POLITECNICO DI TORINO

Laurea magistrale in Ingegneria Energetica

Laurea magistrale

Ottimizzazione del simulatore per una Smart token economy

Candidato

Paolo DERIU

Prof. P. LEONE

Ing. M. ANNUNZIATO

Arch. C. MELONI

2020

alla mia Famiglia
per avermi sopportato e supportato.

Indice

Elenco delle figure V

1 Introduzione 1

2 Smart token community: una panoramica 4
2.1 Smart Cities 4
2.2 ENEA e progetti *smart* 9
2.3 Dalla Smart City alla Smart Community 10
2.4 *Sharing economy communities* e *Energy communities* 12
2.4.1 *Sharing economy communities* 12
2.4.2 *Energy communities* 13

3 Un nuovo *concept* di comunità energetica: il progetto LEC di ENEA 16
3.1 Centoc'è 18
3.1.1 Modello economico. 19
3.1.2 Modello energetico e blockchain 23

4 Simulatore 28
4.1 Descrizione del simulatore 29
4.1.1 Adesioni 32
4.1.2 Tipologia di mercato 35
4.1.3 Transazioni 36
4.1.4 Flusso di token 38
4.1.5 Ottimizzazione 40
4.1.6 Assunzioni 41
4.1.7 Limitazioni 42

5 Controllo ed ottimizzazione del sistema 43
5.1 Parametri di controllo 45
5.1.1 Fee 45

5.1.2 Incentivi 46
5.1.3 Bonus adesione e annuali 46
5.1.4 Funzione costo 46
5.2 Metodi per il controllo 47
5.2.1 Monte Carlo 47
5.2.2 Ricerca esaustiva 49
5.2.3 Multilevel 50
5.2.4 Gradient descent 51

6 Risultati 53
6.1 Scenario base mutualistico 54
6.1.1 Sistema non controllato 54
6.1.2 Monte Carlo 56
6.1.3 Ricerca esaustiva 58
6.1.4 Multilevel 62
6.1.5 Gradient descent 62
6.1.6 Robustezza 65

7 Conclusioni 66

A 68

Bibliografia 76

Elenco delle figure

2.1 Fonte Politecnico di Torino - Smart Cities Progetti di sviluppo e strumenti di finanziamento 8
2.2 Fonte: Giffinger, 2007 9
2.3 Fonte: ENEA City 2.0: uno Smart Ring a L'Aquila. L'integrazione tra sostenibilità energetica e sostenibilità sociale. 11

3.1 Fonte: Schema economia circolare, Ellen MacArthur Foundation, 2013. 20
3.2 Fonte "Le opportunità della blockchain per lo scambio di energia P2P", Politecnico di Milano 25
3.3 Scenari Best case e Wort case. Fonte "Le opportunità della blockchain per lo scambio di energia P2P", Politecnico di Milano 27

4.1 Probability Density Function 33
4.2 Modifica Probability Density Function 33
4.3 Interfaccia grafica andamento adesione cittadini 34
4.4 Interfaccia grafica andamento adesione stakeholder 35
4.5 Interfaccia gradica Slider meccanismo di accettazione 36
4.6 Interfaccia grafica suddivisione delle transazioni ripartite per categoria 37
4.7 Interfaccia grafica andamento transazioni 38
4.8 Interfaccia grafica fee 39
4.9 Interfaccia grafica bonus di adesione e annuale 39
4.10 Interfaccia grafica incentivi 40

5.1 Procedura grafica Monte Carlo 49
5.2 Procedura grafica Ricerca esaustica 50
5.3 Procedura grafica Multilevel 51

6.1 Confronto caso non controllato 54
6.2 Andamento adesioni 55
6.3 Confronto discretizzazione Monte Carlo 56
6.4 Confronto orizzonte temporale 57
6.5 Zoom confronto orizzonte temporale 57

6.6 Andamento temporale parametri di controllo 58
6.7 Confronto token presenti Ricerca esaustiva - Monte Carlo 59
6.8 Confronto wallet medio Ricerca esaustiva - Monte Carlo 59
6.9 Confronto token presenti con aggiornamento 1 - 3 - 6 mesi 60
6.10 Confronto wallet medio con aggiornamento 1 - 3 - 6 mesi 61
6.11 Andamento incentivo con aggiornamento dei parametri di controllo ogni mese 61
6.12 Confronto Ricerca esaustiva - Multilevel 62
6.13 Confronto Gradient descent - Multilevel 63
6.14 Confronto errore ammesso Gradient descent 64
6.15 Zoom wallet medio con errore massimo ammesso 1 - 3 - 5 token . . 64
6.16 Analisi di robustezza 65

A.1 Categoria 1 (1) 68
A.2 Categoria 1 (2) 69
A.3 Categoria 2 (1) 69
A.4 Categoria 2 (2) 69
A.5 Categoria 3 (1) 70
A.6 Categoria 3 (2) 71
A.7 Categoria 4 (1) 71
A.8 Categoