valore della varianza intra-cluster per un range di valori di k (il numero di cluster) e poi tracciare il grafico dei risultati. In genere, la varianza intra-cluster diminuisce all'aumentare di k , ma a un certo punto l'incremento del numero di cluster aggiuntivi

fornisce un miglioramento marginale. Il punto di gomito corrisponde al punto in cui il decremento della varianza intra-cluster diventa meno significativo e il grafico presenta una curva a gomito. Il numero di cluster a cui si verifica il punto di gomito può essere considerato come una stima ragionevole del numero ottimale di cluster da utilizzare nell'analisi. ([Bholowalia 2014](#))

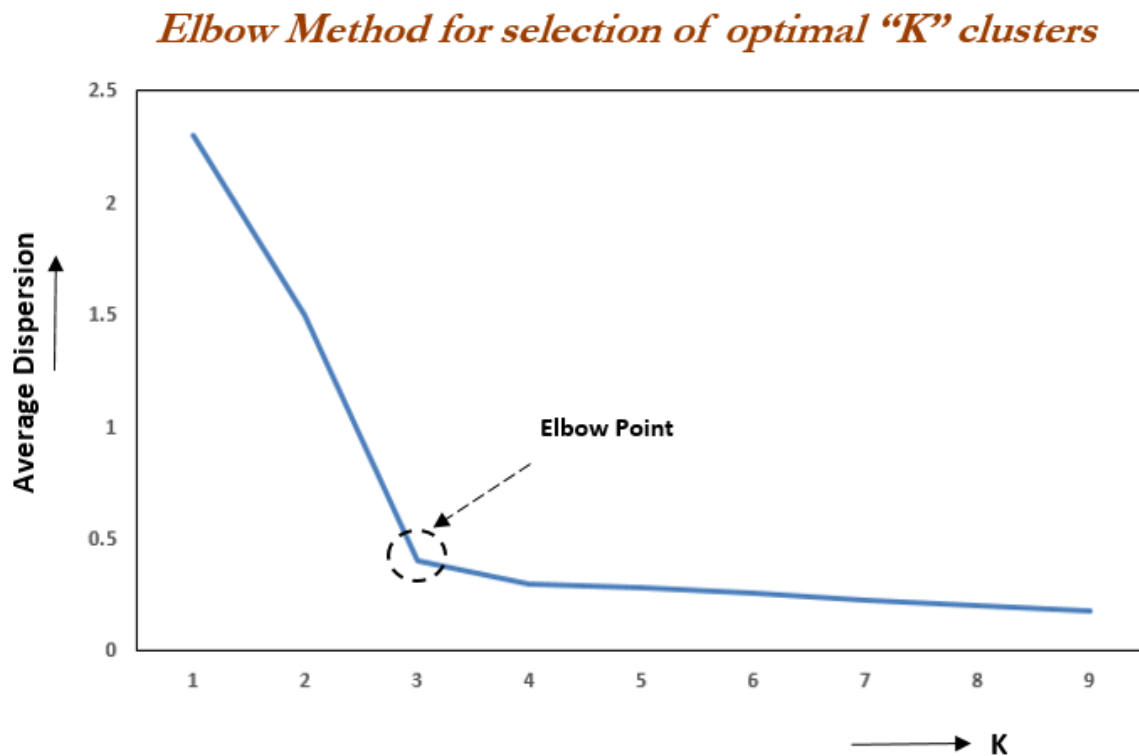


Figura 3.2: Elbow method

In questo lavoro di tesi, considerate le caratteristiche del database sviluppato e gli obiettivi di ricerca, si è deciso di utilizzare un algoritmo di clustering hard e partizionale. In particolare, è stato scelto l'algoritmo k-means. Esso cerca di minimizzare la somma dei quadrati delle distanze tra ciascun punto e il centroide del cluster a cui è assegnato.

Per il suo svolgimento, si identificano le seguenti fasi: ([Govoni, 2019](#))

Inizializzazione: Si selezionano casualmente k centroidi, che rappresentano i punti centrali di ciascun cluster. I centroidi possono essere scelti tra i punti del dataset o generati casualmente. Scegliendo il numero di centroidi, si sceglie di conseguenza il numero di cluster che comporrà il dataset.

1. Assegnazione: Ogni punto del dataset viene assegnato al cluster il cui centroide è il più vicino in base a una misura di distanza, di solito la distanza euclidea. Questo viene fatto calcolando la distanza tra il punto e tutti i centroidi e assegnando il punto al cluster con il centroide più vicino.

2. Aggiornamento: Una volta assegnati tutti i punti ai cluster, si calcolano i nuovi centroidi per ciascun cluster come la media dei punti assegnati a quel cluster. Questo sposta il centroide verso il centro dei punti nel cluster.
3. Ripetizione: I passaggi di assegnazione e aggiornamento vengono ripetuti finché i centroidi smettono di cambiare significativamente o un criterio di convergenza viene soddisfatto. Tipicamente, il criterio di convergenza è quando non avvengono più cambiamenti nell'assegnazione dei punti ai cluster.
4. Risultato: Alla fine dell'algoritmo, si ottiene un insieme di k cluster, ognuno dei quali è rappresentato dal suo centroide e contiene i punti assegnati a quel cluster.

Per determinare il numero K di centroidi nella fase 1 è stato scelto di utilizzare il metodo del gomito, precedentemente descritto.

L'algoritmo k -means e il metodo del gomito saranno utilizzati attraverso l'uso del software JASP. JASP è un software gratuito e open source sviluppato dall'Università di Amsterdam, che fornisce strumenti per l'analisi statistica. Il software fornisce anche una serie di indicatori che ci aiuteranno a monitorare l'applicazione dell'algoritmo, tra i quali troviamo:

- R^2 : anche detto coefficiente di determinazione è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato ([Nagelkerke et al., 1991](#)). R^2 varia tra 0 ed 1: quando è 0 il modello utilizzato non spiega per nulla i dati, quando è 1 il modello spiega perfettamente i dati;
- AIC: il criterio informativo di Akaike (AIC) è uno stimatore dell'errore di previsione "fuori dal campione" e quindi della qualità relativa dei modelli statistici per un dato insieme di dati. Data una raccolta di modelli per i dati, l'AIC stima la qualità di ciascun modello, rispetto a ciascuno degli altri modelli. Pertanto, AIC fornisce un mezzo per la selezione del modello. L'AIC rappresenta un punteggio numerico che può essere utilizzato per determinare quale tra i modelli è più probabile che sia il modello migliore per un dato set di dati. Stima i modelli relativamente, il che significa che i punteggi AIC sono utili solo rispetto ad altri punteggi AIC per lo stesso set di dati. La regola è quella di preferire i modelli con l'AIC più basso;
- BIC: il Criterio di informazione Bayesiano (BIC) è un criterio per la selezione di un modello tra una classe di modelli parametrici con un diverso numero di parametri. Stimando i parametri del modello mediante il metodo della massima verosimiglianza, è possibile aumentare la verosimiglianza attraverso l'aggiunta di parametri, anche se questo può provocare overfitting. Il BIC risolve questo problema introducendo un termine di penalizzazione per il numero di parametri nel modello;
- Silhouette: si riferisce a un metodo di interpretazione e convalida della coerenza all'interno di cluster di dati. La tecnica fornisce una rappresentazione grafica succinta di come ogni

oggetto è stato classificato. Il valore della silhouette è una misura di quanto un oggetto sia simile al proprio cluster (coesione) rispetto ad altri cluster (separazione). La silhouette varia da -1 a +1, dove un valore alto indica che l'oggetto è ben abbinato al proprio cluster e scarsamente abbinato ai cluster vicini. Se la maggior parte degli oggetti ha un valore elevato, la configurazione del cluster è appropriata. Se molti punti avessero un valore basso o negativo, la configurazione del cluster potrebbe avere troppi o troppo pochi cluster.

Capitolo 4

Applicazione metodologia

Come spiegato nel capitolo precedente, la metodologia di ricerca adottata ha previsto una prima fase esplorativa concretizzatasi nella realizzazione di un database contenente un elenco di soluzioni e progetti aventi l'obiettivo comune di fornire un contributo alla lotta al cambiamento climatico e una seconda fase definita dall'applicazione dell'algoritmo k-means, con il fine di definire al meglio l'ecosistema di soluzioni presenti nei vari settori analizzati e il differente apporto che la blockchain ha dato ai diversi ecosistemi.

Esso è stato applicato tre diverse volte, una volta con le soluzioni del settore dell'energia, una volta con le soluzioni del settore della mobilità e una volta con le soluzioni del settore dei rifiuti/economia circolare, così da ottenere una visione maggiormente incentrata su ognuno dei diversi settori.

Per poter evidenziare al meglio l'ecosistema di soluzioni presenti nei vari settori analizzati, come richiesto dalla prima domanda di ricerca, si è deciso di sottoporre all'algoritmo di clusterizzazione solamente gli attributi relativi alla tipologia di servizio offerto, alle tecniche di attivazione del behavioral change e al ruolo dei dati all'interno della soluzione, ovvero solo quegli attributi che permettono di distinguere una famiglia di soluzioni da un'altra, come spiegato nella sezione 3.1.2.

Se si fosse clusterizzato inserendo anche gli attributi relativi alla tecnologia impiegata, al ruolo della blockchain, alla maturità e alla diffusione geografica si sarebbe corso il rischio di osservare, all'interno di un singolo cluster, famiglie di soluzioni completamente diverse aventi però in comune, ad esempio, lo stesso grado di maturità e la stessa diffusione geografica. Questo avrebbe impedito di fornire una panoramica chiara dell'ecosistema di famiglie di soluzioni presenti nei diversi settori analizzati.

Gli attributi non inseriti nell'algoritmo di clusterizzazione saranno impiegati successivamente per la fase di analisi dei diversi cluster permettendoci di osservare, per ogni famiglia di soluzioni precedentemente individuata, l'incidenza della tecnologia IoT e degli algoritmi di AI e, soprattutto, l'eventuale contributo della tecnologia blockchain nell'attivare un cambio comportamentale nei cittadini, ove presente.

Nel suddetto capitolo si procederà alla presentazione del database realizzato e si applicherà la metodologia descritta al mercato dell'energia, della mobilità e dei rifiuti/economia circolare.

Per tutti e tre i mercati considerati, si procederà ad analizzare le principali famiglie di soluzioni presenti e l'apporto della tecnologia blockchain allo sviluppo di quelle soluzioni che basano la loro efficacia sull'attivazione di un behavioral change nei cittadini.

4.1 Presentazione database

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di fornire una presentazione delle soluzioni presenti all'interno del database.

L'obiettivo alla base della creazione del database è quello di ottenere una panoramica a più ampio spettro possibile delle soluzioni esistenti per la sostenibilità ambientale, nei settori dell'energia, della mobilità, dei rifiuti/economia circolare, coerentemente con la prima domanda di ricerca. Per questo motivo, nella scelta delle soluzioni e dei progetti presi in considerazione, non sono stati applicati particolari filtri, applicando come unica discriminante di selezione la presenza di un contributo alla sostenibilità ambientale e l'appartenenza a uno dei tre settori di riferimento. Sono state selezionate tutte le soluzioni che hanno fornito al dataset una particolare peculiarità, in modo tale da ottenere un insieme di informazioni eterogenee.

Per tale motivo sono state selezionate anche piattaforme non aventi ancora una elevata diffusione o maturità, realtà che si trovano in una fase embrionale del loro percorso di crescita, prendendo in considerazione anche realtà diffuse in una singola località, oppure applicazioni ancora in via di sviluppo o in fase beta o soluzioni che attualmente si trovano ancora nella fase di progetto pilota.

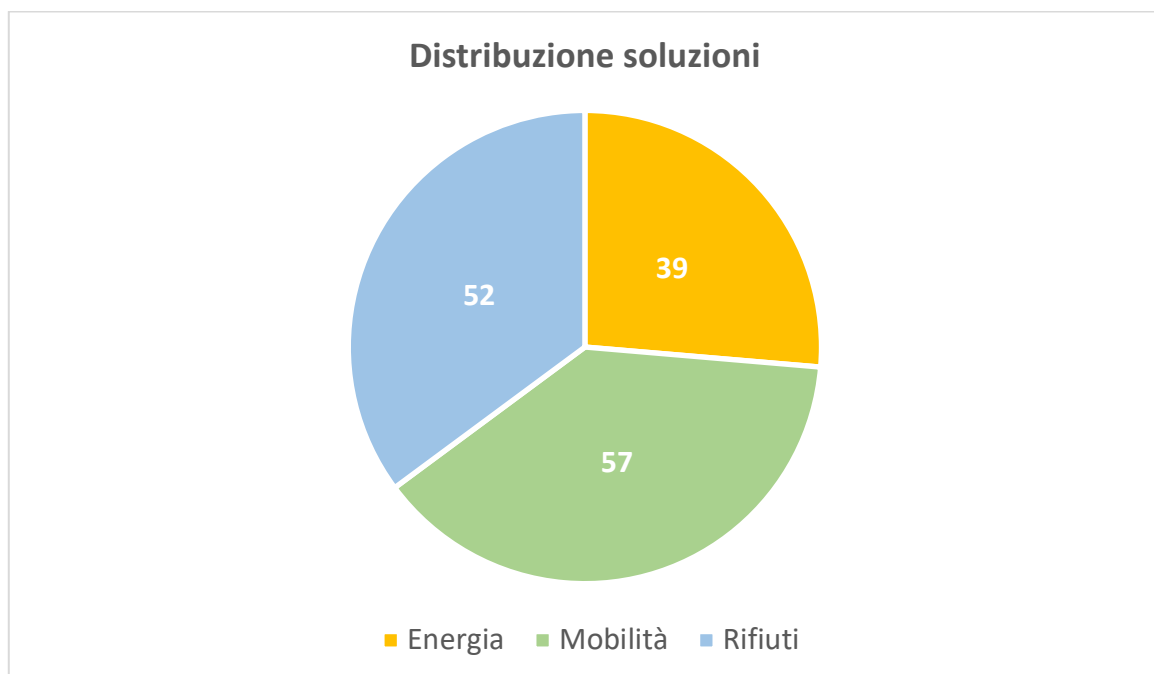


Figura 4.1: Distribuzione soluzioni database nei settori di riferimento

Complessivamente sono state individuate 148 tra organizzazioni, società, progetti e applicazioni, così suddivise: 39 appartenenti al settore dell'energia, 57 al settore della mobilità e 52 al settore dei

rifiuti/economia circolare. Nella figura 4.2 è invece possibile osservare le informazioni raccolte relative alla diffusione geografica delle soluzioni presenti nel database. Esse mostrano, coerentemente con quanto appena detto, come siano presenti sia soluzioni confinate in una singola località che soluzioni aventi invece una diffusione su scala nazionale o internazionale, sia su territorio italiano, europeo oppure estero.

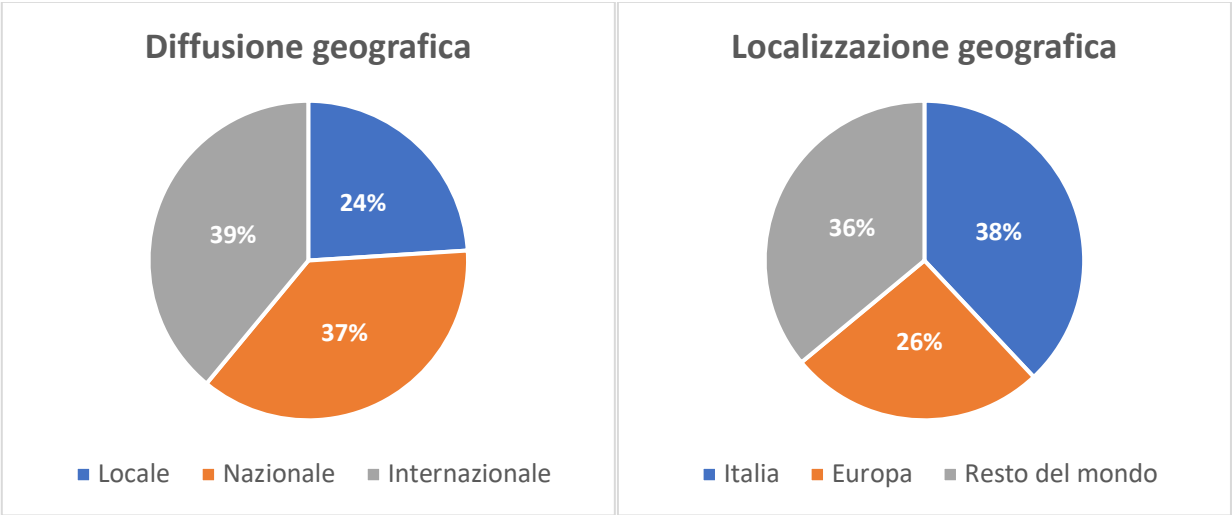


Figura 4.2: Statistiche sulla distribuzione geografica soluzioni database

Un dato molto interessante da osservare è la percentuale di soluzioni che basano l’erogazione del proprio servizio sull’impiego di tecnologie internet of things:

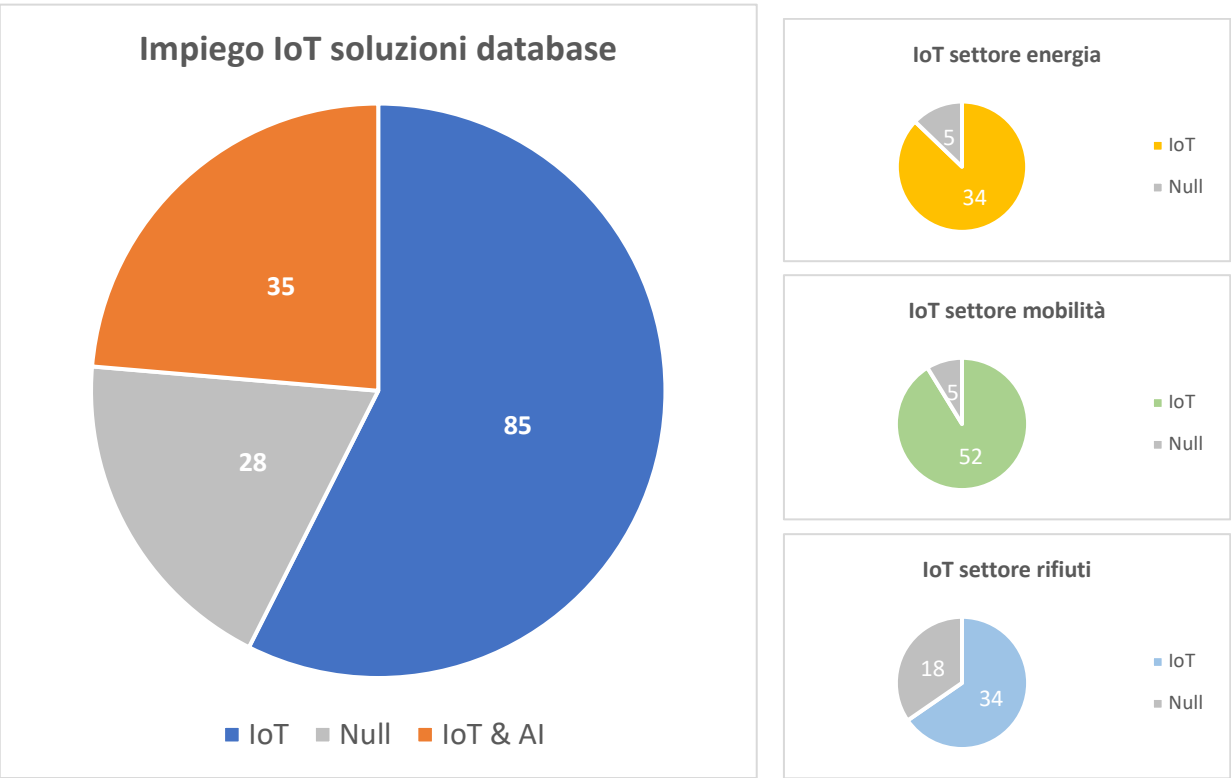


Figura 4.3: Statistiche sull'impiego dell'IoT soluzioni database

Osservando la figura 4.3 si nota come una percentuale molto alta di soluzioni, 120 sulle 148 totali esaminate, ricorrano all'utilizzo dell'IoT, con una distribuzione abbastanza equa nei tre settori analizzati, salvo il settore dei rifiuti che vede una percentuale di impiego un po' più bassa ma comunque ampiamente al di sopra del 50 %.

La forte dipendenza delle soluzioni raccolte nel database nei confronti dell'IoT fornisce un'ulteriore dimostrazione di quanto sia cruciale il ruolo della tecnologia e, conseguentemente, delle smart city nella lotta al cambiamento climatico, come ampiamente discusso nella sezione 2.2.

L'infrastruttura e la connettività avanzate presenti nelle città forniscono una base solida per la diffusione dell'IoT. La presenza di reti ad alta velocità, copertura wireless e più in generale di infrastrutture di comunicazione avanzate contribuiscono a creare un ambiente favorevole per la connessione e la comunicazione dei dispositivi IoT, consentendo così l'implementazione di soluzioni innovative e intelligenti nelle smart city.

Inoltre, 35 soluzioni, complementariamente all'impiego dell'IoT, si avvalgono anche dell'utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale. L'uso combinato delle due tecnologie offre un enorme potenziale per migliorare l'efficienza, l'autonomia e l'intelligenza dei sistemi urbani. L'AI può essere utilizzata per analizzare i dati generati dai dispositivi IoT e ottenere informazioni significative, consentendo di sviluppare servizi migliori.

Un altro dato molto significativo raccolto riguardo le specifiche tecniche delle soluzioni appartenenti al database è l'impiego della tecnologia blockchain.

Osservando la figura 4.4 si osserva come oltre il 39 % delle soluzioni analizzate implementino l'utilizzo della tecnologia blockchain, in maniera perfettamente distribuita all'interno dei tre settori di riferimento. Questi dati legittimano ulteriormente i concetti emersi nella sezione 2.2 e 2.3, in merito alle potenzialità di tale tecnologia e al contributo che può dare allo sviluppo di una smart city sostenibile. Nonostante sia una tecnologia emergente, essa sta emergendo prepotentemente come soluzione promettente per affrontare il cambiamento climatico, permettendo grazie alle sue caratteristiche uniche e all'uso combinato con le tecnologie dell'informazione e della comunicazione di sviluppare servizi migliori o del tutto innovativi.

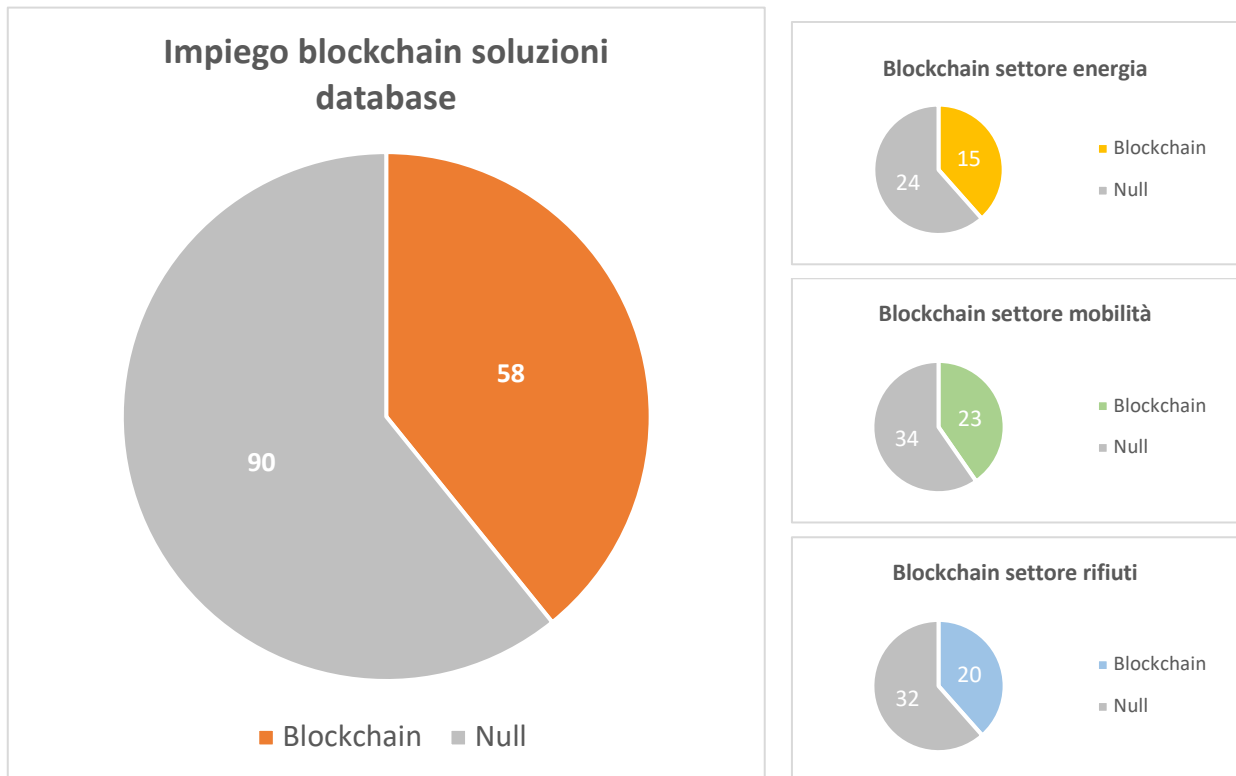


Figura 4.4: Statistiche sull'impiego della blockchain soluzioni database

Tuttavia, come mostrato nella figura 4.5, diverse delle soluzioni blockchain-based inserite nel database sono soluzioni non ancora presenti sul mercato, in quanto ancora in fase di sviluppo per trasformare l'idea in una forma tangibile o di test per valutare l'efficacia e la fattibilità di tale idea. La tecnologia blockchain è ancora relativamente nuova e, di conseguenza, ci sono diverse sfide da affrontare prima che queste soluzioni possano essere pienamente implementate e adottate su larga scala, soprattutto in termini di scalabilità e standardizzazione delle piattaforme.

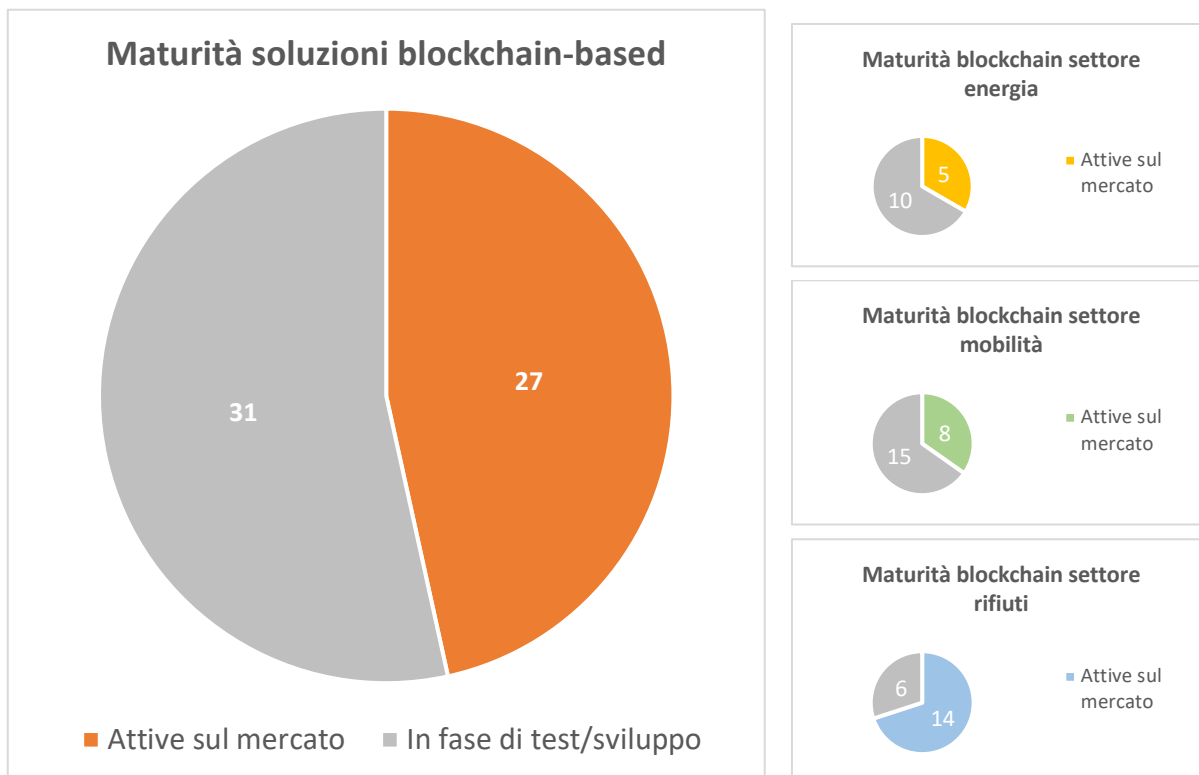


Figura 4.5: Statistiche sulla maturità soluzioni blockchain based database

Infine, nella figura 4.6, sono riportate le informazioni relative alla percentuale di soluzioni presenti nel database che basano la propria efficacia sull'attivazione di un behavioral change negli utenti.

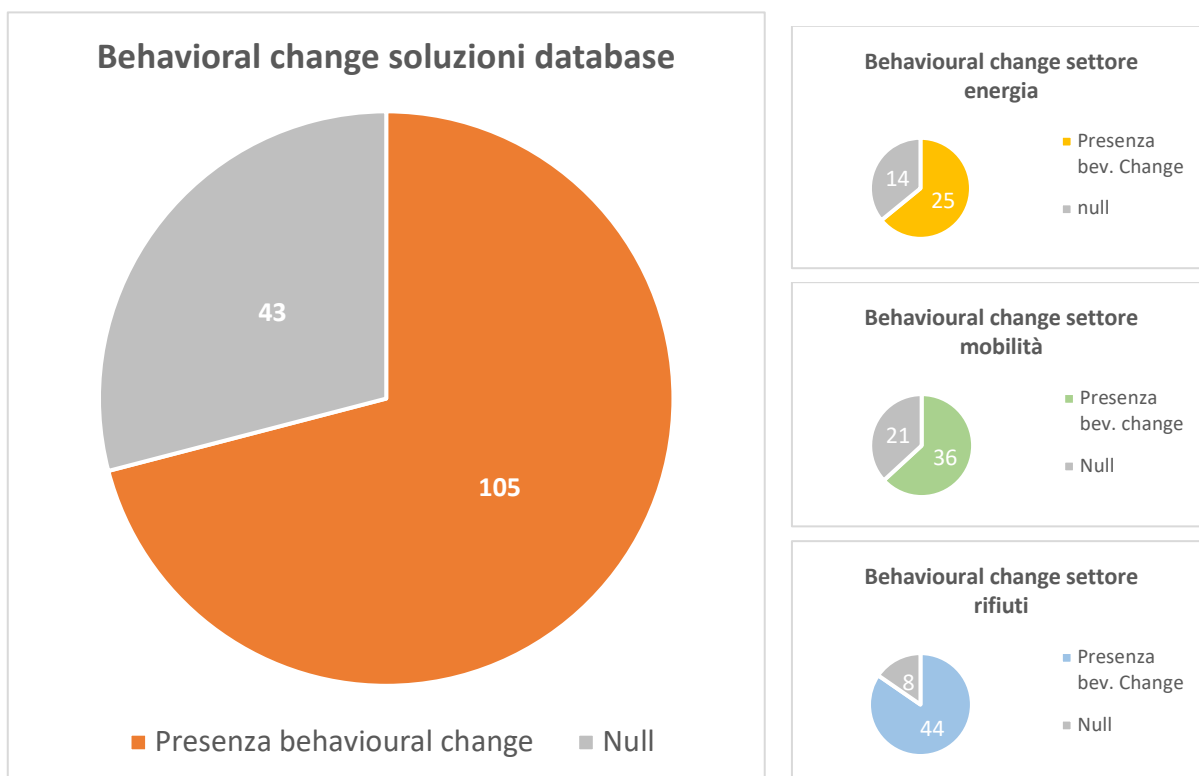


Figura 4.6: Statistiche sul tasso di attivazione di un cambio comportamentale

Oltre il 70 % delle soluzioni basa la propria efficacia sull'attivazione di un cambio comportamentale negli utenti. Questo risultato, coerentemente con quanto discusso nel paragrafo 2.1.2, mostra chiaramente come la lotta al cambiamento climatico non possa prescindere da un coinvolgimento diretto dei cittadini e, in particolare, da un cambio delle loro abitudini e dei loro comportamenti quotidiani.

4.2 Settore dell'energia

Il settore dell'energia è quello che contribuisce maggiormente alle emissioni globali di CO₂, come descritto nel capitolo 2.1.1. Al fine di condurre un'analisi approfondita dell'ecosistema di soluzioni per affrontare il cambiamento climatico all'interno di tale settore, sono state considerate 39 diverse soluzioni. La scelta di questo numero è stata motivata dal desiderio di coprire tutte le varie sfaccettature del settore e di ottenere un dataset sufficientemente diversificato.

Dopo aver completato lo sviluppo del database, è stato utilizzato l'algoritmo k-means per individuare e approfondire l'analisi delle diverse famiglie di soluzioni. I risultati ottenuti, inclusi i valori di R², AIC, BIC e Silhouette, sono presentati nella Tabella 4.1.

Come è possibile notare si sono ottenuti sei cluster differenti.

K-Means Clustering

Clusters	N	R ²	AIC	BIC	Silhouette
6	38	0.849	228.850	356.580	0.620

Tabella 4.1

Il numero dei cluster, come spiegato nella sezione 3.1.3, si è ottenuto attraverso l'applicazione di una euristica detta metodo del gomito (elbow method). Il procedimento consiste nel calcolare il valore della varianza intra-cluster per un range di valori di k (il numero di cluster) e poi tracciare il grafico dei risultati. In genere, la varianza intra-cluster diminuisce all'aumentare di k, ma a un certo punto l'incremento del numero di cluster aggiuntivi fornisce un miglioramento marginale. Il punto di gomito corrisponde al punto in cui il decremento della varianza intra-cluster diventa meno significativo e il grafico presenta una curva a gomito.

Elbow Method Plot ▼

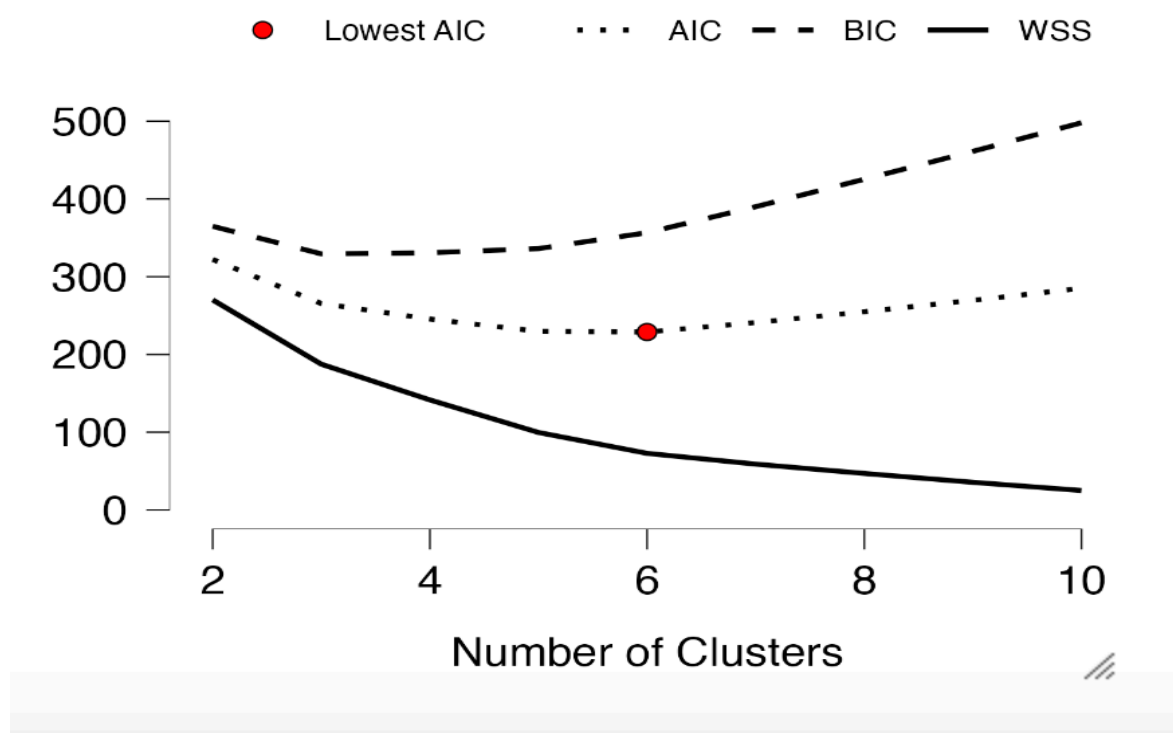


Figura 4.7: Elbow method plot-settore energia

Osservando questo grafico, si è deciso di utilizzare sei cluster in quanto risulta evidente la presenza per tale valore di una curva a gomito. Anche nel punto corrispondente a tre cluster è presente una curva a gomito altrettanto pronunciata, ma tale valore si è dimostrato troppo basso per esprimere correttamente la varianza interna al database.

La Tabella 4.2 fornisce dettagli sulle caratteristiche di ciascun cluster. In particolare, vengono riportate informazioni sulla dimensione, sull'eterogeneità e sul numero di Silhouette per ciascun cluster.

Cluster Information ▼

Cluster	1	2	3	4	5	6
Size	4	5	14	6	4	5
Explained proportion within-cluster heterogeneity	0.103	2.538×10^{-33}	0.347	0.186	0.000	0.364
Within sum of squares	7.502	1.849×10^{-31}	25.286	13.541	0.000	26.518
Silhouette score	0.460	1.000	0.657	0.475	1.000	0.149

Tabella 4.2

Nella figura 4.8 e nella figura 4.9 è possibile osservare rispettivamente i risultati ottenuti dall'applicazione dell'algoritmo k-means e le diverse famiglie di soluzioni corrispondenti a ogni cluster.

	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3	CLUSTER 4	CLUSTER 5	CLUSTER 6
Sistemi energetici distribuiti	0%	0%	100%	0%	0%	0%
Efficientamento produzione e consumi di energia	0%	100%	100%	10%	0%	100%
Efficientamento/diffusione energie rinnovabili	50%	20%	100%	67%	100%	0%
Ricarica dispositivi/veicoli elettrici	100%	0%	21%	50%	0%	0%
Blockchain	25%	0%	64%	0%	0%	100%
Behavioural change incentivo economico/ in game	0%	100%	100%	0%	0%	60%
Behavioural change conoscenza acquisita	0%	100%	0%	0%	0%	100%
Behavioural change interventi strutturali o servizi migliori	0%	100%	100%	0%	0%	0%
Behavioural change partecipazione attiva	0%	0%	93%	0%	0%	20%
Behavioural change norme sociali	0%	0%	93%	0%	0%	60%
Ruolo dati comunicare contributo di un singolo individuo/iniziativa	100%	100%	100%	0%	0%	100%
Ruolo dati tracciare passaggio prodotti/valore tra diversi stakeholders/punti della filiera	75%	40%	100%	0%	0%	60%
Ruolo dati ottimizzazione interna	0%	100%	100%	100%	0%	0%

Figura 4.8: Risultato clusterizzazione-energia

CLUSTER	Numerosità	Famiglia soluzioni	% impiego blockchain	Cambio comportamentale
1	4	Ricarica veicoli elettrici	25%	NO
2	5	Elettrodomestici intelligenti	NO	SI
3	14	Sistemi energetici distribuiti	64,3 %	SI
4	6	Illuminazione pubblica e riscaldamento intelligente; efficientamento produzione energia rinnovabile	NO	NO
5	4	Sistemi innovativi immagazzinamento energia	NO	NO
6	5	Routine energetiche sostenibili	100%	SI

Figura 4.9: Famiglia soluzioni-energia

Di seguito viene proposta un'analisi approfondita dei cluster che attivano un cambio comportamentale negli utenti e che, al tempo stesso, implementano la tecnologia blockchain, ovvero i cluster 3 e 6, così da poter identificare il contributo della blockchain nell'attivazione di tale cambio comportamentale.

In particolare, per ognuno dei cluster analizzati, si procederà ad analizzare la famiglia di soluzioni corrispondente a tale cluster, le strategie impiegate per attivare il behavioral change e le specifiche

tecniche delle diverse soluzioni, prestando particolare attenzione al ruolo svolto dalla tecnologia blockchain.

CLUSTER 3: il cluster 3, con 14 soluzioni presenti, è il cluster più numeroso individuato all'interno del settore dell'energia. Esso contiene progetti e applicazioni aventi come obiettivo lo sviluppo di sistemi energetici distribuiti. I sistemi energetici distribuiti sono un approccio alternativo ai tradizionali sistemi energetici centralizzati, in cui la produzione e la distribuzione dell'energia avvengono in modo decentralizzato. Invece di dipendere da grandi centrali elettriche o reti di trasmissione a lunga distanza, i sistemi energetici distribuiti si basano su una combinazione di fonti di energia locali, produzione distribuita e gestione intelligente dell'energia.

In un sistema energetico distribuito, l'energia può essere generata da fonti rinnovabili come pannelli solari, turbine eoliche, biomassa o altre fonti locali. Questa produzione può essere integrata con l'energia proveniente dalla rete di distribuzione tradizionale o essere completamente indipendente, a seconda delle esigenze e delle risorse disponibili. Questi sistemi consentono di generare energia in prossimità dei punti di utilizzo, introducendo la figura del prosumer, un modello in cui gli utenti diventano sia produttori che consumatori di energia. I prosumer possono utilizzare l'energia autoprodotta per soddisfare le proprie esigenze energetiche e l'eccesso di energia può essere immagazzinato nelle batterie o condiviso con la rete energetica locale attraverso meccanismi di scambio energetico peer to peer tra utenti.

Questo nuovo paradigma di produzione e distribuzione di energia fornisce diversi vantaggi rispetto ai modelli tradizionali: in primis permettono una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, in quanto favoriscono l'uso di fonti di energia rinnovabile, riducono le perdite energetiche dovute alla trasmissione dell'energia elettrica su lunghe distanze e promuovono un utilizzo più efficiente dell'energia permettendo di condividere con gli altri membri della comunità la propria energia in eccesso e di ridurre i consumi.

Inoltre, nei sistemi distribuiti, gli utenti possono ridurre i propri costi energetici generando energia localmente oppure beneficiando di tariffe più competitive grazie alla possibilità di negoziare direttamente con altri partecipanti del mercato energetico.

La famiglia di soluzioni corrispondente a questo cluster è pienamente coerente con i dati presenti nelle figure 4.10 e 4.11. Ognuna delle soluzioni presenti, infatti, promuove lo sviluppo di sistemi energetici distribuiti, favorendo, al contempo, un efficientamento della produzione e dei consumi di energia e la diffusione delle fonti rinnovabili.

Inoltre, ognuna di esse sviluppa nei propri utenti un cambio comportamentale, e lo fa attraverso un incentivo economico, la creazione di un servizio abilitante, coinvolgendo attivamente gli utenti in prima persona e favorendo la comparsa di norme sociali favorevoli. Senza un cambio di abitudini da parte degli utenti lo sviluppo e la diffusione di questi servizi non sarebbero possibili. È infatti

necessario che gli utenti abbandonino una visione individuo centrica abbracciando una visione maggiormente collaborativa e comunitaria, attraverso un uso maggiormente razionale ed efficiente dell'energia, basato su processi di bilanciamento della domanda che rendano la comunità ed i suoi utenti dei consumatori di energia flessibili e consapevoli.

Per quanto riguarda gli incentivi economici, abbiamo già sottolineato come un approccio energetico distribuito permetta di ridurre i costi energetici dei cittadini. Inoltre, gli utenti più virtuosi che sono in grado di ridurre i propri consumi di energia in base alle esigenze della rete o che condividono con il resto della comunità l'energia da loro prodotta, favorendo così il bilanciamento della domanda, vengono ricompensati con incentivi economici.

Le soluzioni presenti nel cluster attivano negli utenti tale cambio comportamentale anche grazie alla creazione di un servizio abilitante. Prima che nascessero tali soluzioni, infatti, per una comunità era impossibile sviluppare una gestione coordinata dei consumi dei propri utenti, attivando servizi di demand response interni, o consentire che essi si scambiassero energia l'uno con l'altro.

Infine, l'adesione degli utenti a questo nuovo paradigma comunitario di gestione dell'energia viene favorita coinvolgendoli attivamente nella piattaforma e favorendo la diffusione di norme sociali favorevoli.

Le comunità energetiche coinvolgono i cittadini nel processo decisionale, nella gestione e nella condivisione delle risorse energetiche, consentendo loro di diventare protagonisti attivi nella transizione verso un sistema energetico più sostenibile. Inoltre, all'interno delle comunità energetiche, i membri possono osservare e apprendere dai comportamenti degli altri. Quando vedono che i loro vicini o altri partecipanti adottano pratiche energetiche sostenibili, sono più propensi a seguirne l'esempio, adottando tali comportamenti.

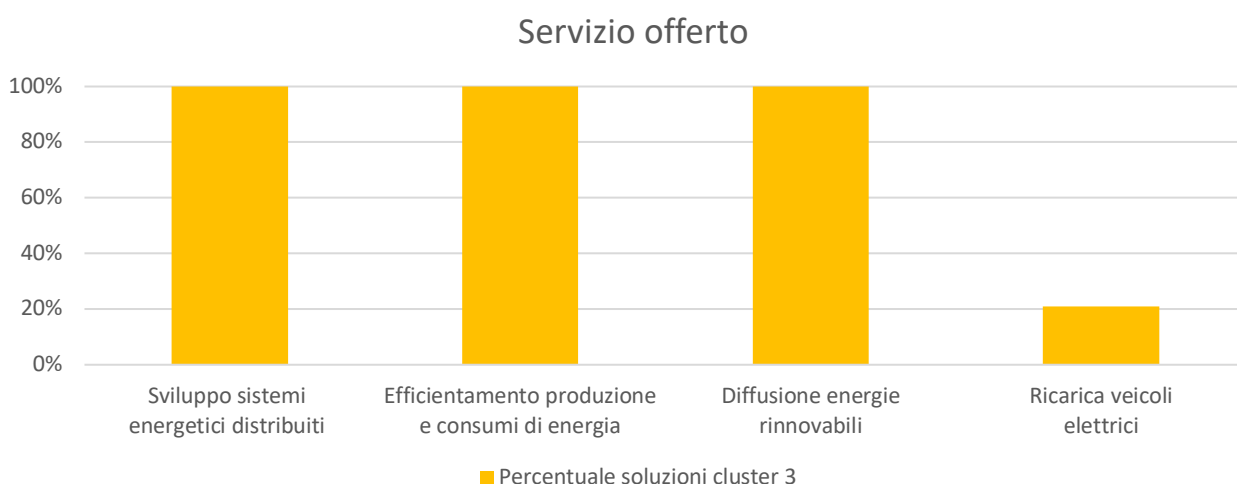


Figura 4.10: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 3-energia

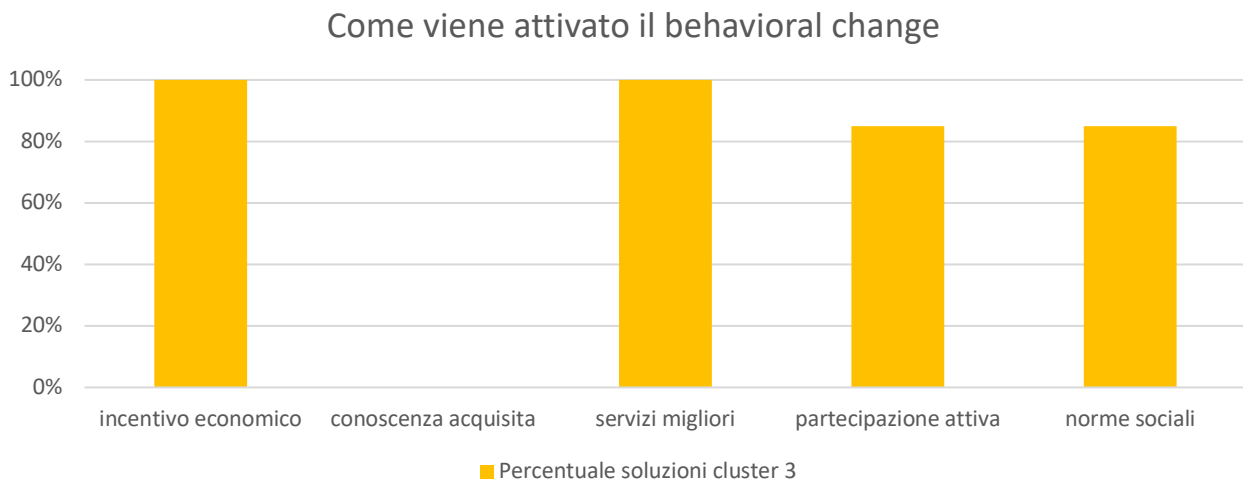


Figura 4.11: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 3-energia

Studiando le specifiche tecniche delle 14 piattaforme analizzate (figura 4.12), si osserva come tutte e 14 ricorrano all'uso dell'Internet of Things (IoT) e come il 21% si avvalga dell'uso dell'intelligenza artificiale. L'IoT consente di collegare e monitorare in modo intelligente i dispositivi energetici, come pannelli solari, batterie di accumulo, contatori intelligenti e dispositivi di controllo dell'energia. Questo permette di raccogliere dati in tempo reale sul consumo e la produzione energetica di ogni utente. Inoltre, svolge un ruolo chiave negli scambi di energia tra utenti. Attraverso l'IoT, i dispositivi interconnessi possono monitorare, misurare e gestire il flusso di energia tra utenti all'interno di una rete energetica. Infine, i dati raccolti dai dispositivi intelligenti, una volta elaborati da algoritmi di profilazione, permettono di ottimizzare i servizi di bilanciamento della domanda.

A questo scopo, Utilizzando algoritmi di apprendimento automatico, l'intelligenza artificiale può fornire servizi di ottimizzazione della rete ancora più efficaci. Essa può analizzare i dati della rete e analizzare i modelli di consumo energetico degli utenti e suggerire strategie personalizzate per ottimizzare i loro consumi. Inoltre, può svolgere un ruolo cruciale nel bilanciamento della domanda energetica all'interno delle comunità energetiche attraverso servizi di previsione della domanda energetica e gestione intelligente dei carichi, suggerendo l'allocazione ottimale dell'energia tra gli utenti.

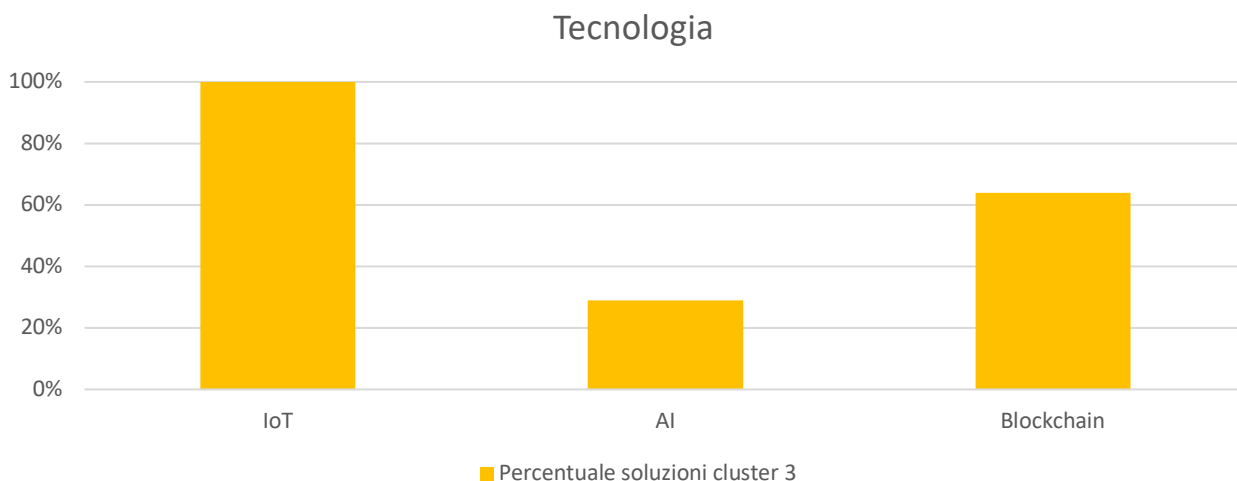


Figura 4.12: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 3-energia

Oltre alle informazioni sull'IoT e l'AI è importante sottolineare come il 64% delle piattaforme utilizzi la tecnologia blockchain. Osservando la figura 4.13 è possibile identificare il contributo specifico che apporta in ogni soluzione:

La blockchain consente di creare token che rappresentano l'energia generata dai partecipanti alla comunità energetica. Questi token possono essere scambiati tra i membri della comunità come forma di incentivo per la produzione di energia sostenibile, oppure possono essere utilizzati per premiare i comportamenti desiderati, come la riduzione dei consumi energetici. Le regole e le condizioni per l'assegnazione dei token sono note a tutti gli utenti aderenti al servizio e la loro corretta applicazione è garantita dall'immutabilità degli smart contract attivi sulla piattaforma. Questo consente una gestione trasparente e sicura delle ricompense e una distribuzione maggiormente equa del valore generato.

La blockchain viene anche utilizzata per certificare le attività degli utenti nelle comunità energetiche, fornendo una prova verificabile, immutabile e trasparente del coinvolgimento e delle azioni compiute da ciascun partecipante.

Inoltre, grazie alla blockchain, è possibile ottenere la verifica e il consenso delle transazioni in maniera decentralizzata, senza la necessità di un ente terzo che le approvi, ottenendo una maggiore autonomia energetica. Dopo che esse vengono registrate, diventano immutabili e non possono essere alterate o modificate senza il consenso della rete. Questo assicura che le transazioni siano sicure e non soggette a manipolazioni fraudolente, consentendo una maggiore fiducia tra le parti coinvolte.

Infine, con la blockchain, le transazioni di energia peer-to-peer possono avvenire direttamente tra i partecipanti, senza la necessità di intermediari centralizzati come fornitori di energia o utility. Ciò riduce i costi associati alle commissioni e agli oneri amministrativi che possono essere applicati dalle terze parti coinvolte nelle transazioni energetiche e aumenta l'efficienza del processo. La

decentralizzazione e l'automazione fornite dalla blockchain possono ridurre i costi operativi e migliorare l'efficienza degli scambi di energia fornendo tempi di elaborazione più rapidi. Gli utenti possono evitare i costi aggiuntivi associati agli intermediari e ai processi di convalida centralizzati. Inoltre, l'automazione dei contratti intelligenti riduce la necessità di interventi manuali e semplifica il processo di scambio di energia.

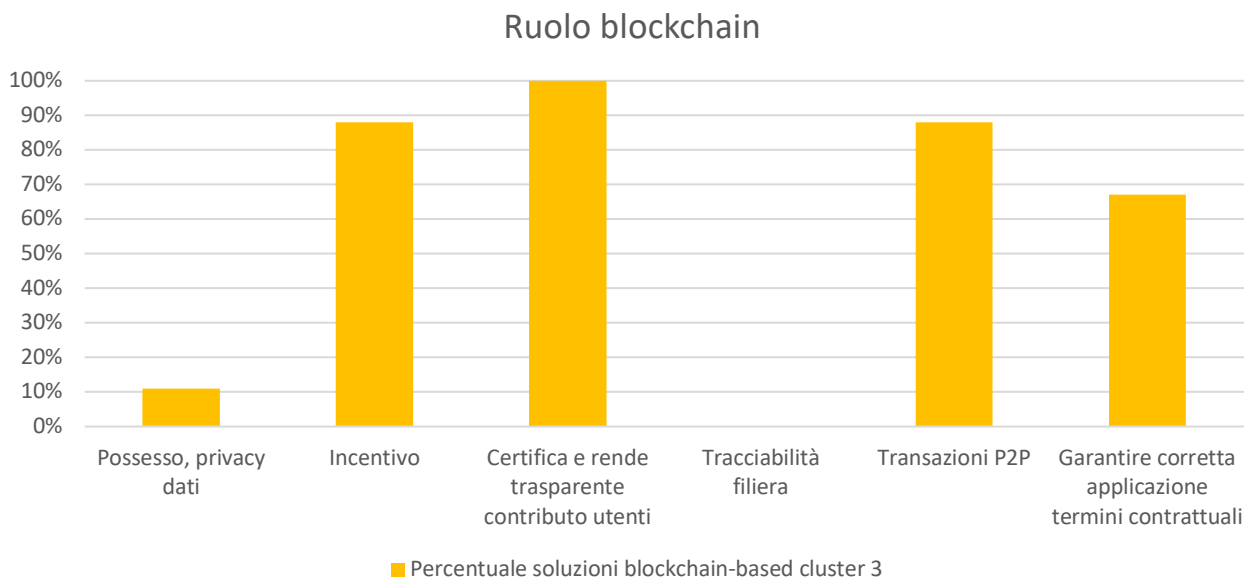


Figura 4.13: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 3-energia

Comparando le informazioni raccolte sui behavioral change promossi dai cittadini nei sistemi energetici distribuiti e sui benefici che la blockchain apporta a tali piattaforme è possibile identificare quali di questi benefici apportino un contributo diretto all'attivazione di tali cambiamenti comportamentali negli utenti.

Grazie alla trasparenza e all'integrità dei dati e alla presenza di regole condivise immutabili e verificabili in ogni istante da tutti i membri della comunità, la cui corretta applicazione è garantita dagli smart contracts operanti sulla piattaforma, la blockchain contribuisce ad aumentare il livello di fiducia interno alla comunità, creando un ambiente cooperativo e collaborativo e favorendo lo sviluppo di norme sociali favorevoli.

Inoltre, la blockchain consente di rinunciare alla presenza di un'autorità centrale che acconsenta ogni transazione e garantisca il rispetto delle regole. Questo permette di ridurre i tempi/costi associati alle transazioni energetiche evitando commissioni e oneri aggiuntivi. Inoltre, gli utenti non essendo vincolati alle regole e alle restrizioni di un'autorità centrale, possono negoziare direttamente i termini degli scambi energetici, inclusi i prezzi e le quantità di energia, in base alle proprie esigenze e preferenze.

Questo può portare a prezzi più competitivi e a una maggiore efficienza economica nel sistema energetico.

Infine, la blockchain, attraverso l'emissione di token, svolge un ruolo importante anche nell'incentivare gli utenti a distribuire parte della loro energia agli altri membri della comunità e ad assumere comportamenti maggiormente virtuosi in termini di flessibilità dei consumi energetici. Essa offre la possibilità di creare meccanismi di incentivazione attraverso l'emissione automatizzata di token tramite gli smart contract operanti sulla piattaforma. A differenza dei tradizionali sistemi di incentivi, le regole e le condizioni per l'assegnazione dei token sono conosciute da tutti gli utenti che partecipano al servizio e la corretta applicazione di tali regole è garantita dall'immutabilità degli smart contract stessi. Questo permette una gestione trasparente e sicura delle ricompense, assicurando una distribuzione più equa del valore generato. Inoltre, gli incentivi emessi sotto forma di token possono aumentare di valore nel tempo in proporzione alla crescita della comunità, premiando coloro che contribuiscono attivamente e si impegnano nello sviluppo della stessa.

CLUSTER 6: Il cluster 6 contiene progetti e applicazioni che mirano alla promozione di routine energetiche sostenibili da parte dei loro utenti, ovvero pratiche e abitudini quotidiane che promuovono un uso responsabile e consapevole dell'energia, come spegnere luci e dispositivi elettronici quando non vengono utilizzati o utilizzare gli elettrodomestici solo quando necessario e ridurre al minimo il tempo di utilizzo, riducendo l'impatto ambientale e favorendo la sostenibilità. All'interno del cluster sono presenti cinque soluzioni. Come si evince dalla figura 4.14, coerentemente con quanto appena detto, ognuna di esse offre un servizio di efficientamento dei consumi energetici dei loro utenti.

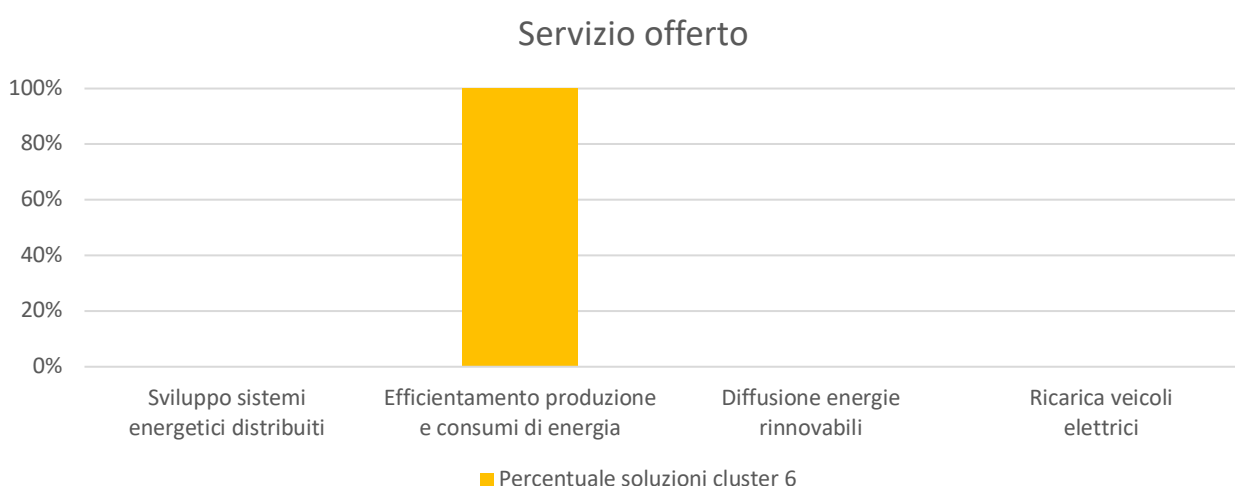


Figura 4.14: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 6-energia

Ognuna delle cinque soluzioni presenti nel cluster mira a promuovere routine sostenibili negli utenti innescando in loro un cambio comportamentale. Del resto, il concetto stesso di routine si riferisce ai comportamenti quotidiani di un individuo. Analizzando dettagliatamente le informazioni diffuse

dalle stesse piattaforme all'interno della loro documentazione, è stato possibile identificare i meccanismi utilizzati dalle diverse soluzioni per attivare tali cambiamenti nelle routine degli utenti (figura 4.15).

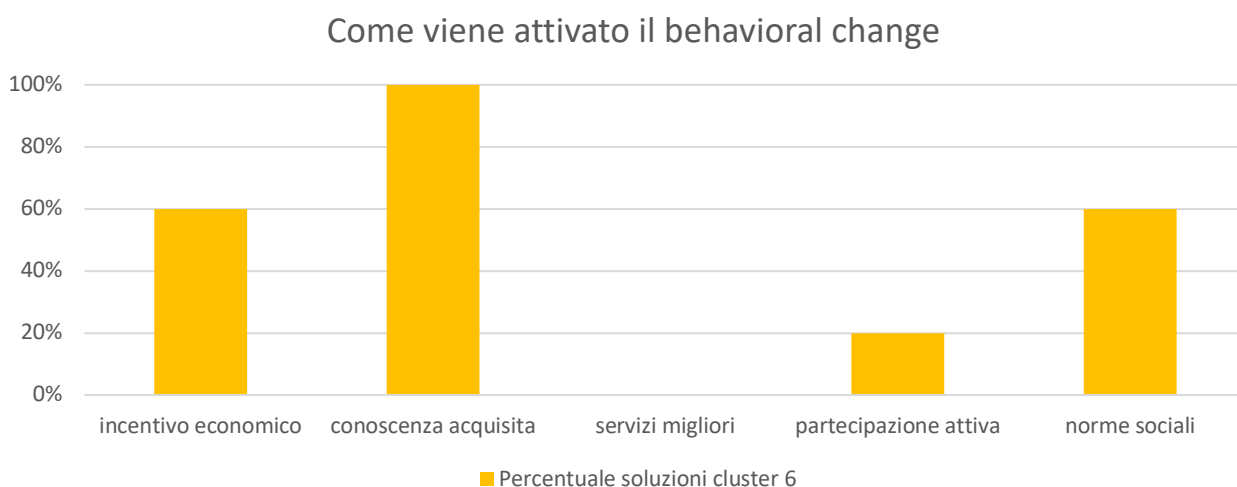


Figura 4.15: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 6-energia

Tutte le soluzioni nel cluster mirano a sviluppare una maggiore consapevolezza nell'individuo, tenendo traccia dell'andamento dei suoi consumi e dei relativi risparmi generati attraverso eventuali comportamenti virtuosi, così da permettergli di prendere coscienza dell'importanza delle sue azioni. Inoltre, lo educano sulle azioni migliori da compiere per ridurre i propri consumi energetici, all'interno della propria abitazione o della propria azienda. Quest'ultime informazioni posso avere carattere generale ed essere uguali per tutti gli utenti oppure realizzate su misura per il singolo utente attraverso dei programmi di consulenza dedicata.

Il 60% delle soluzioni esaminate, inoltre, mostra a ogni utente i risultati virtuosi ottenuti dagli altri membri della comunità, con l'obiettivo di innescare delle norme sociali favorevoli. Le norme sociali, infatti, sono gli standard o le regole comportamentali condivise all'interno di un gruppo sociale e possono influenzare significativamente le scelte e i comportamenti delle utenti, i quali, osservando i comportamenti virtuosi degli altri membri, saranno, a loro volta, invogliati ad assumerli.

La stessa percentuale di soluzioni ricorre, per ottenere tale behavioral change, a incentivi di carattere economico direttamente proporzionali alla virtuosità dei comportamenti energetici dell'individuo. Infine, il 20% delle soluzioni nel cluster, coinvolge gli utenti a una partecipazione attiva nella comunità, promuovendo discussioni, scambio di idee e sfide interne. Essi si scambiano idee e discutono su quali obiettivi comuni riguardanti il risparmio energetico porsi, per poi sfidarsi tramite un'esperienza gamificata. Così facendo si sentono maggiormente responsabilizzati e invogliati a modificare la propria routine.

Per quanto concerne le specifiche tecnologiche delle piattaforme prese in analisi, è molto interessante osservare come il 100% di esse utilizzi l'IoT, mentre nessuna di esse ricorra, per erogare i propri servizi, all'implementazione di algoritmi di intelligenza artificiale, come mostrato nella figura 4.16. Questi dati sono coerenti con il tipo di servizio offerto da tale famiglia di soluzioni. L'utilizzo dell'IoT è fondamentale per monitorare e tenere traccia dei consumi degli utenti. Grazie alla connessione dei dispositivi intelligenti alla rete, è possibile raccogliere dati sul consumo energetico consentendo di monitorare e certificare le abitudini di consumo di ogni utente. Al contrario, gli algoritmi di intelligenza artificiale risultano maggiormente utili in contesti come il controllo intelligente degli impianti e dei dispositivi energetici, dove i dati raccolti vengono sottoposti ad algoritmi di AI per ottimizzare l'utilizzo dei dispositivi energetici, non è necessaria la loro implementazione per tenere traccia dei consumi e modificare la routine quotidiane degli utenti.

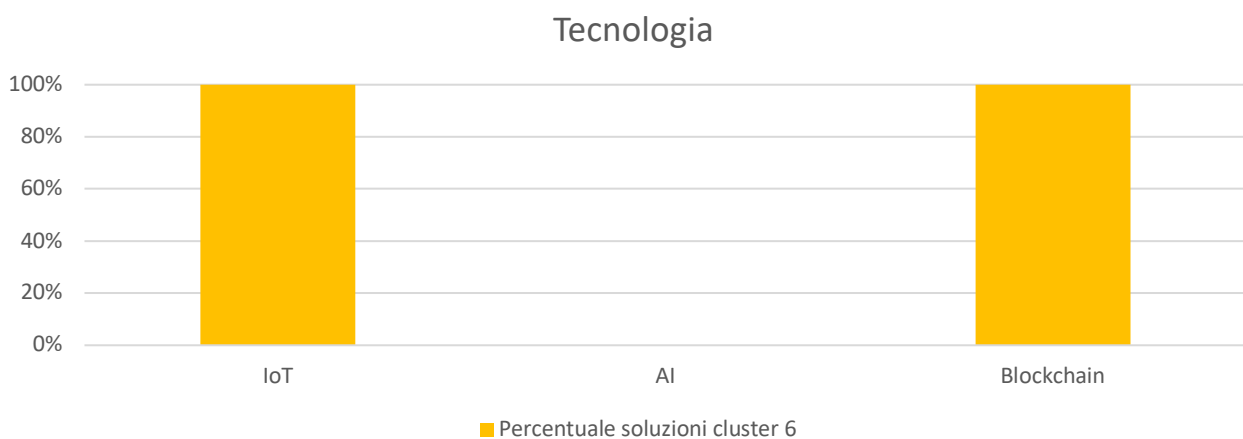


Figura 4.16: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 6-energia

Un'altra informazione molto importante che emerge dalla figura 4.16 è l'utilizzo, da parte di tutte le soluzioni del cluster 6, della tecnologia blockchain. Esaminando meglio le informazioni raccolte circa il ruolo della blockchain all'interno di ognuna delle soluzioni in esame (figura 4.17) si osserva come, in ognuna di esse, la blockchain svolga il ruolo di tecnologia certificante. L'utilizzo della blockchain per certificare le azioni degli utenti offre trasparenza, immutabilità e verificabilità delle azioni compiute. Essa offre la possibilità di generare certificati digitali o attestazioni che evidenziano i consumi di energia del singolo utente e dei relativi risparmi generati attraverso eventuali comportamenti virtuosi. Questi certificati sono memorizzati in modo immutabile sulla blockchain e possono essere facilmente verificati grazie alla trasparenza offerta dalla piattaforma, fornendo una prova inconfutabile delle azioni e del contributo degli stakeholders ed eliminando la necessità di un'autorità centrale per attestare le attività, la quale potrebbe essere soggetta a corruzione o errore. Inoltre, nel 40% delle soluzioni appartenente a questo cluster la blockchain svolge anche il ruolo di tecnologia incentivante. La blockchain può essere utilizzata per creare e gestire sistemi di

incentivazione decentralizzati e trasparenti, che consentono di premiare e motivare gli utenti per determinati comportamenti o azioni desiderate. Utilizzando la blockchain, è possibile certificare i comportamenti virtuosi di ogni utente e avviare processi di tokenizzazione direttamente proporzionali alla riduzione dei consumi energetici. Questi token possono poi essere utilizzati dagli utenti per ottenere benefici o premi, come sconti, servizi o prodotti. Utilizzando una piattaforma decentralizzata, rispetto ai tradizionali modelli centralizzati, si ottiene una maggiore trasparenza sulle regole e sui processi di incentivazione, consentendo una gestione trasparente e sicura delle ricompense e una distribuzione maggiormente equa del valore generato.

I sistemi di incentivi tradizionali, oltre a mancare di trasparenza, si limitano a premiare gli utenti con voucher, codici sconto o monete virtuali che hanno valore solo all'interno dell'applicazione stessa e non al di fuori. Inoltre, ogni moneta guadagnata non è effettivamente di proprietà dell'utente: se l'applicazione decidesse di ritirare quelle monete, l'utente perderebbe tutti i suoi guadagni senza avere il diritto di lamentarsi o reclamare la proprietà delle stesse.

La blockchain risolve questo problema. Tramite la tokenizzazione dei risparmi, consente di creare asset che sono di proprietà esclusiva degli utenti, i quali avranno un valore economico reale determinato dalle leggi di domanda e offerta. Questi asset possono essere acquistati o venduti anche al di fuori dell'applicazione, conferendo loro un valore economico effettivo.

Nelle stesse soluzioni dove la blockchain svolge il ruolo di tecnologia incentivante, essa si occupa anche di garantire la sicurezza dei wallet contenenti i token generati e delle transazioni di tali token verso i partner commerciali delle soluzioni in esame, impedendo frodi o manipolazioni delle transazioni e garantendo, di conseguenza, l'integrità delle informazioni relative a tali transazioni.

Infine, nel 40% delle soluzioni in esame, garantisce la privacy e il possesso dei propri dati agli utenti attraverso l'utilizzo di crittografia avanzata. Le informazioni sensibili vengono conservate in modo sicuro e accessibili solo alle parti autorizzate.

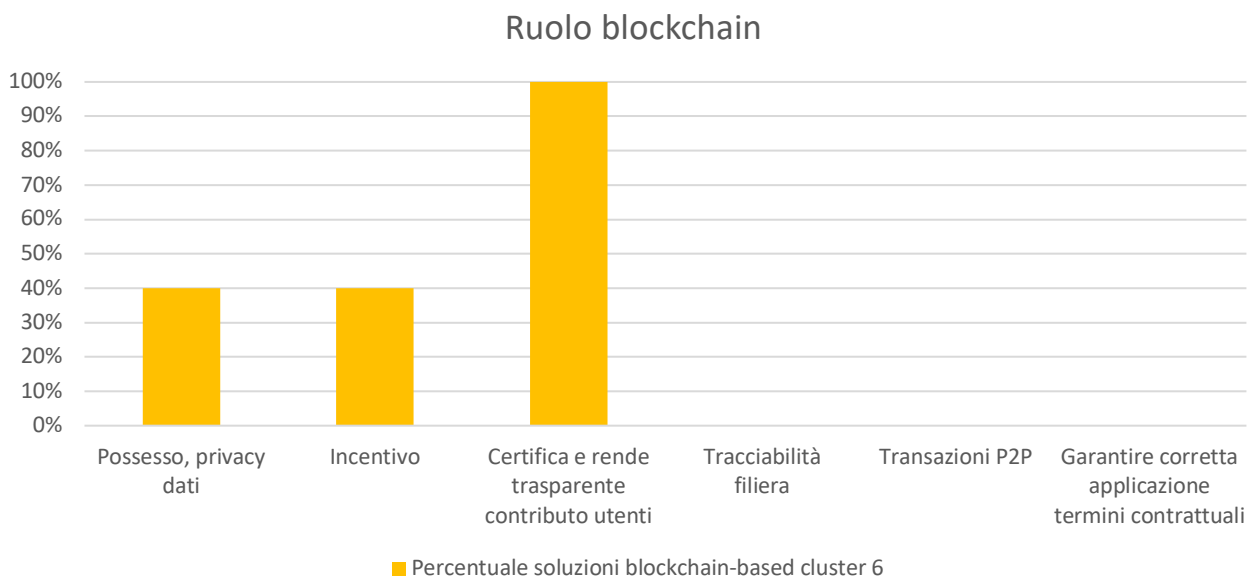


Figura 4.17: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 6-energia

Tramite un'analisi incrociata delle informazioni relative al cambio comportamentale attivato negli utenti e al ruolo della blockchain nelle soluzioni in esame è possibile trarre delle conclusioni interessanti sul contributo di tale tecnologia nel promuovere un behavioral change nei cittadini finalizzato all'attivazione di routine energetiche sostenibili.

In primis, per quelle soluzioni che basano la loro efficacia sulla distribuzione di incentivi per incentivare i propri utenti ad assumere routine energetiche maggiormente virtuose, la blockchain può fornire un contributo molto importante tramite processi di tokenizzazione del valore. Come discusso nelle sezioni 2.2.4 e 2.3.4, la blockchain consente la creazione di meccanismi incentivanti tramite l'emissione di token automatizzata dagli smart contracts operanti sulla piattaforma. Così facendo le regole e le condizioni per l'assegnazione dei token sono note a tutti gli utenti aderenti al servizio e la loro corretta applicazione è garantita dall'immutabilità degli smart contract stessi. Questo consente una gestione trasparente e sicura delle ricompense e una distribuzione maggiormente equa del valore generato. Inoltre, gli incentivi emessi tramite token possono aumentare di valore nel tempo proporzionalmente alla crescita della comunità, premiando gli utenti che collaborano e si impegnano nel suo sviluppo.

Nel complesso, quindi, la blockchain consente la creazione di sistemi incentivanti migliori dei tradizionali modelli centralizzati, fornendo un contributo rilevante all'attivazione di un cambio comportamentale tramite incentivo.

La blockchain svolge un ruolo significativo anche nel behavioral change dettato dalle norme sociali, presente nel 60% delle soluzioni esaminate. Essa offre trasparenza, immutabilità e tracciabilità dei dati, consentendo di creare registri condivisi e affidabili delle azioni degli utenti, garantendo al tempo stesso la privacy e il controllo dei propri dati. Questo può favorire la creazione e la diffusione di

norme sociali condivise e incoraggiare comportamenti desiderabili. Ad esempio, le attività registrate sulla blockchain possono testimoniare l'utilizzo di energie rinnovabili o i risparmi energetici generati da ogni utente. Questi dati vengono resi pubblici e accessibili a tutti, mantenendo però private le informazioni maggiormente sensibili, incoraggiando così gli utenti a conformarsi alle norme sociali e a seguire gli esempi positivi degli altri membri della comunità. La blockchain, rispetto a un modello centralizzato, offre un valore aggiunto significativo garantendo maggiore trasparenza, integrità e controllo dei propri dati. La natura decentralizzata della blockchain riduce il rischio di violazioni della privacy e di abusi di potere. In un sistema centralizzato, i dati sono generalmente conservati in un'unica entità che può essere soggetta a violazioni o accessi non autorizzati e che spesso tende a vendere i dati degli utenti a terze parti interessate.

4.3 Settore della mobilità

Dopo il settore dell'energia, il settore della mobilità è quello maggiormente inquinante. Come abbiamo constatato nella sezione 2.1.1, quest'ultimo, nel 2016 è stato responsabile di più del 16% delle emissioni di CO₂ globali. Per identificare, nella maniera più completa possibile, le diverse famiglie di soluzioni appartenenti a questo settore aventi come obiettivo quello di limitare le emissioni ad esso riconducibili, sono state analizzate 57 diverse soluzioni. Come per il settore dell'energia, dopo aver individuato le soluzioni di interesse, si è proceduto con l'applicazione dell'algoritmo di clusterizzazione k-means.

Nella Tabella 4.3 è possibile vedere i risultati ottenuti. Si può notare la formazione di cinque cluster differenti e i valori di R², AIC, BIC e Silhouette.

K-Means Clustering

Clusters	N	R ²	AIC	BIC	Silhouette
5	57	0.781	289.650	422.450	0.550

Tabella 4.3

Il numero dei cluster, come per il settore dell'energia, si è ottenuto attraverso l'applicazione di una euristica detta metodo del gomito (elbow method). Nella figura 4.18 è possibile osservare la sua applicazione. Si è deciso di utilizzare cinque cluster in quanto risulta evidente la presenza per tale

valore di una curva a gomito. Anche nel punto corrispondente a tre cluster è presente una curva a gomito altrettanto pronunciata, ma tale valore si è dimostrato troppo basso per esprimere correttamente la varianza interna al database.

Elbow Method Plot

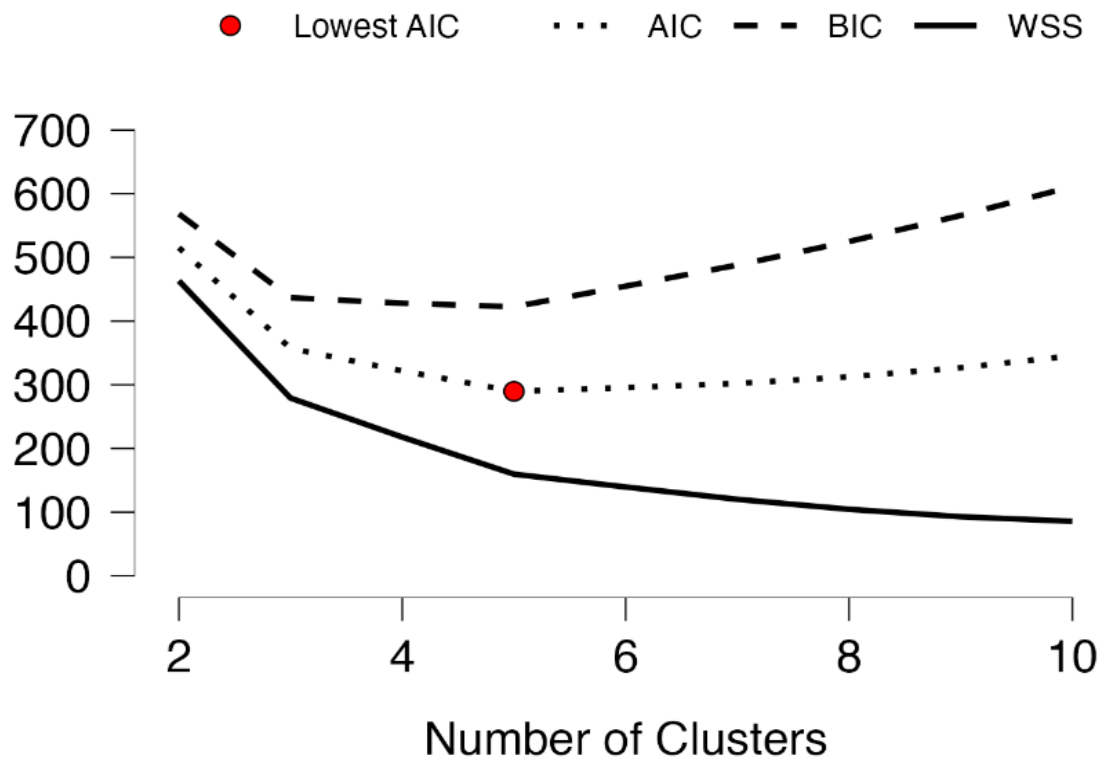


Figura 4.18: Elbow method plot-settore mobilità

La Tabella 4.4 fornisce dettagli sulle caratteristiche di ciascun cluster. In particolare, vengono riportate informazioni sulla dimensione, sull'eterogeneità e sul numero di Silhouette per ciascun cluster.

Cluster Information

Cluster	1	2	3	4	5
Size	14	9	13	8	13
Explained proportion within-cluster heterogeneity	0.353	0.057	0.142	0.263	0.186
Within sum of squares	56.300	9.071	22.627	41.920	29.734

Tabella 4.4

Nella figura 4.19 e nella figura 4.20 è possibile osservare rispettivamente i risultati ottenuti dall'applicazione dell'algoritmo k-means e le diverse famiglie di soluzioni corrispondenti a ogni cluster.

	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3	CLUSTER 4	CLUSTER 5
Movimento fisico	0%	0%	100%	0%	0%
Interventi a supporto miglioramento viabilità	0%	100%	0%	0%	92%
Veicoli a motore meno inquinanti	71%	0%	0%	100%	8%
Mobility as a service	100%	0%	0%	0%	0%
Blockchain	43%	56%	69%	38%	0%
Behavioural change incentivo economico/ in game	93%	0%	100%	100%	0%
Behavioural change conoscenza acquisita	7%	0%	0%	88%	0%
Behavioural change interventi strutturali o servizi innovativi	70%	0%	0%	0%	8%
Behavioural change partecipazione attiva	0%	0%	85%	63%	8%
Behavioural change norme sociali	0%	0%	62%	88%	0%
Ruolo dati comunicare contributo di un singolo individuo/iniziativa	100%	100%	100%	100%	0%
Ruolo dati tracciare passaggio prodotti/valore tra diversi stakeholders/punti della filiera	100%	100%	100%	63%	0%
Ruolo dati ottimizzazione interna	43%	100%	0%	0%	92%

Figura 4.19: Risultato clusterizzazione-mobilità

CLUSTER	Numerosità	Famiglia soluzioni	% impiego blockchain	Cambio comportamentale
1	14	Piattaforme MaaS		
		Piattaforme guida intermodale	33,3 %	SI
		Piattaforme noleggio veicoli	50 %	SI
2	9	Ottimizzazione viabilità urbana (Parcheggi intelligenti, guida autonoma)	55,6 %	NO
3	13	Applicazioni move to earn	69,2 %	SI
4	8	Applicazioni che incoraggiano routine di mobilità sostenibile- Incentivi utilizzo veicoli meno inquinanti	37,5 %	SI
5	13	Ottimizzazione viabilità urbana (Strade intelligenti, interventi strutturali)	NO	NO

Figura 4.20: Famiglia soluzioni-mobilità

Di seguito viene proposta un'analisi approfondita dei cluster che attivano un cambio comportamentale negli utenti e che, al tempo stesso, implementano la tecnologia blockchain, ovvero i cluster 1,3 e 4, così da poter identificare il contributo della blockchain nell'attivazione di tale cambio comportamentale.

In particolare, per ognuno dei cluster analizzati, si procederà ad analizzare la famiglia di soluzioni corrispondente a tale cluster, le strategie impiegate per attivare il behavioral change e le specifiche tecniche delle diverse soluzioni, prestando particolare attenzione al ruolo svolto dalla tecnologia blockchain.

CLUSTER 1: All'interno del cluster 5 sono presenti 14 applicazioni. Ognuna di esse condivide l'obiettivo di favorire lo sviluppo del paradigma Mobility as a Service (MaaS), un modello di mobilità in cui i servizi di trasporto vengono offerti come un pacchetto integrato e accessibile tramite una piattaforma digitale. Invece di possedere un mezzo di trasporto, gli utenti possono accedere a una varietà di opzioni di mobilità, come mezzi pubblici, servizi di ride-sharing, noleggio di veicoli, biciclette, scooter e altre soluzioni di trasporto, attraverso un'unica app o piattaforma. Il concetto di MaaS si basa sulla condivisione, l'integrazione e la combinazione di diverse modalità di trasporto per fornire un'esperienza di mobilità più flessibile, comoda ed efficiente. L'obiettivo principale è quello di favorire una mobilità sostenibile che contribuisca alla riduzione delle emissioni di CO2 promuovendo l'utilizzo del trasporto pubblico e incentivando la mobilità condivisa attraverso la promozione di servizi di car sharing, bike sharing e ride-sharing. Così facendo si riduce il numero di auto in circolazione e, di conseguenza, le emissioni di CO2 prodotte.

In particolare, esaminando le 14 applicazioni individuate all'interno di questo cluster, è possibile identificare 2 sottocategorie appartenenti alla famiglia di soluzioni MaaS: le piattaforme di guida intermodale, presenti con 6 soluzioni, e quelle di noleggio veicoli, presenti con 8 soluzioni. Le piattaforme di guida intermodale consentono agli utenti di pianificare i loro percorsi combinando diverse modalità di trasporto, come mezzi pubblici, biciclette, servizi di ride-sharing e altro ancora. Gli utenti possono inserire la loro posizione di partenza e destinazione e ottenere indicazioni stradali e itinerari completi che includono le diverse opzioni di trasporto disponibili. Alcune di esse consentono anche agli utenti di prenotare e pagare i biglietti per i mezzi di trasporto pubblico o servizi di mobilità condivisa direttamente tramite l'app, semplificando il processo di prenotazione e pagamento e offrendo una soluzione integrata per l'acquisto dei biglietti.

L'obiettivo principale è fornire un'esperienza di viaggio senza soluzione di continuità e semplificare il passaggio da una modalità di trasporto all'altra, consentendo agli utenti di trovare la combinazione ottimale di mezzi per raggiungere la loro destinazione.

Le app di car sharing, invece, sono progettate per consentire agli utenti di condividere veicoli attraverso una piattaforma digitale, consentendo agli utenti di accedere a veicoli condivisi in modo semplice, rapido ed efficiente, promuovendo la condivisione delle risorse di mobilità.

Quest'ultime, a loro volta, possono essere ulteriormente divise tra coloro che abilitano uno sharing peer to peer tra privati e coloro che invece abilitano lo sharing tra privati e una società che mette a loro disposizione i veicoli.

Entrambe le sottocategorie di applicazioni abbracciano il paradigma di mobility as a service, offrendo però due contributi differenti: le app di guida intermodale offrono una visione panoramica delle diverse opzioni di trasporto disponibili e aiutano gli utenti a pianificare viaggi che coinvolgono più modalità di trasporto, mentre le app di car sharing si concentrano sul noleggio di veicoli per brevi periodi di tempo per gli spostamenti individuali.

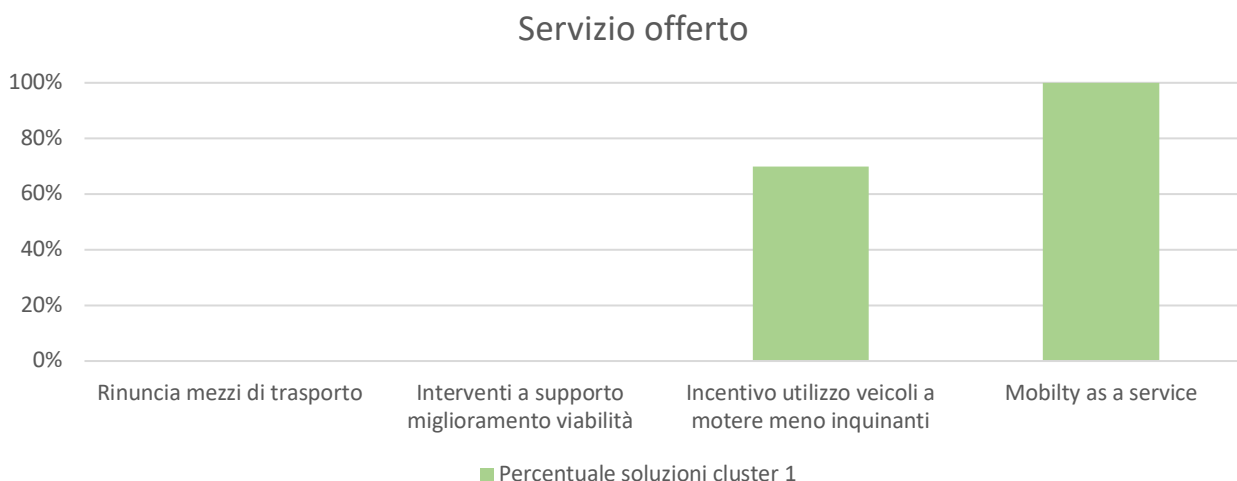


Figura 4.21: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 1-mobilità

Quanto detto è coerente con i dati raccolti circa il servizio offerto da ognuna delle soluzioni presenti nel cluster (figura 4.21), che mostrano come tutte le soluzioni presenti contribuiscano alla diffusione del paradigma mobility as a service. Inoltre, il 70% di esse contribuisce anche alla diffusione di veicoli meno inquinanti, favorendo la diffusione dei mezzi pubblici e di servizi di sharing che promuovono la mobilità elettrica.

Tutte le applicazioni individuate in questo cluster basano l'efficacia del proprio servizio sull'attivazione di un behavioral change negli utenti. Per promuovere l'adozione e il successo del Mobility as a Service (MaaS), è infatti necessario un cambiamento comportamentale da parte degli utenti. Essi devono spostarsi da un approccio basato sulla proprietà (come possedere un'auto privata) a un approccio basato sull'accesso ai servizi di mobilità. Questo comporta una mentalità aperta alla condivisione dei mezzi di trasporto e alla ricerca delle opzioni più convenienti e adatte per ogni viaggio. Gli utenti devono essere disposti a adattare le proprie scelte di mobilità alle diverse opzioni disponibili in base alle loro esigenze specifiche, come distanza e orario, modificando le loro abitudini di viaggio.

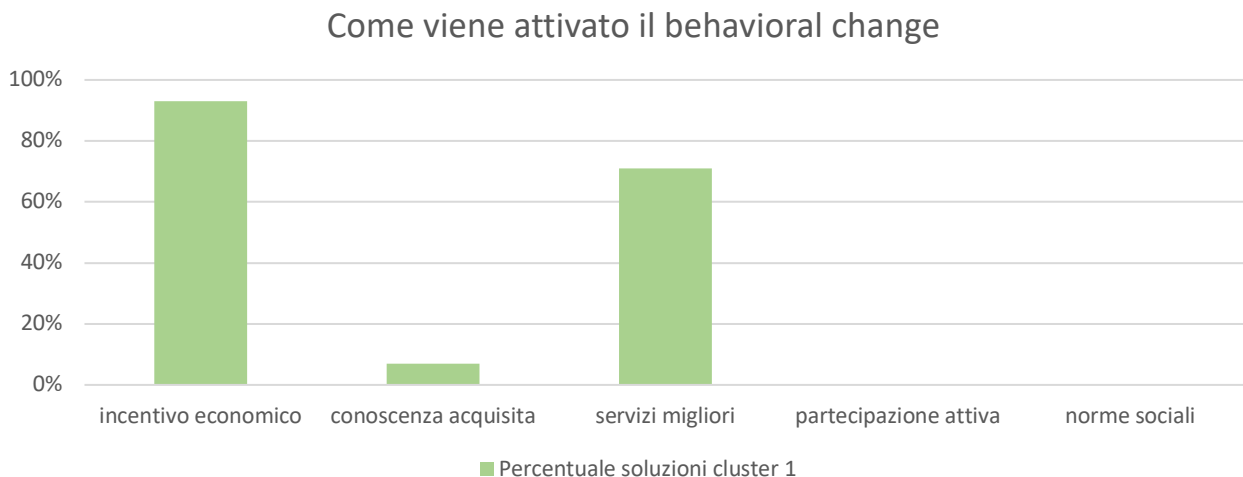


Figura 4.22: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 1-mobilità

Osservando la figura 4.22, osserviamo come le applicazioni nel cluster mirino ad attivare tale cambio comportamentale negli utenti. In primis, permettono all'utente di eliminare i costi di possesso dell'auto: Invece di dover affrontare i costi di acquisto, manutenzione, assicurazione e parcheggio di un'auto privata, gli utenti possono utilizzare servizi di mobilità condivisi e rinunciare all'acquisto dell'auto, risparmiando sui costi. Inoltre, le piattaforme di guida intermodale consentono agli utenti di pagare un'unica tariffa o abbonamento che copre l'accesso a diverse modalità di trasporto. Questo approccio integrato può essere più conveniente rispetto all'acquisto di biglietti o pagamenti separati per ogni modalità di trasporto utilizzata.

Il 71% delle soluzioni esaminate mira a promuovere il behavioral change negli utenti offrendo loro, oltre alla possibilità di risparmio, un servizio innovativo. Questa percentuale corrisponde alle sei soluzioni appartenenti alla sottocategoria dei servizi di guida intermodale e a 4 soluzioni delle 8 appartenenti alla sottocategoria delle piattaforme di noleggio veicoli, più nello specifico tutte quelle abilitanti servizi di car sharing peer to peer tra privati. Per quanto riguarda la prima sottocategoria, grazie a tali soluzioni è possibile utilizzare un'unica piattaforma per organizzare e pagare i propri spostamenti, non è più necessario possedere ed utilizzare più applicazioni per effettuare uno spostamento senza una macchina di proprietà. Questo risulta essere un grande vantaggio, in quanto consente una visione integrata in tempo reale dei diversi servizi di trasporto che andrò ad utilizzare, eliminando la necessità di riprogrammare più volte le modalità di viaggio durante il tragitto accedendo a una applicazione diversa per ogni mezzo utilizzato e permettendo di identificare la combinazione migliore, in termini di tempi e costi, delle diverse opzioni di trasporto disponibili.

Per quanto riguarda le 4 soluzioni di noleggio veicoli peer to peer tra privati, esse migliorano il servizio di sharing offerto dalle tradizionali compagnie di sharing, in quanto consentono una maggiore disponibilità di veicoli, nonché una loro distribuzione più omogenea sul territorio. Inoltre, il car sharing P2P consente agli utenti di usufruire di tariffe più convenienti poiché non sono presenti i costi aggiuntivi associati all'acquisto e alla gestione di una flotta di veicoli.

Infine, una delle applicazioni esaminate appartenenti alla sottocategoria dei servizi di guida intermodale, possiede anche la capacità di mostrare, al termine di ogni viaggio, la quantità di CO2 risparmiata rispetto a uno spostamento tradizionale in automobile, aiutando l'individuo a prendere ulteriormente coscienza dell'importanza del suo comportamento virtuoso.

Per quanto concerne le specifiche tecnologiche delle piattaforme prese in analisi, è molto interessante osservare come il 100% di esse utilizzi l'IoT. L'Internet of Things permette di tracciare e localizzare i veicoli, attraverso dispositivi di tracciamento GPS, consentendo agli utenti di individuare i veicoli non occupati più vicini e prenotarli, migliorando l'accessibilità e l'efficienza del servizio. Inoltre, consente ai clienti di prenotare e pagare per i veicoli condivisi in modo rapido e conveniente. Attraverso dispositivi mobili o applicazioni dedicate, gli utenti possono verificare la disponibilità dei veicoli, selezionare le date e gli orari desiderati e confermare la prenotazione con un semplice tocco, pagando in modo sicuro e consentendo agli utenti di evitare le transazioni in contanti semplificando il processo di fatturazione. Infine, I sensori IoT consentono di raccogliere una vasta quantità di dati dai veicoli condivisi, permettendo di monitorare lo stato del veicolo, come ad esempio la carica della batteria per i veicoli elettrici o i parametri operativi come eventuali anomalie del motore, aiutando gli utenti a prendere decisioni informate sulla scelta del veicolo.

I servizi di guida intermodale, complementariamente all'utilizzo dell'IoT, ricorrono anche all'utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale.

Essi possono analizzare grandi quantità di dati, come orari dei mezzi di trasporto, condizioni del traffico, informazioni sulla disponibilità dei parcheggi e preferenze personali degli utenti, per generare percorsi ottimizzati che tengano conto di tutte queste variabili. Questo può consentire agli utenti di pianificare i loro viaggi in modo più efficiente, risparmiando tempo e riducendo lo stress.

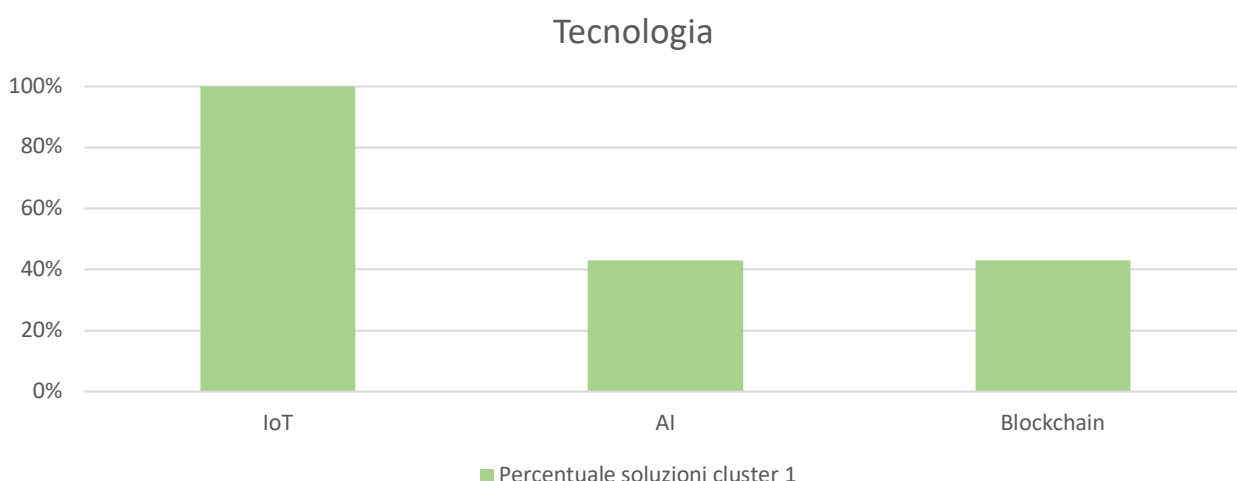


Figura 4.23: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 1-mobilità

Il 43% delle soluzioni esaminate si avvalgono dell'utilizzo della tecnologia blockchain. Due di esse appartengono alla sottocategoria dei servizi di guida intermodale, mentre le rimanenti quattro alle

piattaforme di noleggio veicoli, più specificatamente a quelle che abilitano un noleggio P2P tra privati. Per meglio comprendere il contributo di tale tecnologia all'interno del cluster si è deciso di studiare separatamente il suo apporto all'interno delle due sottocategorie.

Per quanto riguarda i servizi di guida intermodale (figura 4.24), la blockchain può consentire la condivisione sicura dei dati tra i diversi attori delle piattaforme MaaS, come fornitori di servizi di trasporto, autorità di regolamentazione, assicuratori e utenti. Gli smart contract e i permessi di accesso consentono di definire le regole di condivisione dei dati, garantendo al contempo la privacy degli utenti. I dati sensibili, come le informazioni sugli utenti, i dettagli delle transazioni e i dati dei veicoli, possono essere crittografati e archiviati in modo sicuro sulla blockchain, garantendo la privacy e la protezione delle informazioni. La blockchain permette di garantire il pieno controllo dei dati a ogni individuo, permettendogli di definire i termini e le condizioni di utilizzo dei dati forniti e, eventualmente, di ottenere un ritorno economico come premio per la condivisione. Ciò può facilitare la cooperazione e l'integrazione dei servizi, consentendo una migliore pianificazione e ottimizzazione delle opzioni di mobilità. ([Sony Corporation, 2020](#))

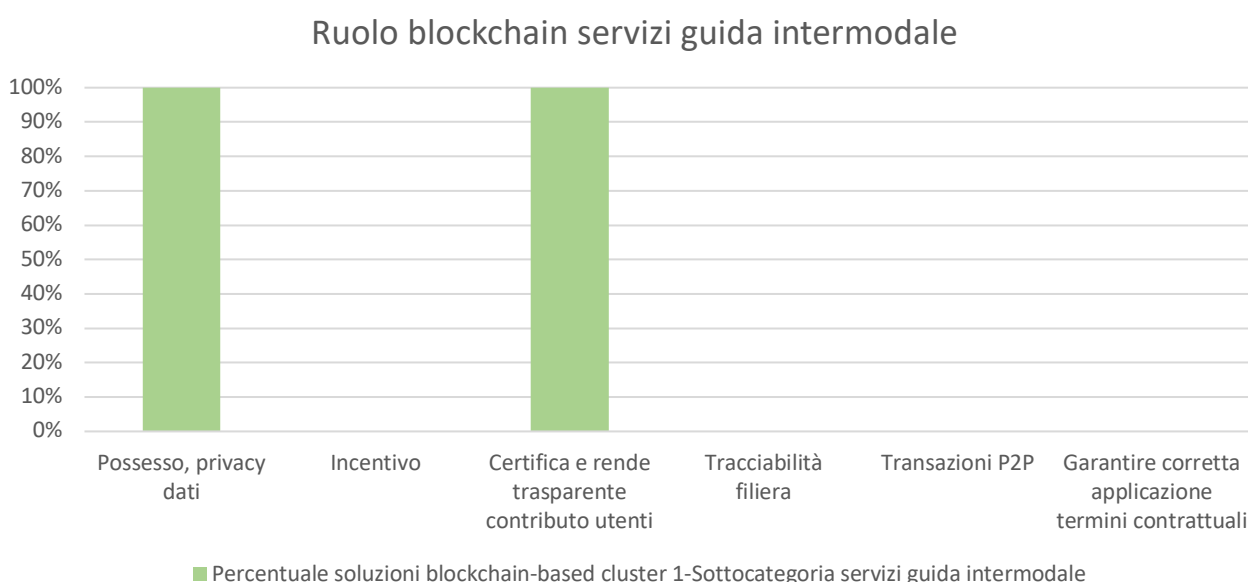


Figura 4.24: Statistiche ruolo blockchain soluzioni guida intermodale -mobilità

Nelle piattaforme di noleggio dei veicoli, invece, la blockchain è presente in tutte le piattaforme che abilitano una forma di noleggio peer to peer tra privati. Con i tradizionali modelli centralizzati, gli operatori di car sharing P2P incontrano maggiori difficoltà, rispetto ai tradizionali servizi di sharing gestiti da aziende specializzate, nel garantire la fiducia (frode di identità, problemi di manutenzione dell'auto, problemi assicurativi), facilitare il coordinamento P2P (contratti, fornire l'accesso all'auto, gestire gli incidenti) e una condivisione affidabile delle informazioni (cronologia del veicolo, monitoraggio dell'utilizzo, tracciamento della posizione). Oggigiorno, effettuare subnoleggi tra piccoli operatori è complesso, laborioso e soggetto a errori.

Grazie alla blockchain, tutti i dati, i contratti e le assicurazioni sono archiviati in un libro mastro distribuito (blockchain) che consente una migliore trasparenza dei dati, affidabilità e massima sicurezza.

Essa può fornire un sistema sicuro per la convalida dell'identità degli utenti e la creazione di una reputazione affidabile. Gli utenti possono registrare le proprie identità sulla blockchain e ottenere feedback e recensioni dagli altri partecipanti. Ciò aumenta la fiducia tra gli utenti e facilita la selezione di partner affidabili per il car sharing peer-to-peer.

Inoltre, utilizzando i contratti intelligenti sulla blockchain, è possibile creare accordi di condivisione dei veicoli automatici e auto eseguibili tra i partecipanti. Gli accordi possono definire le condizioni di condivisione, come le date, i termini di pagamento e le penali per eventuali danni. La blockchain garantisce l'esecuzione dei contratti in modo sicuro e trasparente, permettendo di eliminare la necessità di un intermediario centrale, come un'azienda di car sharing. Ciò consente agli utenti di interagire direttamente tra loro, riducendo i costi associati all'intermediazione e offrendo una maggiore autonomia agli utenti, consentendo loro di gestire direttamente le transazioni e le relative tariffe ed eliminando la necessità di documenti cartacei o di procedure lunghe e complesse.

Infine, essa tiene traccia e certifica tutti i passaggi di noleggio dell'autovettura, permettendo di fornire un'istanza di verità condivisa che facilita l'identificazione del responsabile di eventuali sinistri.

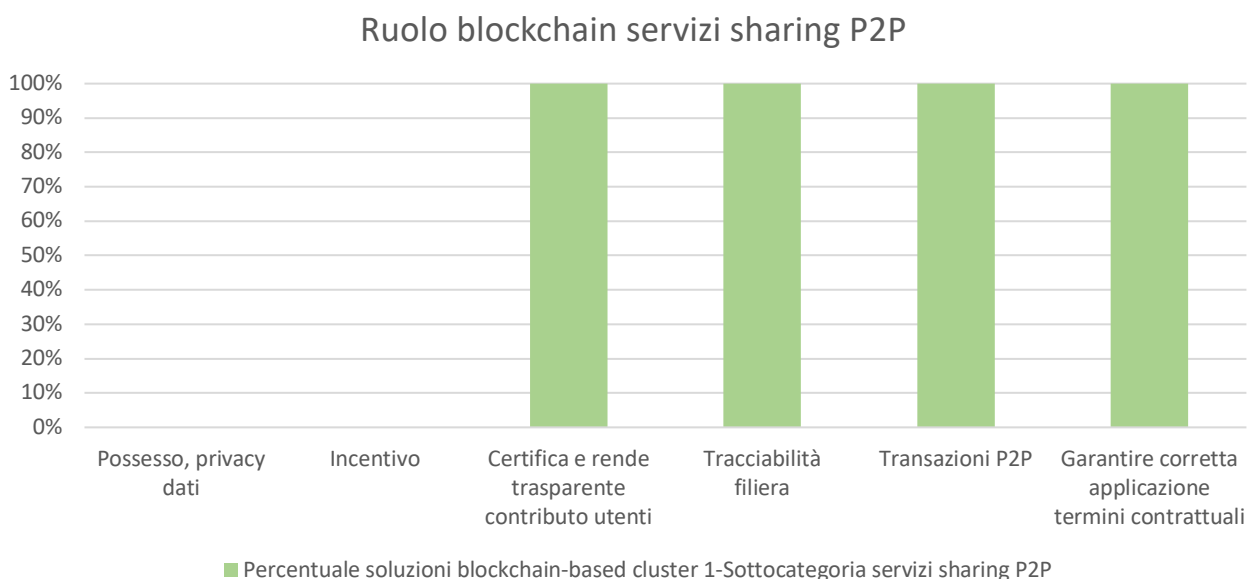


Figura 4.25: Statistiche ruolo blockchain soluzioni sharing P2P-mobilità

Attraverso l'incrocio dei dati relativi al cambiamento comportamentale degli utenti e all'utilizzo della tecnologia blockchain nelle soluzioni analizzate, è possibile ottenere delle interessanti conclusioni sul ruolo di questa tecnologia nel favorire un cambiamento comportamentale, sia nei servizi di car sharing P2P che nei servizi di guida intermodale.

Per quanto riguarda le piattaforme di guida intermodale si è discusso di come esse attivino un cambio comportamentale negli utenti principalmente attraverso degli incentivi economici, figli dei risparmi generati dal non possesso di un'auto, e attraverso la creazione di un servizio abilitante. Quest'ultimo punto, in particolare, trae grande beneficio dall'implementazione della blockchain nella piattaforma. Essa, tramite una gestione granulare degli accessi ai dati con l'utilizzo di smart contract e regole di autorizzazione, permette agli utenti di stabilire regole specifiche per l'accesso e la condivisione dei dati, favorendo la condivisione di informazioni sensibili come la localizzazione della propria posizione e i dettagli delle transazioni finanziarie. La condivisione di queste informazioni, a sua volta, permette l'ottimizzazione dei servizi di guida intermodale permettendo una maggiore efficienza degli algoritmi previsionali operanti sulla piattaforma, che permettono di identificare la migliore combinazione di mezzi di trasporto da scegliere per raggiungere la meta desiderata, in termini di tempi e costi.

Anche nei servizi di sharing P2P, come nei servizi di trasporto intermodale, si osserva un importante contributo della blockchain nello sviluppo di un servizio migliore, che a sua volta è responsabile dell'attivazione del cambio comportamentale degli utenti.

Lo sharing P2P apporta una grande miglioria rispetto ai tradizionali modelli di sharing in quanto permette una distribuzione maggiore e più capillare all'interno delle città dei veicoli da noleggio, oltre a dei costi inferiori. Questo efficientamento del servizio può abilitare una maggiore partecipazione dei cittadini, maggiormente disposti a rinunciare al possesso di una macchina grazie a un servizio di sharing più efficiente che viene maggiormente in contro alle loro esigenze.

Tuttavia, come discusso nella sezione precedente, gli operatori di sharing P2P affrontano sfide aggiuntive rispetto ai servizi tradizionali di sharing in termini di fiducia reciproca, manutenzione del veicolo, assicurazione dei veicoli e coordinamento tra utenti.

In questo contesto, l'utilizzo della blockchain può contribuire a risolvere alcune delle sfide legate alla fiducia, alla sicurezza dei dati e alla tracciabilità nel car sharing P2P.

Essa consente di creare identità digitali uniche per gli utenti del car sharing P2P. Queste identità possono essere associate a informazioni personali verificate, come nome, indirizzo, patente di guida, ecc. Ogni identità digitale viene registrata come un "indirizzo" sulla blockchain, che funge da identificatore univoco per l'utente. Una volta che le informazioni di identità sono registrate sulla blockchain, diventano immutabili e possono essere verificate attraverso le transazioni sulla blockchain stessa. Ad esempio, una transazione di noleggio di un veicolo può richiedere la verifica dell'identità dell'utente coinvolto. Gli smart contracts implementati sulla blockchain possono eseguire automaticamente la verifica dell'identità attraverso algoritmi crittografici che corrispondono alle informazioni dell'utente registrate sulla blockchain. Inoltre, essi possono gestire e automatizzare tutte le condizioni di utilizzo, riducendo la necessità di intermediari, snellendo le pratiche burocratiche e migliorando l'efficienza e la trasparenza delle transazioni nel car sharing. La gestione dei verbali potrebbe avvenire totalmente per via telematica. Il veicolo transita in ZTL, la telecamera rileva l'infrazione e trasmette il dato, lo smart contract gestisce istantaneamente la

pratica con i relativi addebiti. La vettura rientra senza il pieno? Il sistema controlla i livelli di gasolio e addebita l'importo dovuto.

Inoltre, la blockchain garantisce la tracciabilità di tutte le transazioni e gli eventi nel car sharing P2P. Questi registri possono contenere informazioni come date, orari, dettagli dei noleggi, feedback degli utenti e altro ancora. La natura immutabile della blockchain garantisce che queste informazioni non possano essere modificate o alterate in modo fraudolento. Questo fornisce una prova trasparente e verificabile di tutte le attività di car sharing, aumentando la fiducia e la tracciabilità nel sistema.

Infine, essa consente alle parti coinvolte nel noleggio auto P2P di interagire direttamente, senza la necessità di intermediari come agenzie di noleggio tradizionali o servizi di intermediazione. Questo può ridurre le commissioni pagate alle terze parti coinvolte nel processo di noleggio e fornire maggiore libertà agli utenti nello stabilire i termini di noleggio.

CLUSTER 3: Il cluster tre contiene 13 applicazioni che rientrano nella categoria delle applicazioni "move to earn". Tale categoria di applicazioni offrono la possibilità di guadagnare o ottenere ricompense attraverso il movimento fisico. Come si evince dalle informazioni raccolte circa il servizio da loro offerto (figura 4.26), tutte e 13 le applicazioni incoraggiano gli utenti a partecipare a determinate attività fisiche, come camminare, correre o pedalare, premiandoli tramite ricompense sotto forma di punti, sconti o altre forme di valore.

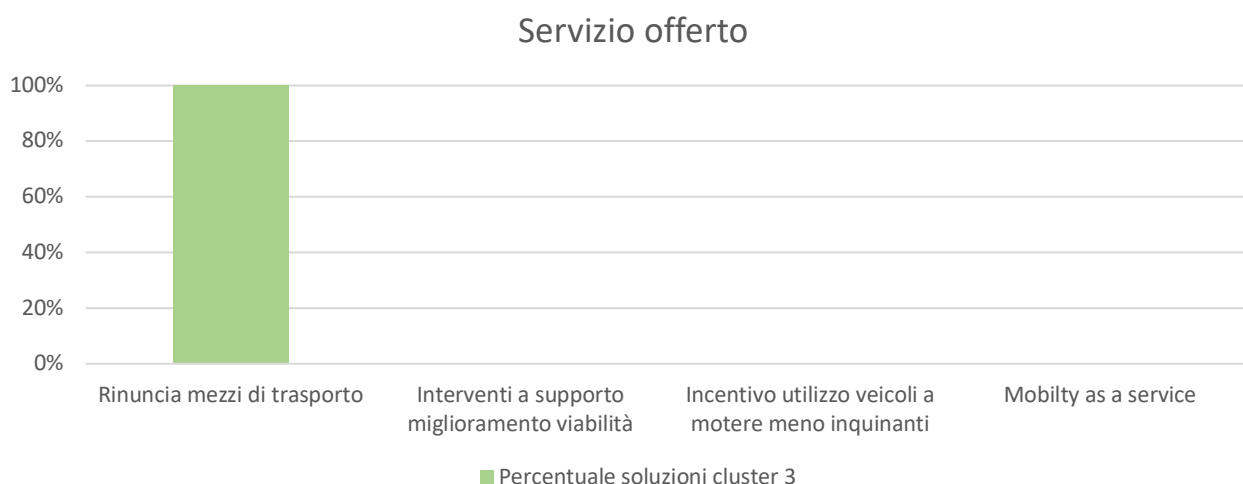


Figura 4.26: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 3-mobilità

In particolare, esse sono in grado di tenere traccia con elevata precisione dei passi o della distanza percorsa dagli utenti durante le attività di camminata o corsa, così da poterli premiare in maniera direttamente proporzionale all'impegno da essi profuso.

Il servizio offerto da queste applicazioni dà un ottimo contributo alle sostenibilità ambientale, in quanto incoraggia gli utenti a cambiare le proprie routine, muovendosi il più possibile a piedi anziché usare un veicolo a motore, quanto meno per i tragitti più brevi, riducendo l'uso di carburanti fossili e le emissioni di gas serra, aiutando così a mitigare il cambiamento climatico.

Nella figura 4.27, in particolare, sono sintetizzate le informazioni raccolte relative alle diverse strategie messe in atto dalle 13 applicazioni presenti nel cluster per attivare tale cambio comportamentale negli utenti.

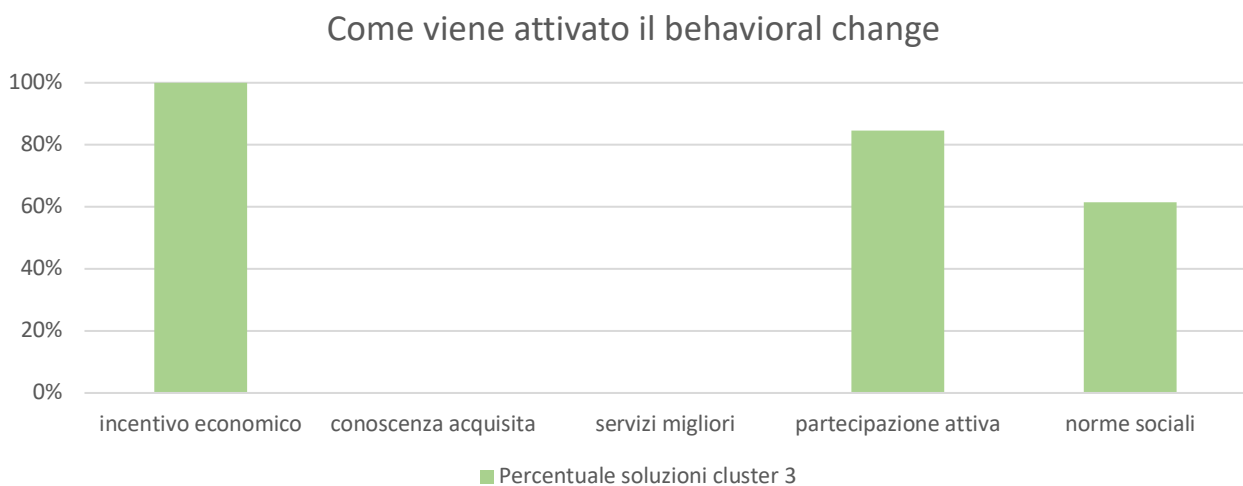


Figura 4.27: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 3-mobilità

Per quanto concerne l'incentivo economico, è già stato spiegato come ognuna di esse premi l'utente con delle ricompense di carattere economico direttamente proporzionali all'attività fisica svolta. Oltre a incentivare economicamente gli utenti però, alcune di queste app, promuovono anche l'interazione sociale tra di essi. Quest'ultimi possono connettersi con amici, familiari o altri utenti dell'app, condividere i propri risultati, pianificare e partecipare a sfide di gruppo o fornire supporto reciproco. Questo coinvolgimento sociale crea una comunità virtuale che motiva gli utenti a perseverare nelle loro azioni sostenibili, coinvolgendo attivamente gli individui e favorendo lo sviluppo di norme sociali favorevoli.

Analizzando le specifiche tecniche delle tredici applicazioni presenti nel cluster 3 (figura 4.28) si osserva come ognuna di esse ricorra all'utilizzo dell'IoT. Grazie all'IoT, è possibile utilizzare dispositivi connessi per monitorare e tracciare le attività fisiche degli utenti. Ad esempio, si possono utilizzare smartwatches, braccialetti fitness o il proprio smartphone per rilevare il numero di passi, la distanza percorsa, le calorie bruciate e altre metriche correlate. Questi dati vengono quindi utilizzati per valutare il raggiungimento degli obiettivi e fornire ricompense agli utenti.



Figura 4.28: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 3-mobilità

Oltre a ricorrere all'IoT il 69% delle piattaforme analizzate implementano al loro interno anche la tecnologia blockchain. Nella figura 4.29 viene sintetizzato il ruolo svolto da tale tecnologia all'interno delle nove applicazioni blockchain based individuate.

Essa registra e tiene traccia delle attività fisiche degli utenti in modo trasparente e immutabile. Questo assicura che le informazioni sulle attività siano verificabili e non possano essere alterate o manipolate, fornendo una base affidabile per il sistema di ricompense basato su token. Essi vengono guadagnati attraverso le attività fisiche degli utenti e possono essere utilizzati per ottenere benefici, prodotti o servizi all'interno dell'app o all'esterno. La blockchain garantisce la trasparenza e l'integrità del sistema di incentivi.

Inoltre, la blockchain fornisce anche una piattaforma per lo scambio dei token guadagnati. Gli utenti possono trasferire i loro token ad altri utenti o scambiarli con altre valute tradizionali in cambio di un prodotto o servizio. Essa registra queste transazioni di scambio, fornendo sicurezza e tracciabilità. Infine, in 3 delle 13 applicazioni presenti in questo cluster, la blockchain fornisce anche meccanismi di gestione dell'accesso ai dati. Gli utenti possono avere il controllo sulle autorizzazioni di accesso ai propri dati personali, decidendo quali informazioni condividere con terze parti o con altri utenti dell'app. La blockchain può utilizzare crittografia e chiavi private per garantire che solo le persone autorizzate possano accedere ai dati sensibili, permettendo agli utenti di mantenere il pieno controllo sui propri dati e di monetizzare da una eventuale loro vendita.

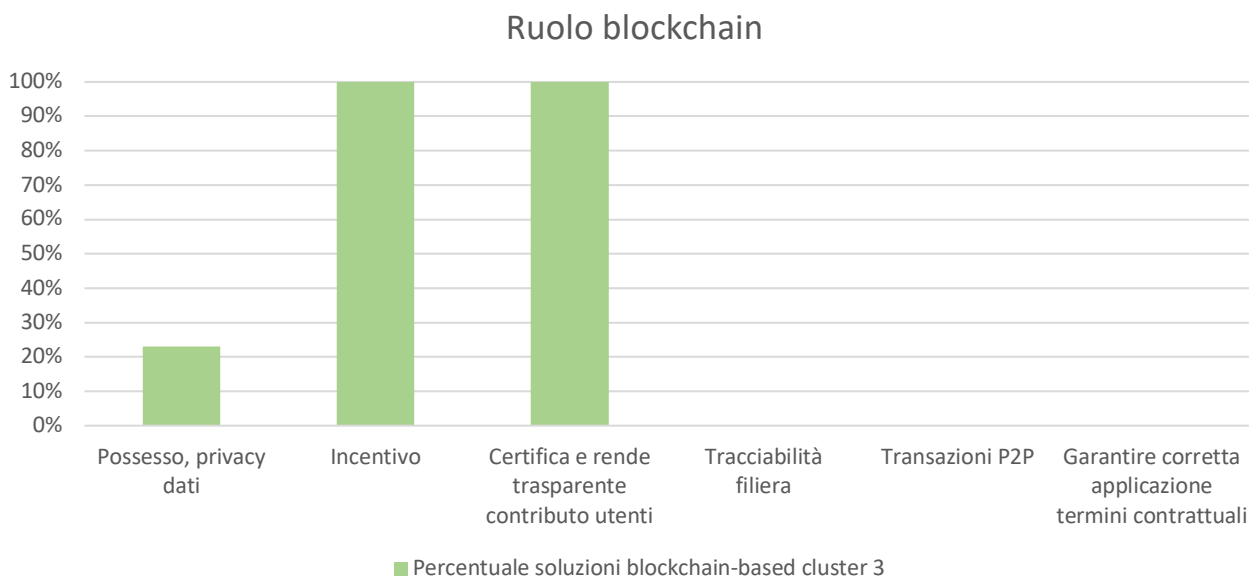


Figura 4.29: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 3-mobilità

L'utilizzo della blockchain permette di migliorare il servizio offerto agli utenti e di favorire l'attivazione di un loro cambio comportamentale, condizione imprescindibile per l'efficacia delle applicazioni move to earn.

Innanzitutto, essa permette la creazione di meccanismi incentivanti migliori rispetto ai tradizionali sistemi centralizzati. Come illustrato nelle sezioni 2.2.4 e 2.3.4, l'utilizzo della tecnologia blockchain consente di creare meccanismi di incentivazione mediante l'emissione automatizzata di token tramite gli smart contract presenti sulla piattaforma. Di conseguenza, le regole e le condizioni per l'assegnazione dei token diventano accessibili a tutti gli utenti che partecipano al servizio, e la corretta applicazione di tali regole viene garantita dall'immutabilità degli smart contract stessi. Questo approccio consente una gestione trasparente e sicura delle ricompense, promuovendo una distribuzione più equa e trasparente del valore generato all'interno del sistema.

Oltre a garantire minore trasparenza, i tradizionali sistemi di incentivi si limitano a premiare l'utente tramite voucher, codici sconto o coin virtuali il cui valore è confinato all'interno dell'applicazione, al di fuori di essa non hanno alcun valore. A questo fattore si aggiunge il fatto che ogni coin guadagnato non è di proprietà dell'utente a tutti gli effetti. O meglio, è associato al suo account ma esso non ne detiene i diritti: se l'applicazione per qualche motivo dovesse decidere di ritirare tali coin, l'utente perderebbe tutti i suoi guadagni, senza il diritto di recriminare il possesso.

La blockchain permette di risolvere questo problema. Tramite la tokenizzazione dei propri passi permette di creare dei veri e propri asset di proprietà esclusiva degli utenti, ognuno dei quali avrà un vero e proprio valore economico, dettato dalle leggi di domanda e offerta, che potranno essere acquistati o venduti, anche al di fuori dell'applicazione.

Oltre a fornire ricompense tramite l'emissione di token fungibili, queste applicazioni premiano gli utenti anche tramite la creazione di NFT. Come discusso nella sezione 2.3.4, Gli NFT sono token

digitali unici che rappresentano la proprietà di un elemento specifico, come un'opera d'arte digitale, un video, un pezzo di musica o un oggetto di gioco. Ogni NFT ha un identificatore unico che lo distingue da tutti gli altri. Gli NFT sono indivisibili e non sono intercambiabili uno con l'altro in modo diretto. Ciò significa che ogni NFT ha un valore unico e non può essere sostituito con un altro NFT in modo equivalente. In particolare, queste applicazioni permettono di creare, come ricompensa per l'attività fisica, scarpe digitali uniche da mostrare nel loro profilo utente e da utilizzare per potenziare la conta dei passi. Questi NFT possono essere creati in modo da essere visivamente attraenti e dettagliati, dando agli utenti un senso di proprietà e orgoglio nel possedere una scarpa digitale unica. L'utente sarà libero di tenerle, usarle ai fini del gioco o venderle in un marketplace dedicato.

Inoltre, le 3 applicazioni presenti nel cluster 3 che garantiscono all'utente il pieno controllo dei propri dati, elargiscono un ulteriore incentivo economico all'utilizzo dell'applicazione, permettendo a ogni utente di monetizzare ulteriormente la propria attività fisica attraverso la vendita dei propri dati generati durante l'attività a terze parti interessate.

Per concludere, è doveroso sottolineare come la possibilità di mantenere il controllo dei propri dati non si ripercuota solamente in incentivi economici maggiori. La garanzia della privacy dei dati relativi alle attività di ogni utente, unita alla garanzia della loro integrità, infatti, permette di creare un ambiente di maggiore fiducia all'interno della comunità, il quale favorisce una maggiore condivisione dei dati permettendo così di creare un registro condiviso e affidabile delle azioni di ogni utente, incoraggiando gli utenti a conformarsi alle norme sociali seguendo gli esempi positivi degli altri membri della comunità.

CLUSTER 4: All'interno del cluster 4 sono presenti 8 applicazioni, ognuna delle quali ha come obiettivo quello di incoraggiare i propri utenti ad assumere routine di spostamento maggiormente sostenibili, promuovendo l'utilizzo di mezzi di trasporto meno inquinanti rispetto alle tradizionali automobili (figura 4.30).

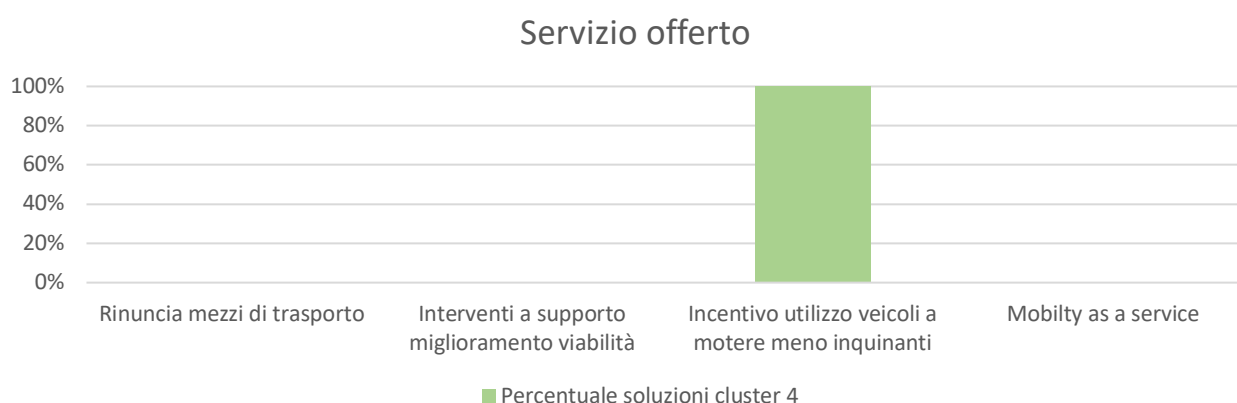


Figura 4.30: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 4-mobilità

In particolare, esse promuovono le pratiche di condivisione del viaggio con altre persone che percorrono la stessa tratta, come ad esempio la condivisione della macchina con i propri colleghi nel tragitto casa lavoro, o, più in generale, l'utilizzo di mezzi di trasporto maggiormente sostenibili, come gli autobus o le biciclette.

In maniera analoga con quanto visto nelle routine energetiche sostenibili (sezione 4.1), ognuna delle soluzioni presenti nel cluster mira a promuovere routine sostenibili negli utenti innescando in loro un cambio comportamentale (figura 4.31). Esso viene attivato mostrando agli utenti la CO2 risparmiata grazie alla mobilità sostenibile, fornendo ad essi incentivi economici direttamente proporzionali a tale risparmio, coinvolgendoli a una partecipazione attiva nella comunità attraverso discussioni, pianificazione dei passaggi nella mobilità condivisa e sfide interne e mostrando loro i risultati virtuosi ottenuti dagli altri membri della comunità, con l'obiettivo di innescare delle norme sociali favorevoli.

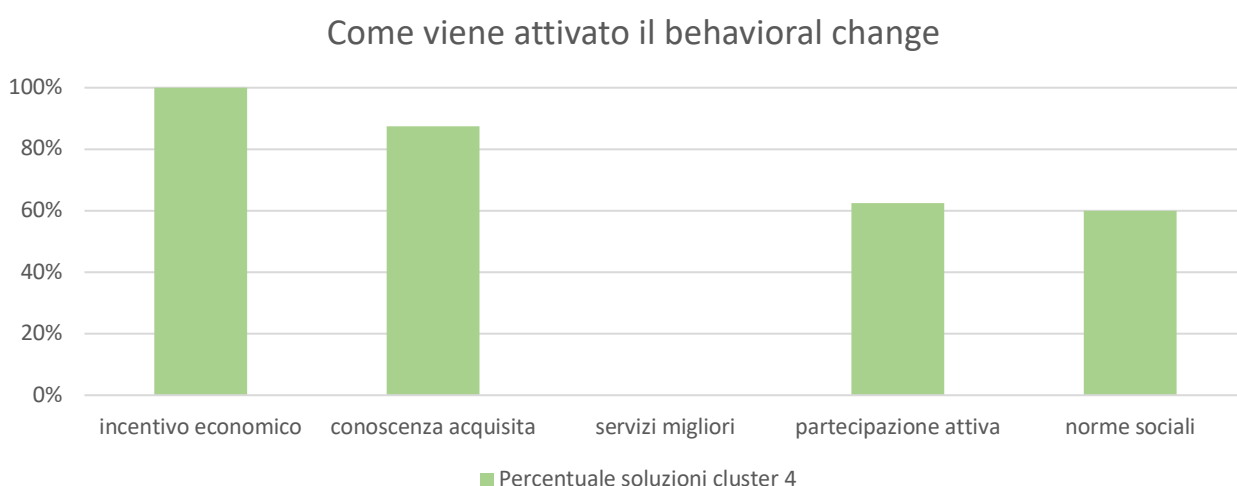


Figura 4.31: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 4-mobilità

Per quanto concerne lo studio delle tecnologie impiegate e del contributo della blockchain all'attivazione del cambio comportamentale promosso da tali applicazioni, si rimanda il lettore alla visione del cluster 6 all'interno del settore dell'energia (sezione 4.1), data l'elevata conformità presente tra i due cluster. Esso, infatti, contiene applicazioni che mirano a promuovere nei propri utenti routine energetiche sostenibili.

Di seguito, unicamente a titolo informativo, vengono esposti i grafici riassuntivi le informazioni raccolte in merito alle diverse tecnologie impiegate e al ruolo svolto dalla tecnologia blockchain nelle soluzioni presenti in questo cluster, in quanto alcuni valori percentuali differiscono da quelli presenti nel cluster di rimando.

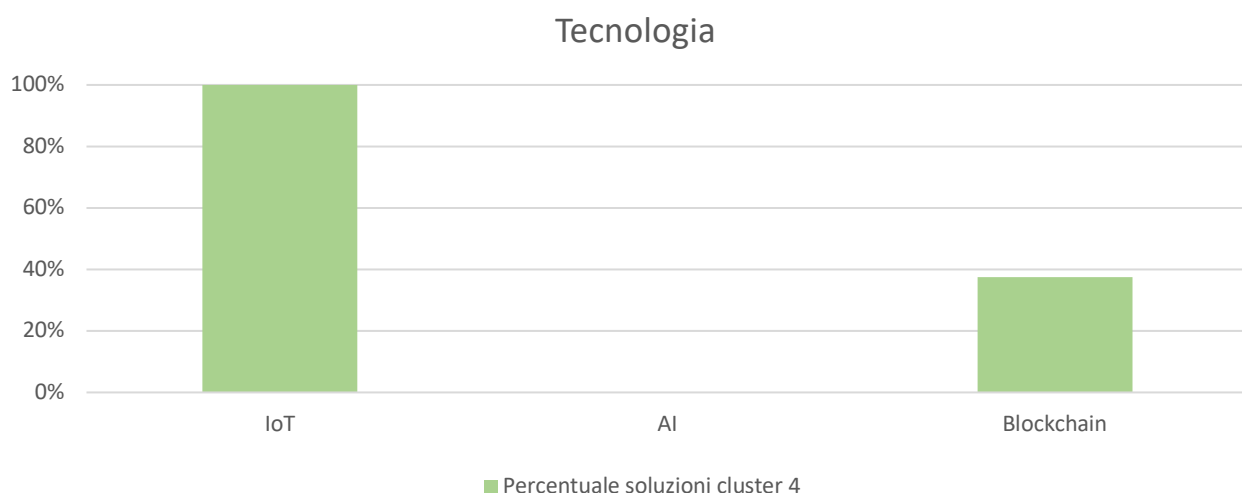


Figura 4.32: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 4-mobilità

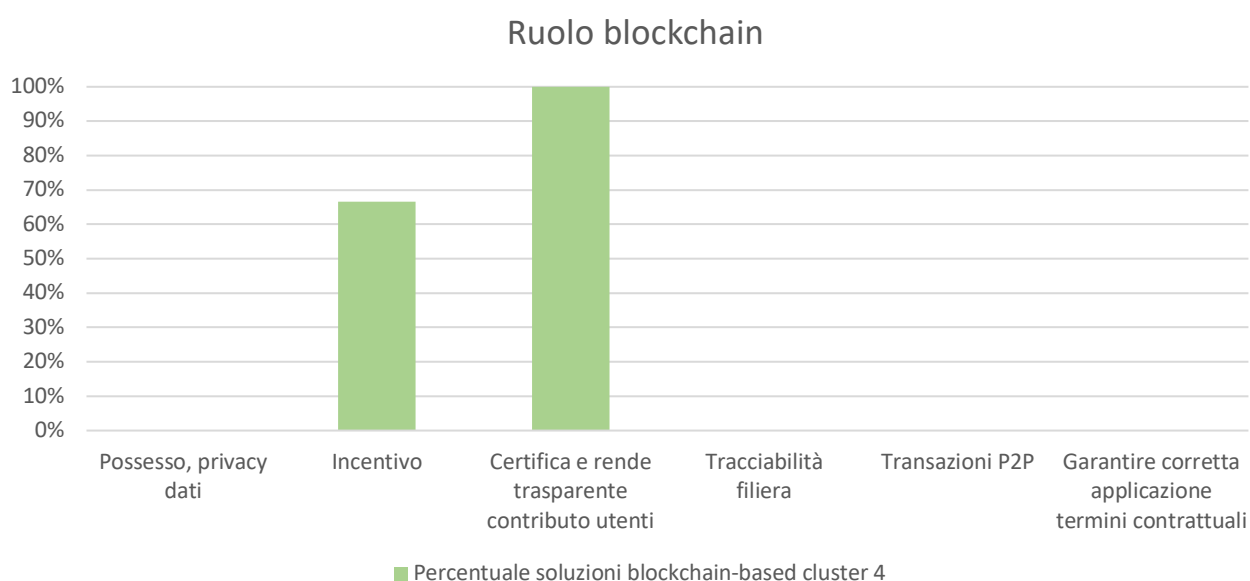


Figura 4.33: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 4-mobilità

4.4 Settore dei rifiuti

L'ultimo settore analizzato è quello dei rifiuti. In particolare, l'obiettivo di questa analisi, è quello di individuare le migliori soluzioni esistenti in grado di innescare una minore produzione di rifiuti, di fornire una migliore gestione dei loro processi di smaltimento e di favorire un loro riutilizzo,

seguendo i dogmi dell'economia circolare. L'attuazione di queste pratiche è di imprescindibile importanza per il raggiungimento di una maggiore sostenibilità ambientale: una gestione adeguata dei rifiuti evita lo smaltimento incontrollato o inappropriato, che può causare l'inquinamento del suolo, dell'acqua e dell'aria, riducendo l'emissione di sostanze tossiche nell'ambiente e proteggendo la salute umana e gli ecosistemi. Inoltre, La gestione sostenibile dei rifiuti può contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra. Ad esempio, il riciclaggio dei materiali consente di risparmiare energia e ridurre l'emissione di gas a effetto serra associata alla produzione di nuovi materiali. Inoltre, la decomposizione anaerobica dei rifiuti organici in discarica produce metano, un potente gas serra. Il compostaggio o la digestione anaerobica dei rifiuti organici possono evitare la formazione di metano e utilizzare i rifiuti per produrre energia rinnovabile.

Al fine di individuare in modo esaustivo le diverse famiglie di soluzioni appartenenti a questo settore, mirate a ridurre le emissioni ad esso correlate, sono state analizzate 54 diverse soluzioni.

Come fatto in precedenza con il settore dell'energia e dei trasporti, dopo aver individuato le soluzioni di interesse, si è proceduto con l'applicazione dell'algoritmo di clusterizzazione k-means.

Nella Tabella 4.5 è possibile vedere i risultati ottenuti. Si può notare la formazione di sei cluster differenti e i corrispondenti valori di R², AIC, BIC e Silhouette.

K-Means Clustering

Clusters	N	R ²	AIC	BIC	Silhouette
6	54	0.660	420.530	587.600	0.430

Tabella 4.5

Come già mostrato nei due settori analizzati in precedenza, anche in quest'ultima applicazione dell'algoritmo di clusterizzazione il numero di cluster è stato ottenuto applicando il metodo del gomito (figura 4.34).

Elbow Method Plot ▼

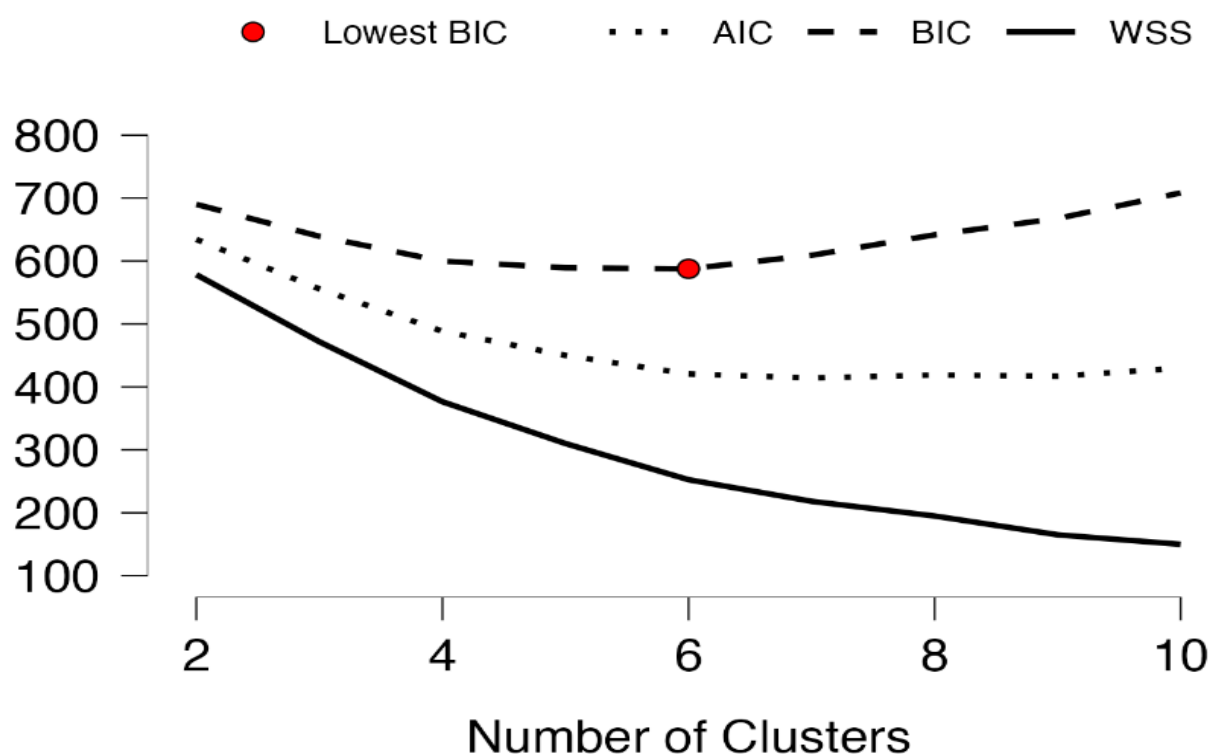


Figura 4.34: Elbow method plot-settore rifiuti

La Tabella 4.6 contiene informazioni dettagliate riguardanti le caratteristiche di ogni cluster. In particolare, sono presenti dettagli sulla dimensione, sull'eterogeneità e sul numero di Silhouette per ciascun cluster.

Cluster Information

Cluster	1	2	3	4	5	6
Size	9	12	8	10	9	6
Explained proportion within-cluster heterogeneity	0.074	0.210	0.076	0.297	0.258	0.085
Within sum of squares	18.711	52.973	19.287	75.119	65.098	21.340

Tabella 4.6

Nella figura 4.35 e nella figura 4.36 è possibile osservare rispettivamente i risultati ottenuti dall'applicazione dell'algoritmo k-means e le diverse famiglie di soluzioni corrispondenti a ogni cluster.

	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3	CLUSTER 4	CLUSTER 5	CLUSTER 6
Smaltimento rifiuti	100%	0%	0%	100%	38%	0%
Trasformazione rifiuto in risorsa	100%	0%	100%	0%	50%	40%
Product as a service	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Tracciamento filiera prodotto/rifiuto	67%	42%	0%	0%	0%	100%
Riduzione consumi, rifiuti e inquinanti	0%	100%	13%	63%	100%	80%
Blockchain	56%	0%	0%	70%	0%	100%
Behavioural change incentivo economico/ in game	100%	100%	13%	100%	0%	0%
Behavioural change conoscenza acquisita	33%	0%	88%	100%	0%	100%
Behavioural change interventi strutturali o servizi innovativi	0%	100%	13%	0%	0%	0%
Behavioural change partecipazione attiva	0%	42%	0%	14%	0%	0%
Behavioural change norme sociali	22%	0%	100%	29%	0%	0%
Ruolo dati comunicare contributo di un singolo individuo/iniziativa	100%	100%	100%	100%	0%	100%
Ruolo dati tracciare passaggio prodotti/valore tra diversi stakeholders/punti della filiera	100%	100%	0%	60%	0%	100%
Ruolo dati ottimizzazione interna	0%	0%	0%	0%	75%	0%

Figura 4.35: Risultato clusterizzazione-rifiuti

CLUSTER	Numerosità	Famiglia soluzioni	% impiego blockchain	Cambio comportamentale
1	9	Piattaforme deposit refund system	55,6 %	SI
2	12	Piattaforme product as a service	41,7 %	SI
3	8	Servizi trasformazione rifiuto in risorsa	NO	SI
4	7	Applicazioni che incoraggiano routine di riciclo sostenibile	71,4 %	SI
5	8	Tecnologie per diminuire sprechi/produzione inquinanti	NO	NO
6	5	Tracciamento filiera produzione/smaltimento prodotto	100%	SI

Figura 4.36: Famiglia soluzioni-rifiuti

Di seguito viene proposta un'analisi approfondita dei cluster che attivano un cambio comportamentale negli utenti e che, al tempo stesso, implementano la tecnologia blockchain, ovvero i cluster 1,4 e 6, così da poter identificare il contributo della blockchain nell'attivazione di tale cambio comportamentale.

In particolare, per ognuno dei cluster analizzati, si procederà ad analizzare la famiglia di soluzioni corrispondente a tale cluster, le strategie impiegate per attivare il behavioral change e le specifiche

tecniche delle diverse soluzioni, prestando particolare attenzione al ruolo svolto dalla tecnologia blockchain.

CLUSTER 1: il primo cluster individuato all'interno di questo settore contiene 9 soluzioni, ognuna delle quali appartiene alla famiglia di soluzioni deposit refund system. I deposit refund system, o sistemi di restituzione dei depositi, sono meccanismi utilizzati per incentivare la raccolta e il riciclaggio dei contenitori di bevande, come bottiglie di plastica, lattine o bottiglie di vetro.

Questi sistemi prevedono l'applicazione di un deposito aggiuntivo sul prezzo di vendita delle bevande in contenitori, che viene restituito ai consumatori quando restituiscono i contenitori vuoti presso i punti di raccolta designati. In genere, i consumatori possono riportare i contenitori vuoti ai supermercati, alle stazioni di servizio o ai distributori automatici e ricevere un rimborso pari all'importo del deposito pagato.

I deposit refund system hanno diversi obiettivi e vantaggi (figura 4.37). Innanzitutto, incentivano i consumatori a restituire i contenitori invece di gettarli nell'ambiente o nei normali rifiuti domestici, promuovendo così il riciclaggio e riducendo l'inquinamento da rifiuti. Inoltre, favoriscono il recupero dei materiali delle bottiglie e delle lattine, consentendo di riutilizzarli o riciclarli per produrre nuovi contenitori, riducendo così l'estrazione di risorse naturali. Infine, contribuiscono a fornire tracciabilità al percorso del rifiuto: ogni contenitore soggetto al deposito può essere identificato in modo univoco. Ciò può avvenire attraverso l'uso di codici a barre, codici QR o altre tecnologie di identificazione. Questa identificazione consente di tenere traccia di ogni contenitore durante il suo ciclo di vita, dalla produzione alla restituzione.

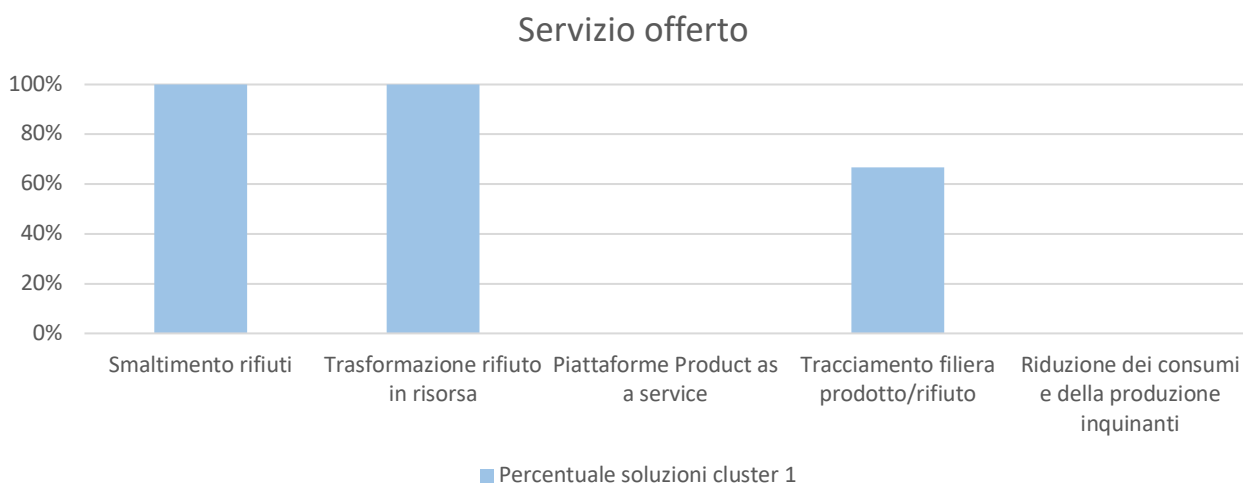


Figura 4.37: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 1-rifiuti

Il coinvolgimento dei cittadini nei deposit refund system è fondamentale per il successo di tali programmi, in quanto devono cambiare le loro tradizionali abitudini di smaltimento dei rifiuti. Non è più sufficiente che smaltiscano il rifiuto seguendo semplicemente i principi della raccolta differenziata, bensì devono assicurarsi di cestinare il prodotto esclusivamente in uno dei distributori preposti, o di restituirlo alla stazione di servizio adibita, a seconda di come è sviluppato il programma di deposito. Di seguito viene illustrato come venga attivato tale cambio comportamentale nei cittadini (figura 4.38).

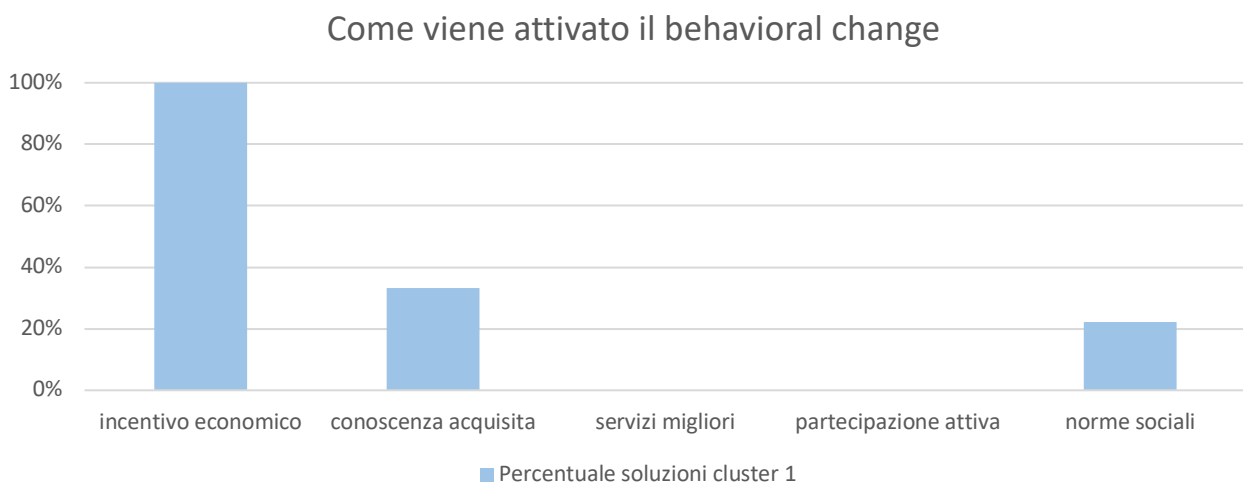


Figura 4.38: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 1-rifiuti

Il principale incentivo per gli utenti è il rimborso del deposito pagato inizialmente all'acquisto dei contenitori di bevande. Come spiegato in precedenza, quando gli utenti restituiscono i contenitori vuoti ai punti di raccolta designati, ricevono un rimborso pari all'importo del deposito. Questo incentivo economico motiva gli utenti a partecipare attivamente al programma di riciclaggio.

Inoltre, due delle nove applicazioni esaminate, incentivano gli utenti anche mostrando loro, volta per volta, quanto materiale complessivamente hanno riciclato e i relativi benefici apportati all'ambiente, così da aumentare in loro la consapevolezza dell'importanza di tale attività. Queste stesse applicazioni, oltre a mostrare al singolo individuo il proprio contributo, condividono con la comunità i risultati raggiunti dagli utenti maggiormente virtuosi, con l'obiettivo di promuovere la diffusione di norme sociali favorevoli al cambiamento comportamentale.

Analizzando le informazioni raccolte circa le specifiche tecnologiche di ogni soluzione appartenente a questo cluster, riassunte nella figura 4.39, osserviamo come tutte le piattaforme ricorrano all'uso dell'IoT. I sensori IoT possono essere installati nei distributori automatici per consentire agli utenti di individuare i punti di raccolta più vicini, oppure per monitorare il loro stato e inviare notifiche in tempo reale sul livello di riempimento dei contenitori. Ciò consente ai gestori del sistema di

raccogliere dati accurati sulle necessità di rifornimento dei distributori e di intervenire tempestivamente per svuotarli o riempirli. Inoltre, l'IoT può essere utilizzato per autenticare il contenitore da riciclare e per rilevare il suo effettivo deposito all'interno del distributore, permettendo così di certificare l'avvenuto riciclo.

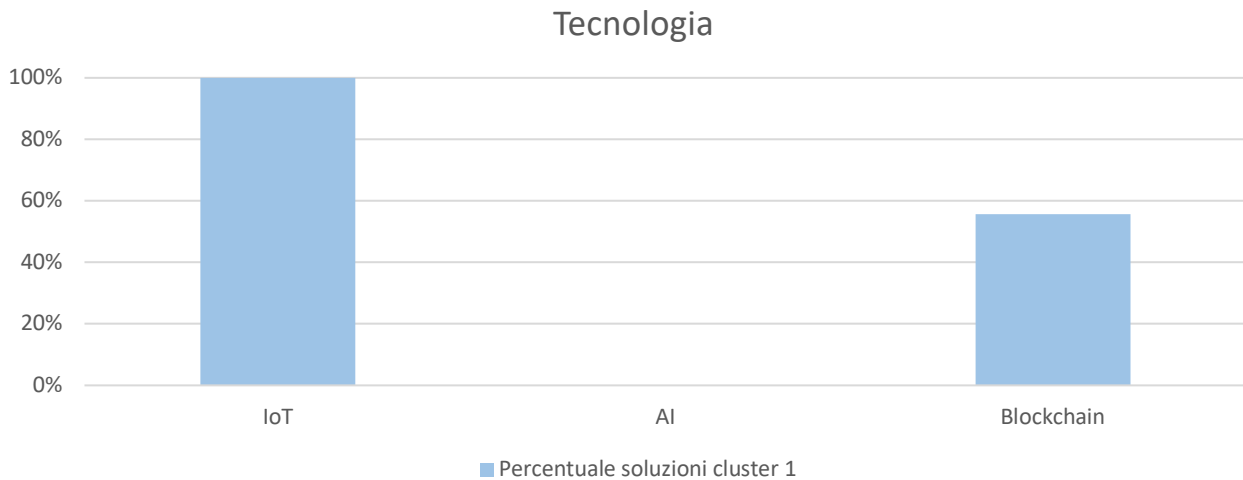


Figura 4.39: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 1-rifiuti

Oltre a ricorrere all'uso dell'IoT, cinque applicazioni delle nove totali, utilizzano anche la tecnologia blockchain.

Essa è in grado di fornire la tutela delle informazioni più sensibili presenti sugli account dei diversi utenti, impedendo, ad esempio, all'erogatore del servizio di vedere i nomi degli utenti che depositano i rifiuti, permette di certificare l'avvenuto deposito registrando sulla piattaforma un record immutabile e trasparente contenente tutti i dettagli del deposito, permette di implementare programmi equi trasparenti di incentivazione basati sui token e di garantire la sicurezza delle transazioni che li vedono coinvolti e, infine, permette di tracciare l'intero percorso dei rifiuti dal momento del deposito fino alla restituzione. Ogni transazione di deposito viene registrata sulla blockchain, consentendo una visibilità completa e trasparente delle operazioni. Questa tracciabilità aiuta a garantire che i rifiuti siano correttamente gestiti e che il processo di riciclo sia seguito secondo le normative e le politiche stabilite.

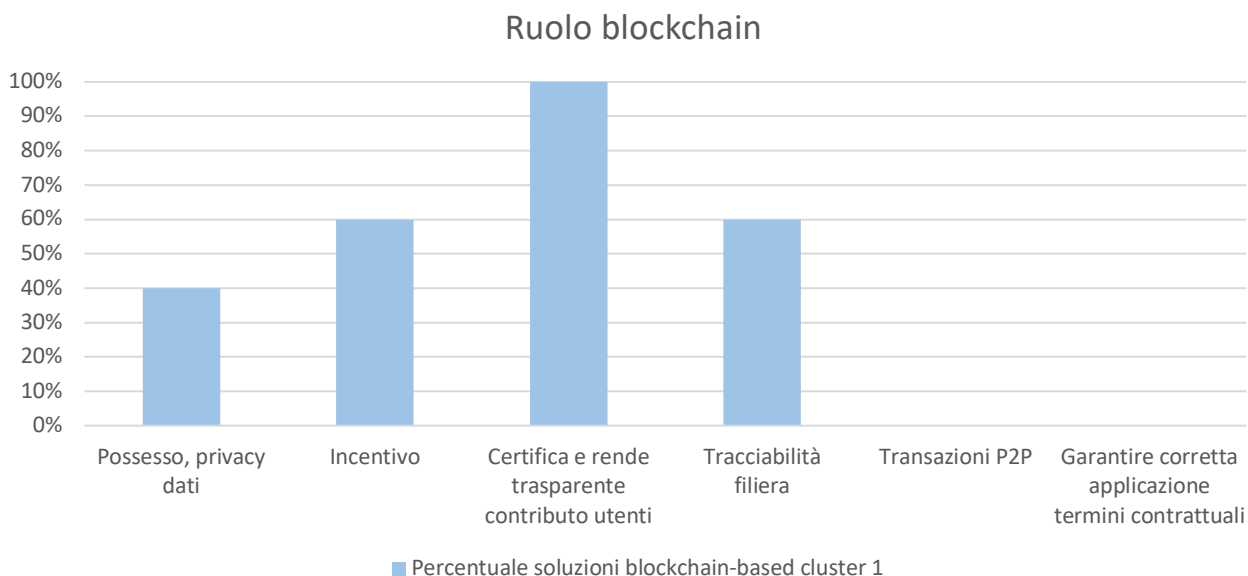


Figura 4.40: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 1-rifiuti

Incrociando i risultati inerenti alle analisi svolte in merito alle tecniche con le quali le diverse applicazioni attivano un cambio comportamentale negli utenti e sul ruolo svolto dalla blockchain nelle cinque applicazioni nella quale essa è presente, si possono trarre delle conclusioni interessanti sul contributo di quest'ultima nell'attivare un behavioral change negli utenti.

Come ampiamente discusso nelle sezioni precedenti, la blockchain è in grado di creare sistemi di incentivi migliori rispetto ai tradizionali sistemi centralizzati, in quanto è in grado di offrire un sistema di retribuzione maggiormente equo e trasparente e di fornire ricompense sotto forma di asset di proprietà esclusiva dell'utente ricompensato aventi valore economico anche al di fuori dell'applicazione.

Inoltre, consentendo di registrare in modo trasparente e immutabile le attività legate alla raccolta e al riciclo dei contenitori, la blockchain consente agli utenti di monitorare il proprio contributo e di vedere nel dettaglio come la loro partecipazione influisce in termini di risparmio di CO₂. La possibilità di tracciare il percorso della plastica dal momento della raccolta alla sua destinazione finale, infatti, può creare una maggiore consapevolezza sull'importanza della corretta gestione dei rifiuti, contribuendo ad attivare un cambio comportamentale.

CLUSTER 2: il cluster 2, con 12 applicazioni, è il più numeroso del settore dei rifiuti. Ognuna di esse, come mostrato nella figura 4.41, ha come obiettivo quello di favorire la diffusione del modello di business Product as a Service. Il modello di business Product-as-a-Service (PaaS) è un approccio in cui un'azienda o un singolo individuo offre i suoi prodotti come un servizio a pagamento, anziché

venderli come beni fisici. Invece di acquistare il prodotto, i clienti pagano per l'uso o il consumo del prodotto per un lasso di tempo. Questo modello di business si sta diffondendo in diversi settori, come l'elettronica di consumo, il settore dell'arredamento e, in particolare, nel settore della moda. Tale approccio può contribuire alla sostenibilità ambientale riducendo la produzione e lo spreco di prodotti. Invece di acquistare un nuovo prodotto, i clienti noleggianno prodotti già presenti sul mercato e li utilizzano solo per l'arco di tempo nel quale ne hanno realmente bisogno, permettendo di diminuire l'emissioni dovute alla produzione di nuovi prodotti e la produzione di rifiuti dovuta al mancato utilizzo di un bene acquistato.



Figura 4.41: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 2-rifiuti

Ognuna delle applicazioni all'interno del cluster basa la propria efficacia sull'attivazione di un cambio comportamentale nei cittadini (figura 4.42). È necessario, infatti, che i cittadini abbraccino una mentalità di condivisione delle risorse, rinunciando al possesso fisico dei beni a favore di un semplice utilizzo di essi nel momento in cui ne hanno realmente bisogno. Tale behavioral change viene innescato innanzitutto grazie allo sviluppo di applicazioni abilitanti, in grado di agevolare la transizione dal possesso all'utilizzo condiviso dei prodotti, permettendo alle persone di noleggiare temporaneamente i prodotti messi a disposizione da un'azienda o da altri singoli individui aderenti al servizio.

In secondo luogo, con il modello Product-as-a-Service i clienti non devono affrontare i costi iniziali per l'acquisto del prodotto, bensì pagano un canone periodico o un abbonamento direttamente proporzionale all'arco di tempo nel quale usufruiscono del prodotto stesso, permettendo loro di ottenere un risparmio economico rilevante. Inoltre, nelle applicazioni che permettono ai singoli utenti di noleggiare i propri prodotti, essi vengono incoraggiati tramite un pagamento in denaro a mettere a disposizione degli altri utenti i propri prodotti.

Infine, il 42 % delle soluzioni analizzate, permettono agli utenti di condividere con gli altri utenti ricordi e note personali sui prodotti che sono passati tra le loro mani, favorendo una loro maggiore partecipazione attiva al servizio.

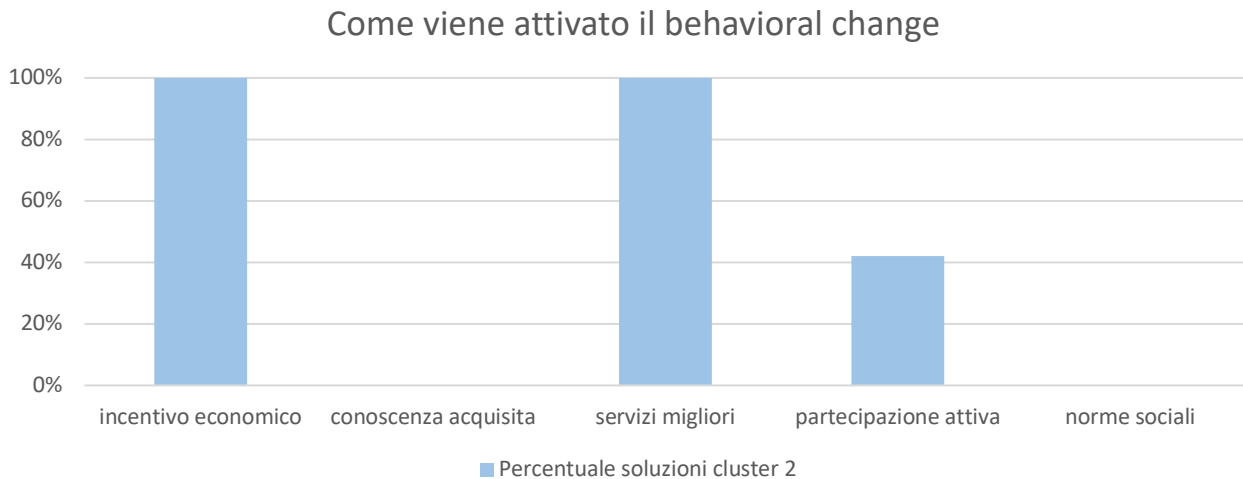


Figura 4.42: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 2-rifiuti

Nella figura 4.43, invece, è possibile osservare le informazioni raccolte in merito alle specifiche tecniche delle diverse applicazioni presenti nel cluster 2.

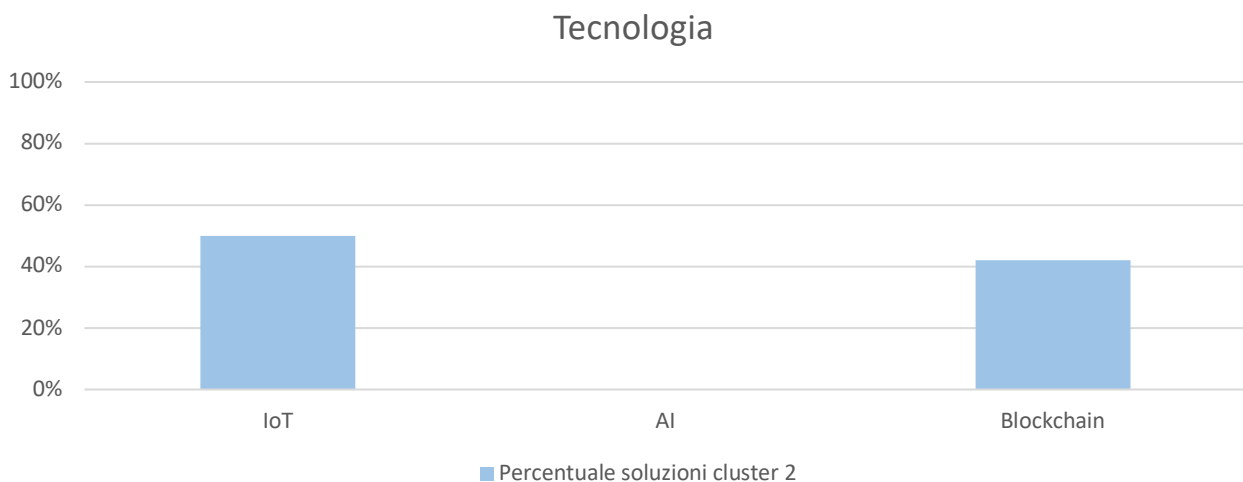


Figura 4.43: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 2-rifiuti

Il 50 % delle soluzioni analizzate ricorre all'impiego di dispositivi IoT per migliorare il servizio offerto. Grazie alla tecnologia IoT è possibile monitorare in tempo reale la posizione e lo stato dei prodotti. Ciò semplifica la gestione dell'inventario, consentendo alle aziende di monitorarne l'uso, il ritorno e la disponibilità in modo più accurato e automatizzato. Inoltre, può contribuire a garantire la tracciabilità e la sicurezza dei prodotti noleggiati. I sensori possono essere utilizzati per rilevare la posizione dei prodotti, proteggerli da furti o smarrimenti e monitorare il loro movimento durante il noleggio. Ciò offre una maggiore sicurezza per i prodotti di valore e riduce il rischio di perdite o danni, oltre a fornire all'utente, per ognuno dei prodotti noleggiati, una panoramica dei noleggi precedenti. Cinque delle sei soluzioni che si avvalgono dell'utilizzo dell'IoT ricorrono anche all'impiego della tecnologia blockchain. Quest'ultima permette la creazione di un certificato digitale univoco, ovvero un documento crittografico registrato in modo immutabile su una blockchain, per ognuno dei

prodotti a noleggio, permettendo di garantirne l'autenticità e la non manipolabilità dei dati relativi alle sue caratteristiche. Inoltre, essa permette di garantire l'autenticità e l'immutabilità dei dati raccolti dai dispositivi IoT relativi agli spostamenti e ai diversi passaggi di proprietà dei prodotti noleggiati, permettendo di fornire una panoramica completamente trasparente e veritiera dello storico dei noleggi precedenti.

Inoltre, in una delle cinque applicazioni che utilizzano la blockchain, quest'ultima si occupa anche della gestione delle transazioni e di eventuali sinistri tra utenti, coordinando lo scambio del prodotto tra l'utente interessato e l'utente intento a metterlo a disposizione per il noleggio, eliminando la necessità di un intermediario che certifichi e garantisca il corretto svolgimento di quest'ultime.

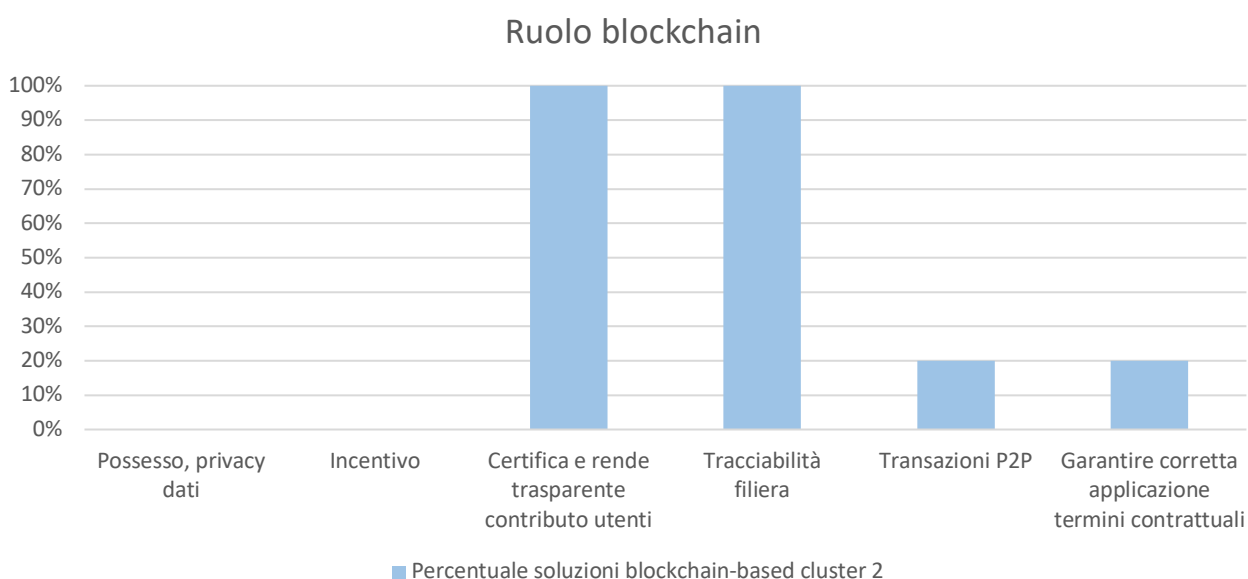


Figura 4.44: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 2-rifiuti

Nel complesso, nelle piattaforme Product as a service, la blockchain contribuisce all'attivazione di un cambio comportamentale negli utenti principalmente favorendo la creazione di un servizio migliore. Utilizzando una blockchain, le piattaforme di noleggio possono registrare e verificare l'autenticità dei prodotti che vengono noleggiati. Ciò può prevenire frodi e fornire agli utenti la certezza che stanno noleggiando prodotti genuini. Inoltre, la tracciabilità dei prodotti sulla blockchain consente di monitorare il loro ciclo di vita con maggiore trasparenza. Per ognuno di essi sarà consultabile una cronologia in divenire, in costante aggiornamento contenente le informazioni sui clienti che si sono avvicendati nell'usarlo, con il risultato di ricostruire una dettagliata biografia di ogni prodotto.

La blockchain può essere utilizzata anche per creare e gestire l'identità digitale degli utenti delle piattaforme di noleggio, riducendo il rischio di frodi di identità e agevolando la creazione di profili affidabili, tema fondamentale soprattutto nelle piattaforme che abilitano il noleggio tra privati e non tra privato e azienda.

Infine, nell'applicazione all'interno della quale la blockchain si occupa anche della convalida e della gestione di eventuali controversie delle transazioni, sostituendosi alla figura dell'intermediario tipica

dei modelli centralizzati, essa contribuisce ulteriormente alla creazione di un servizio migliore. Un sistema basato su blockchain, infatti, può utilizzare i cosiddetti smart contract, che sono contratti digitali autoeseguibili. Questi contratti sono scritti nel codice della blockchain e si attivano automaticamente quando si verificano determinate condizioni predefinite. Ad esempio, un contratto di noleggio potrebbe essere programmato per attivare il pagamento quando il prodotto viene restituito. Gli smart contract eliminano la necessità di fidarsi di terze parti, automatizzando e rendendo maggiormente trasparenti le regole di risoluzione di eventuali controversie, infondendo così maggiore fiducia e tranquillità negli utenti. La decentralizzazione, oltre a fornire maggiore trasparenza, offre anche una maggiore autonomia agli utenti, tramite un controllo diretto sulle interazioni commerciali, e una riduzione dei costi dovuta all'eliminazione delle commissioni da fornire agli intermediari.

CLUSTER 4: all'interno del cluster 4 sono presenti 7 soluzioni, ognuna delle quali mira a promuovere negli utenti uno stile di vita maggiormente sostenibile, in termini di riduzione nella produzione dei rifiuti e corretto riciclaggio, permettendo di ridurre l'inquinamento atmosferico, acquatico e del suolo e l'impiego di energia per la produzione di nuovi prodotti (figura 4.41).



Figura 4.45: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 4-rifiuti

In particolare, è possibile individuare due sottocategorie di piattaforme. La prima sottocategoria contiene tre applicazioni aventi l'obiettivo di attivare negli utenti delle routine maggiormente virtuose in termini di corretto riciclaggio dei rifiuti. Queste soluzioni introducono un cambio di paradigma, per il quale non va punito chi non ricicla, ma bensì incentivato positivamente colui che compie gesti virtuosi.

La seconda sottocategoria, invece, contiene soluzioni di tariffa puntuale dei rifiuti. La tariffa puntuale dei rifiuti, nota anche come "tariffa variabile" o "tariffa a consumo", è un sistema di tassazione che prevede il pagamento di una tariffa in base alla quantità di rifiuti indifferenziati prodotti da un'unità abitativa o da un'azienda. A differenza delle tradizionali tariffe fisse, in cui viene pagata una somma fissa indipendentemente dalla quantità di rifiuti generati, la tariffa puntuale si basa sul principio "chi inquina paga".

Il concetto alla base della tariffa puntuale è quello di creare un incentivo economico per ridurre i rifiuti e promuovere pratiche di riciclo. Pagare una tariffa più alta per una maggiore quantità di rifiuti prodotti incoraggia le persone a essere più consapevoli dei propri comportamenti di consumo e a cercare modi per ridurre la quantità di rifiuti generati.

La tariffa puntuale può essere implementata in diversi modi. In alcuni casi, vengono utilizzati contenitori per la raccolta dei rifiuti dotati di microchip o dispositivi di identificazione che misurano la quantità di rifiuti gettati. Questi dati vengono poi utilizzati per calcolare la tariffa da pagare. In altri casi, vengono utilizzati sacchetti o etichette prepagate con un costo specifico per ciascun sacchetto o contenitore.

Entrambe le sottocategorie basano l'efficacia del proprio servizio sull'attivazione di un behavioral change negli utenti, promuovendo nei cittadini una maggiore dedizione al riciclo e un minore consumismo, che a sua volta si ripercuote su una minore generazione di rifiuti.

Come si osserva nella figura 4.42, ognuna di esse promuove tale cambiamento fornendo un incentivo economico agli utenti. Questo incentivo può essere di due tipi: nel caso dei servizi di tariffa puntuale è dato dal risparmio ottenuto nella tassa sui rifiuti, mentre nelle routine sostenibili di riciclo è rappresentato da un premio economico corrisposto agli utenti a ogni riciclo.

Tutte le applicazioni abilitano tale cambiamento comportamentale anche mostrando a ogni utente il risparmio di emissioni di CO₂ derivante dalle sue azioni, così da generare in loro maggiore consapevolezza dell'importanza di tale comportamento.

Inoltre, le applicazioni appartenenti alla sottocategoria delle routine di riciclo sostenibile condividendo i risultati dei cittadini maggiormente virtuosi con l'intera comunità, così da favorire la nascita di norme sociali favorevoli al cambiamento.

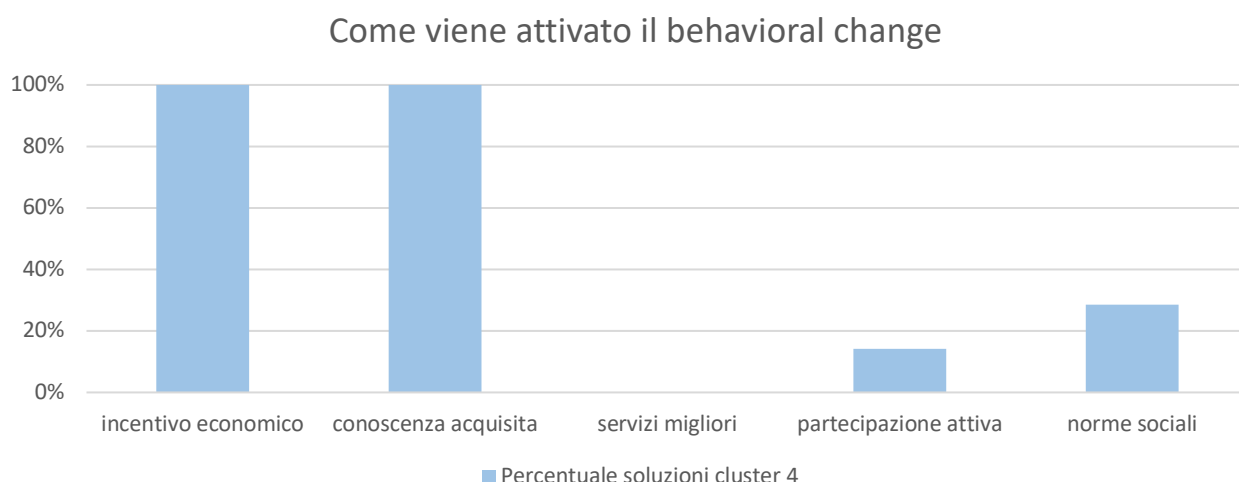


Figura 4.46: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 4-rifiuti

Per quanto riguarda lo studio delle specifiche tecniche delle applicazioni appartenenti a questo cluster si rimanda il lettore alla visione del cluster 6 all'interno del settore dell'energia (sezione 4.1), data l'elevata conformità presente tra le 2 famiglie di soluzioni.

Unicamente a titolo informativo, vengono esposti i grafici riassuntivi le informazioni raccolte in merito alle diverse tecnologie impiegate e al ruolo svolto dalla tecnologia blockchain nelle soluzioni analizzate, in quanto alcuni valori percentuali differiscono da quelli presenti nel cluster di rimando.

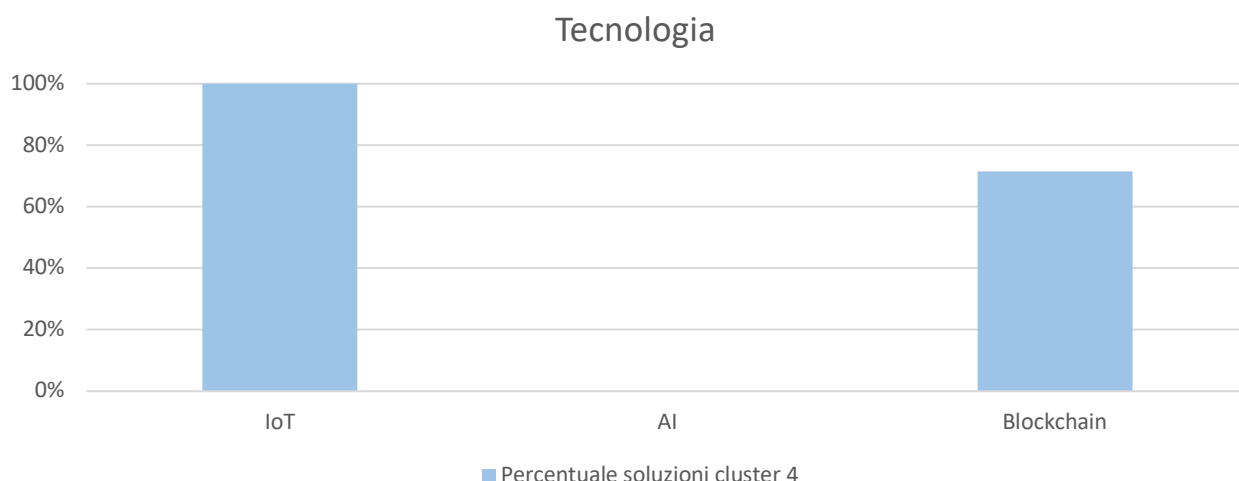


Figura 4.47: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 4-rifiuti

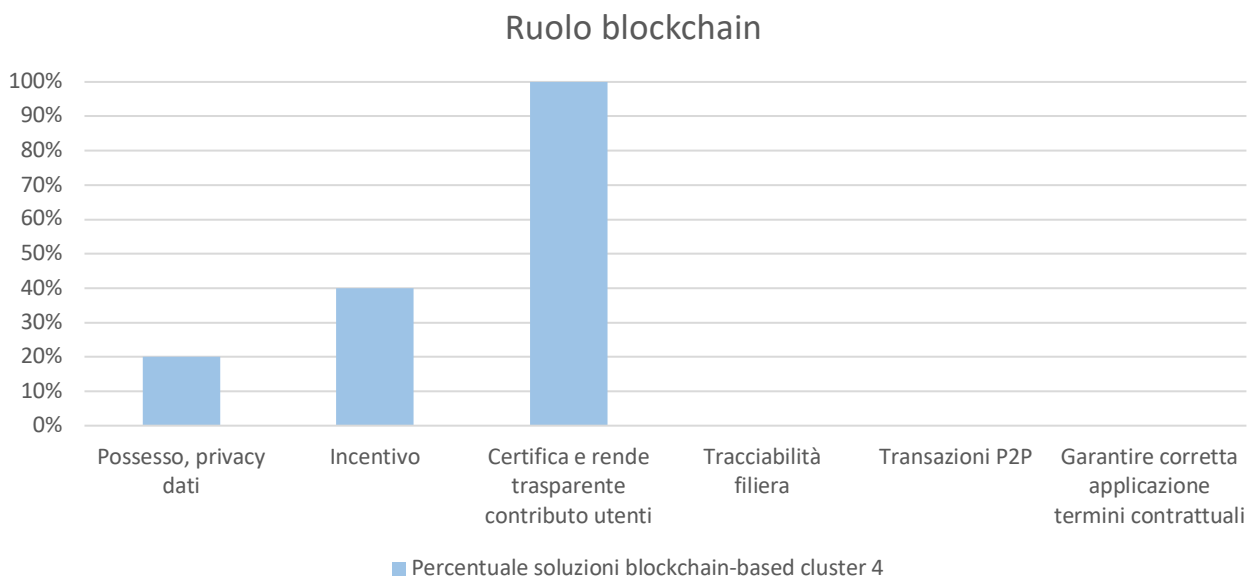


Figura 4.48: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 4-rifiuti

CLUSTER 6: il cluster 6, con cinque soluzioni, è il cluster meno numeroso del settore dei rifiuti. Ognuna delle soluzioni al suo interno ha come obiettivo quello di fornire maggiore tracciabilità alle filiere produttive, in maniera tale da poter certificare quelle maggiormente sostenibili.

In particolare, è possibile identificare tre diverse sottocategorie di piattaforme.

La prima si occupa di tracciare tutte le fasi del ciclo di vita dei rifiuti, dallo smaltimento al recupero dei prodotti, la seconda si occupa di tracciare La Filiera Agro-Alimentare, tracciando i prodotti dall'origine fino al consumatore finale, mentre la terza si pone l'obiettivo di tracciare la filiera del tessile, garantendo l'autenticità e la provenienza dei tessuti sostenibili.

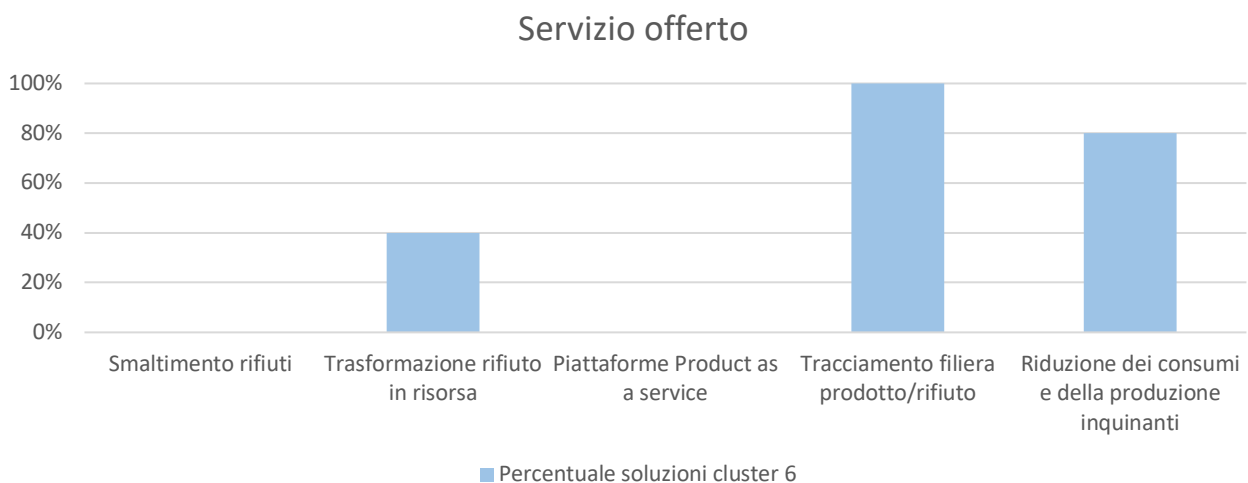


Figura 4.49: Statistiche servizio offerto soluzioni cluster 6-rifiuti

Come si può osservare nella figura 4.45 tutte le soluzioni esaminate, coerentemente con quanto appena detto, si occupano di fornire tracciabilità alla filiera dei prodotti o dei rifiuti. Il tracciamento della filiera, a sua volta, contribuisce, nel 40% dei casi, al corretto riciclo dei materiali nel caso delle piattaforme di tracciamento della filiera dei rifiuti e, nell'80% dei casi, alla riduzione della produzione di inquinanti grazie al tracciamento della filiera tessile e alimentare.

Certificando la filiera di riciclo dei materiali, infatti, queste soluzioni permettono di garantire la correttezza del processo di trasformazione del rifiuto in risorsa, trasmettendo maggiore credibilità e favorendo l'affermarsi del mercato del riciclo.

Allo stesso modo, il tracciamento della filiera alimentare e tessile permette di certificare e di favorire la diffusione dei processi produttivi più sostenibili in termini di rispetto per l'ambiente.

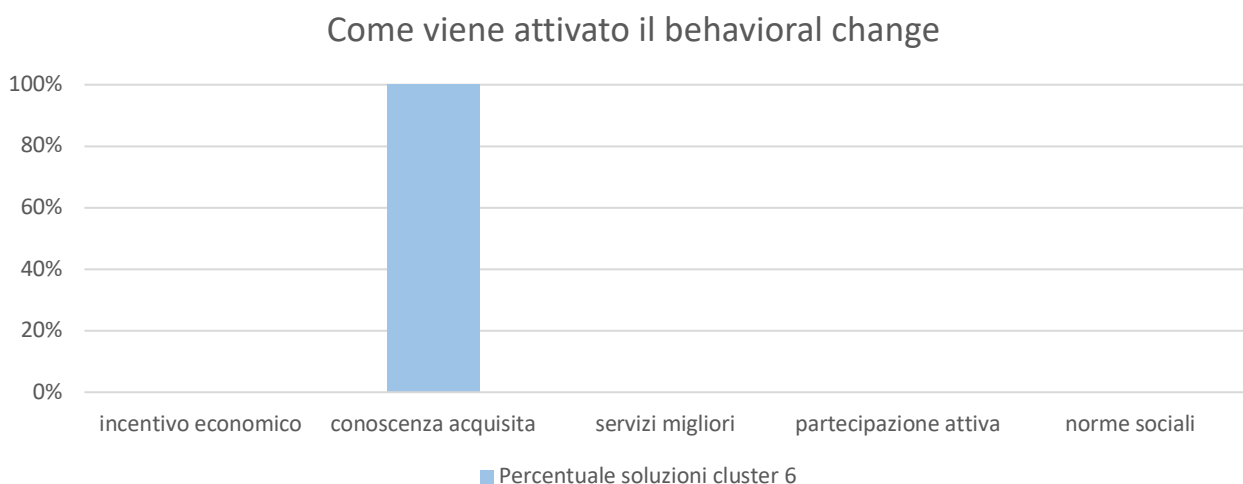


Figura 4.50: Statistiche tecniche attivazione behavioral change soluzioni cluster 6-rifiuti

Tutte le soluzioni analizzate hanno come obiettivo quello di attivare un cambio comportamentale nei cittadini, portandoli ad acquistare il più possibile prodotti provenienti da una filiera maggiormente sostenibile, a costo magari di andare in un supermercato un po' più distante da casa ma maggiormente fornito di prodotti ecosostenibili o di indossare solamente capi appartenenti a marchi sensibili al tema.

In particolare, fornendo informazioni chiare e accessibili su tutti i passaggi dei prodotti lungo la filiera, puntano a creare maggiore consapevolezza nei cittadini e a promuovere un comportamento responsabile.

Analizzando le informazioni riassunte nella figura 4.47, si osserva come tutte le soluzioni appartenenti a questo cluster ricorrano all'utilizzo dell'IoT. I dispositivi IoT possono essere utilizzati per monitorare i movimenti e i trattamenti dei materiali lungo la filiera. Ad esempio, i rifiuti possono

essere dotati di tag RFID (Radio Frequency Identification) o di sensori che consentono di registrare i loro spostamenti, dalla raccolta iniziale fino al trattamento finale. Questi dati possono essere raccolti in tempo reale, consentendo una visione accurata e immediata della posizione dei materiali e del loro stato. Inoltre, i sensori IoT possono essere utilizzati per monitorare parametri critici inerenti allo stato del prodotto, come la temperatura e l'umidità, o inerenti la sostenibilità della filiera come i consumi energetici, la gestione efficiente dell'uso dell'acqua, le emissioni di gas serra e l'uso di pesticidi o fertilizzanti.

Oltre all'impiego dell'IoT, tutte le soluzioni presenti ricorrono anche all'utilizzo della tecnologia blockchain. Utilizzando la tecnologia blockchain, i dati possono essere registrati e condivisi in modo sicuro e trasparente tra i partecipanti alla filiera. Ciò consente di verificare l'autenticità e l'integrità dei dati, garantendo una tracciabilità affidabile dei materiali e delle operazioni lungo il percorso.

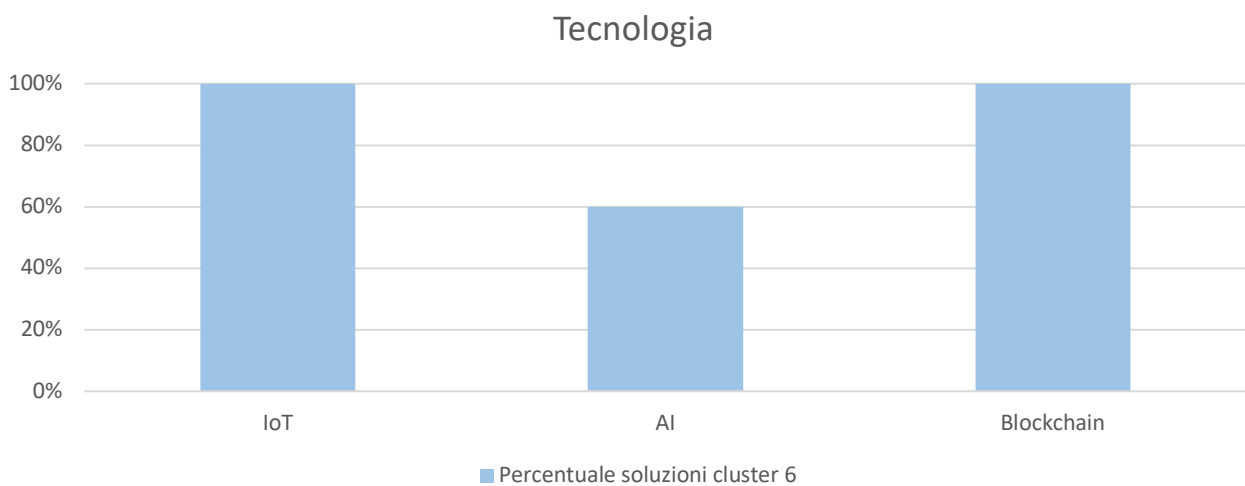


Figura 4.51: Statistiche specifiche tecniche soluzioni cluster 6-rifiuti

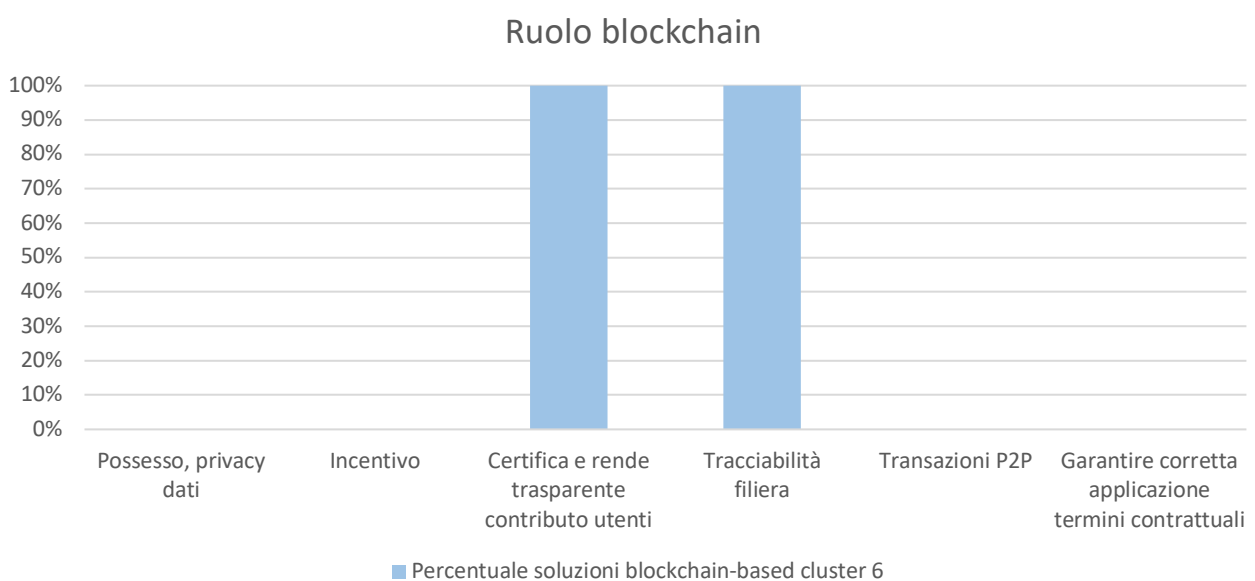


Figura 4.52: Statistiche ruolo blockchain soluzioni cluster 6-rifiuti

Il 60% delle soluzioni analizzate implementa anche l'utilizzo dell'intelligenza artificiale. Quest'ultima può elaborare grandi quantità di dati provenienti da diverse fonti lungo la filiera, inclusi dati di produzione, dati di trasporto, dati di vendita e feedback dei consumatori. Attraverso algoritmi di analisi dei dati, l'IA può estrarre informazioni rilevanti, identificare modelli e tendenze, e fornire insights utili per la gestione della filiera. Ciò consente di migliorare l'efficienza operativa, ottimizzare la gestione degli stock, prevenire sprechi e ridurre i costi.

Come analizzato nelle righe precedenti, le soluzioni appartenenti in questo cluster basano la loro efficacia in termini di sostenibilità ambientale nell'attivazione di un cambio comportamentale negli utenti, portandoli ad acquistare il più possibile prodotti aventi una filiera sostenibile, a costo di rinunciare alla comodità di fare la spesa nel negozio sotto casa o di dover pagare un prezzo leggermente superiore a parità di tipologia di prodotto. Questo cambiamento di comportamento viene stimolato attraverso la certificazione e l'assicurazione dell'accuratezza delle informazioni riguardanti il percorso seguito dal prodotto lungo la filiera e l'adozione di pratiche sostenibili durante tale percorso.

In questo senso la blockchain permette di registrare in modo sicuro e permanente ogni passaggio del prodotto, comprese informazioni cruciali come la provenienza, le modalità di trasporto, le condizioni di conservazione e le pratiche sostenibili adottate lungo la filiera. Queste informazioni possono essere accessibili a tutti i partecipanti autorizzati, consentendo loro di verificare l'autenticità e la conformità dei prodotti.

A differenza di un sistema centralizzato in cui le informazioni sono detenute e controllate da un'entità centrale, la blockchain è decentralizzata e distribuita su numerosi nodi della rete. Ciò significa che nessun singolo attore ha il controllo completo sulla filiera e sulle informazioni ad essa associate. La decentralizzazione riduce il rischio di frodi o manipolazioni e aumenta la fiducia tra i partecipanti della filiera. La blockchain consente anche l'implementazione di meccanismi di certificazione digitali. Attraverso smart contract, è possibile definire regole e standard di certificazione che devono essere rispettati lungo la filiera. I dati registrati nella blockchain possono essere utilizzati per convalidare la conformità ai requisiti di certificazione e per generare certificati digitali verificabili e inalterabili.

Conclusioni

Dalla ricerca condotta è possibile affermare di aver raggiunto l'obiettivo, ovvero, identificare quale contributo può dare la tecnologia blockchain nell'attivare un cambio comportamentale volto alla sostenibilità ambientale nei cittadini all'interno di una smart city. Infatti, è emerso chiaramente come le caratteristiche che contraddistinguono la blockchain siano funzionali alla realizzazione di soluzioni di sostenibilità ambientale che basano la loro efficacia sull'attivazione di un behavioural change nei cittadini.

La ricerca alla base di questo lavoro di tesi è stata sviluppata attraverso due fasi distinte. Nella prima è stata condotta un'esplorazione del mercato delle soluzioni esistenti per combattere il cambiamento climatico, concentrandosi sui settori dell'energia, della mobilità e dei rifiuti, con l'obiettivo di ottenere una panoramica completa delle diverse famiglie di soluzioni operanti in tali settori. Nella seconda, invece, l'attenzione è stata posta sul ruolo svolto dalla tecnologia blockchain all'interno di quelle famiglie di soluzioni in grado di attivare un cambio comportamentale negli utenti, con l'obiettivo di individuare l'eventuale contributo di tale tecnologia alla sua attivazione.

La prima fase ha portato alla realizzazione di un database contenente 148 applicazioni, piattaforme e progetti distribuiti equamente all'interno dei tre settori di riferimento. Per ogni soluzione identificata sono state raccolte informazioni sulla tipologia di servizio offerto, sul suo livello di maturità, sulla sua diffusione geografica, sulle diverse tecnologie impiegate, con particolare attenzione posta all'eventuale ruolo svolto dalla tecnologia blockchain, e sulle tecniche di attivazione di un cambio comportamentale negli utenti, ove presente. In particolare, i dati raccolti sulla percentuale di soluzioni che attivano un cambio comportamentale negli utenti e sulla percentuale di soluzioni che ricorrono all'utilizzo dell'IoT hanno permesso di confermare due concetti di fondamentale importanza già emersi durante la ricerca letteraria, ovvero quanto sia cruciale il ruolo della tecnologia e, conseguentemente, delle smart city nella lotta al cambiamento climatico e come quest'ultima non possa prescindere da un coinvolgimento diretto dei cittadini e, in particolare, da un cambio delle loro abitudini e dei loro comportamenti quotidiani.

Successivamente alla realizzazione del database si è proceduto con l'applicazione dell'algoritmo di clusterizzazione k-means, con il fine di identificare le diverse famiglie di soluzioni presenti nei vari settori analizzati, in linea con gli obiettivi proposti dal progetto europeo Climaborough. A tale scopo, si è deciso di sottoporre all'algoritmo di clusterizzazione solamente gli attributi relativi alla tipologia di servizio offerto e alle tecniche di attivazione del behavioral change, ovvero solo quegli attributi che permettono di distinguere una famiglia di soluzioni da un'altra.

Una volta conclusa la procedura di clustering, è stata avviata la seconda fase della ricerca, che consiste in una cross-case analysis. A tale scopo sono state scelte specificamente, tra le varie famiglie di soluzioni identificate, solamente quelle che basano la loro efficacia sull'attivazione di un cambio comportamentale negli utenti e che, al tempo stesso, si avvalgono dell'impiego della tecnologia

blockchain per migliorare il servizio offerto. Per ognuna di esse è stata svolta un'analisi incrociata dei dati relativi alle tecniche utilizzate per l'attivazione del behavioral change e al ruolo svolto dalla blockchain al suo interno, con l'obiettivo di individuare un eventuale impatto positivo da parte di quest'ultima su una o più tecniche di attivazione del cambio comportamentale.

Questa analisi ha messo in luce inanzitutto la capacità della blockchain di creare sistemi incentivanti migliori di quelli tradizionali, attraverso l'emissione automatizzata di token tramite gli smart contract operanti sulla piattaforma. A differenza dei tradizionali sistemi di incentivi, le regole e le condizioni per l'assegnazione dei token sono conosciute da tutti gli utenti che partecipano al servizio e la corretta applicazione di tali regole è garantita dall'immutabilità degli smart contract stessi. Questo permette una gestione trasparente e sicura delle ricompense, assicurando una distribuzione più equa del valore generato. Inoltre, essa premia gli utenti attraverso la creazione di asset digitali di proprietà esclusiva degli utenti, aventi un vero e proprio valore economico anche al di fuori della singola applicazione, dettato dalle leggi di domanda e offerta.

Di conseguenza, gli incentivi emessi sotto forma di token possono aumentare di valore nel tempo in proporzione alla crescita della comunità, premiando coloro che contribuiscono attivamente e si impegnano nello sviluppo della stessa.

La capacità della blockchain di tracciare e registrare le azioni e le transazioni in modo trasparente e immutabile e di consentire il controllo distribuito tra i partecipanti alla rete permette anche una maggiore trasparenza nel processo di valutazione e registrazione delle qualifiche e delle attività, apportando numerosi benefici a una migliore diffusione della conoscenza. Questo contributo è particolarmente rilevante nell'ambito della tracciabilità dei processi di produzione dei prodotti o di smaltimento dei rifiuti, dove può essere utilizzata per registrare e convalidare le certificazioni, i test di qualità e altre informazioni rilevanti per la conformità dei prodotti. A differenza di un sistema centralizzato in cui le informazioni sono detenute e controllate da un'entità centrale, la blockchain è decentralizzata e distribuita su numerosi nodi della rete. Ciò significa che nessun singolo attore ha il controllo completo sulla filiera e sulle informazioni ad essa associate. La decentralizzazione riduce il rischio di frodi o manipolazioni e aumenta la fiducia tra gli utenti sull'autenticità delle informazioni presenti. Ogni transazione registrata sulla blockchain può essere visualizzata e verificata da tutti i partecipanti autorizzati della rete. Ciò significa che i produttori, i fornitori, i distributori e i consumatori possono accedere alle informazioni sulla filiera in modo trasparente, senza doversi fidare ciecamente delle dichiarazioni di terze parti.

Inoltre, la blockchain può contribuire all'attivazione di un cambio comportamentale degli utenti anche permettendo di sviluppare servizi migliori rispetto alle tradizionali alternative basate su modelli centralizzati. Quanto detto è osservabile in particolare in quei contesti nei quali essa si sostituisce alla figura di un'autorità centrale in grado di coordinare e garantire la corretta esecuzione delle transazioni e il rispetto dei termini contrattuali, come nel caso delle comunità energetiche e del noleggio veicoli peer to peer tra utenti, creando un ambiente di fiducia tra i diversi stakeholders coinvolti. Con la blockchain, le transazioni vengono validate e registrate da una rete di partecipanti

distribuiti anziché da un'autorità centrale e allo stesso tempo il rispetto dei termini contrattuali e la gestione di eventuali sinistri viene automatizzata dagli smart contract operanti sulla piattaforma.

Tale disintermediazione permette di ridurre i costi delle transazioni, eliminando i costi associati alle commissioni e altri oneri aggiuntivi dovuti alla presenza di un intermediario, di snellire le pratiche burocratiche e fornire maggiore trasparenza grazie all'automazione offerta dagli smart contract e, infine, di trasmettere maggiore centralità al singolo utente che, libero dalle condizioni imposte da un'autorità centrale, può decidere liberamente i termini delle transazioni.

Un altro contributo allo sviluppo di servizi migliori viene fornito dalla possibilità di stabilire regole specifiche per l'accesso e la condivisione dei dati, tutelando le informazioni più sensibili e consentendo così una loro maggiore interoperabilità. Ciò risulta evidente nei servizi di guida intermodale dove la blockchain, tramite una gestione granulare degli accessi ai dati con l'utilizzo di smart contract e regole di autorizzazione, può consentire la condivisione sicura dei dati tra i diversi fornitori di servizi di trasporto delle piattaforme MaaS. La condivisione di queste informazioni, a sua volta, permette l'ottimizzazione dei servizi di guida intermodale permettendo una maggiore efficienza degli algoritmi previsionali operanti sulla piattaforma, che permettono di identificare la migliore combinazione di mezzi di trasporto da scegliere per raggiungere la meta desiderata, in termini di tempi e costi.

Infine, come osservato nelle piattaforme dei sistemi energetici distribuiti, la blockchain può fornire un importante contributo nello stimolare una maggiore partecipazione attiva degli utenti e nel favorire la diffusione di norme sociali favorevoli a comportamenti di sostenibilità ambientale.

Grazie alla trasparenza, alla certezza dell'integrità dei dati e alla presenza di regole condivise immutabili e verificabili in ogni istante da tutti i membri della comunità, la cui corretta applicazione è garantita dagli smart contracts operanti sulla piattaforma, essa contribuisce ad aumentare il livello di fiducia interno alla comunità, creando un ambiente cooperativo e collaborativo e favorendo lo sviluppo di norme sociali favorevoli. Ogni partecipante ha una visione completa e trasparente della gestione dell'energia all'interno della comunità e decisioni riguardanti eventuali cambiamenti delle regole di gestione possono essere prese in modo collettivo e partecipativo tramite votazione o meccanismi di consenso basati sulla blockchain.

Alla luce dei risultati ottenuti è possibile notare come la blockchain è, sicuramente, uno strumento vantaggioso che può incoraggiare e supportare un cambiamento comportamentale positivo verso comportamenti sostenibili e responsabili, grazie alle sue caratteristiche di trasparenza, sicurezza, immutabilità, tracciabilità, decentralizzazione, automazione e incentivazione. In contrapposizione ai vantaggi appena descritti, ci sono però alcune problematiche e limiti che presentano nuove sfide per l'adozione diffusa della tecnologia blockchain nei mercati menzionati. Infatti, solamente il 46% delle soluzioni blockchain based analizzate è già presente attivamente sul mercato, mentre il restante 54% è composto da soluzioni ancora in fase di sviluppo o di test. Un primo ostacolo di natura tecnologica che ne limita l'adozione diffusa è la sua scarsa scalabilità. Essa può affrontare problemi di performance e tempi di elaborazione elevati quando la rete è congestionata, rendendo difficile

gestire un alto volume di transazioni. Tuttavia, il mercato sta cercando soluzioni per superare questa sfida, attraverso una maggiore adozione e crescita della tecnologia, per consentire una gestione efficiente di un numero sempre crescente di transazioni. Un secondo ostacolo alla sua diffusione è rappresentato dalla incertezza regolamentare. Poiché la tecnologia blockchain è relativamente nuova, molti governi e istituzioni non hanno ancora stabilito un quadro regolamentare chiaro per la sua applicazione. Questa mancanza di norme può scoraggiare le imprese e gli investitori dallo sfruttare appieno il potenziale della tecnologia blockchain, per timore di violare le leggi o di incontrare ostacoli legali. Infine, molti attori nel mercato non hanno ancora una piena comprensione dei concetti e delle potenzialità della tecnologia blockchain. Per affrontare questa sfida, è essenziale promuovere l'educazione, la sensibilizzazione e la divulgazione della tecnologia blockchain. Ciò può essere fatto attraverso programmi di formazione, risorse educative, eventi di sensibilizzazione e dimostrazioni pratiche. Inoltre, la collaborazione tra industrie, governi, università e comunità blockchain può contribuire a diffondere la comprensione della tecnologia e promuovere la sua adozione in modo più ampio.

Bibliografia

Antonopoulos, A. M. (2016). Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=fw3WkySh_Ho

Bholowalia, P. and Kumar, A. (2014). Ebk-means: A clustering technique based on elbow method and k-means in wsn. International Journal of Computer Applications, 105(9).

Binance Academy, 2018. "Cos'è un Algoritmo di Consenso?"
<https://academy.binance.com/it/articles/what-is-a-blockchain-consensus-algorithm>

Brinkerhoff, Derick W., and Jennifer M. Brinkerhoff. "Public–private partnerships: Perspectives on purposes, publicness, and good governance." Public administration and development 31.1 (2011): 2-14.

Brownworth, 2021. "HOW BLOCKCHAIN WORKS".
<https://www.youtube.com/watch?v=qLbUvqT-bNY>

BVA Nudge Consulting, 2019: "Behavioral Smart Cities: A Behavioral Approach to Improving Urban Efficiency and Quality of Life".

Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P. (2009). Smart Cities in Europe. In Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science – CERS 2009

Commissione Europea; 2020. "DIH Webinar: Artificial Intelligence for Smart Cities".

Criptoinvestire, 2023. "Mining, cosa accade dietro le quinte di Bitcoin".
<https://www.criptoinvestire.com/mining-come-funziona-la-verifica-delle-transazioni.html>

Esposito, Christian et al. "Blockchain-based authentication and authorization for smart city applications."

European Environment Agency, 2022. "Global and European temperatures".
<https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures>

Faber, J & Schroten, Arno & Bles, M & Sevenster, Maartje & Markowska, A & Smit, M & Rohde, Clemens & Dütschke, Elisabeth & Köhler, J & Gigli, M & Zimmermann, K & Soboh, Ruba & Riet, J. (2012). Behavioral Climate Change Mitigation Options and Their Appropriate Inclusion in Quantitative Longer Term Policy Scenarios.

Ferro Enrico, Brunella Caroleo, Maurizio Leo, Michele Osella, Elisa Pautasso, 2012. "The Role of ICT in Smart Cities Governance"

Forbes, 2022. "Smart contract: cosa sono e come funzionano"
<https://www.forbes.com/advisor/it/investire/criptoalute/smart-contract-cosa-sono-e-come-funzionano/>

Fraley, C. and Raftery, A. E. (1998). How many clusters? which clustering method? answers via model-based cluster analysis. The computer journal, 41(8):578–588.

Freni, P., Ferro, E., and Moncada, R. (2020). Tokenization and blockchain tokens classification: a morphological framework. In 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications

Gabrys, Jennifer. 2014. "Programming Environments: Environmentalty and Citizen Sensing in the Smart City."

Gervais, Ghassan O. Karame, Karl Wüst, Vasileios Glykantzis, Hubert Ritzdorf, and Srdjan Capkun. 2016. On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains.

Govoni, L. (2019). "algoritmo k-means: cos'è e come funziona?".

Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions'

Harrison, B. Eckman, R. Hamilton, P. Hartswick, J. Kalagnanam, J. Paraszczak, et al., "Foundations for Smarter Cities", IBM Journal of Research and Development, vol. 54, no. 4, 2010

Hill, Dan. 2013. "On the Smart City; Or, a 'Manifesto' for Smart Citizens Instead."

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Jain, A. K., Murty, M. N., and Flynn, P. J. (1999). Data clustering: a review. *ACM computing surveys (CSUR)*, 31(3):264–323.

Kanter and S. S. Litow, "Informed and interconnected: A manifesto for smarter cities", Harvard Business School General Management Unit Working Paper 09–141, 2009

Khansari, Nasrin & Mostashari, Ali & Mansouri, Mo. (2014). Impacting Sustainable Behavior and Planning in Smart City. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning (IJSLUP)*.

LAMPORT, ROBERT SHOSTAK, and MARSHALL PEASE, 1982. "The Byzantine Generals Problem"

Leung, Y., Zhang, J.-S., and Xu, Z.-B. (2000). Clustering by scale-space filtering. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(12):1396–1410.

Maesa, Damiano & Mori, Paolo. (2020). Blockchain 3.0 applications survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.

Michie, S., van Stralen, M.M. & West, R. The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Sci* 6, 42 (2011).

McKinsey & Company, 2016. "How blockchains could change the world".
<https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/how-blockchains-could-change-the-world>

McKinsey & Company, 2022. "What is blockchain?"
<https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-blockchain>

Nagelkerke, N. J. et al. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3):691–692.

Natarajan, Harish, Solvej Krause, and Helen Gradstein. "Distributed ledger technology and blockchain." (2017).

Nazioni Unite, 2020. “UN 75 – I grandi temi: Una demografia che cambia”.
<https://unric.org/it/un-75-i-grandi-temi-una-demografia-che-cambia/#:~:text=Oggi%2C%20circa%20il%2055%20per,per%20cento%20entro%20il%202050.>)

Nazioni unite, 2022. “World Cities Report 2022”
<https://unhabitat.org/wcr/>

Nakamoto Satoshi, 2008. “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”

Parlamento europeo, 2023. “Ridurre le emissioni di anidride carbonica: obiettivi e politiche dell’UE”.
<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180305STO99003/ridurre-le-emissioni-di-anidride-carbonica-obiettivi-e-azioni-dell-ue>

Pettigrew, A. M. (1979). On studying organizational cultures. *Administrative science quarterly*, 24(4):570–581.

Pinna, A. and Ruttenberg, W. (2016). Distributed ledger technologies in securities post-trading revolution or evolution? ECB Occasional Paper

Shin. 2019. Blockchain: The emerging technology of digital trust.

Sony Corporation, 2020. “The outcomes of the Blockchain Challenge Program”

Squartini, F. (2017). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=cNweZgQ0kKI>

Stern, Paul. (2000). Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior. *Journal of Social Issues*.

Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*

Yin, R. K. (2011). *Applications of case study research*. sage.

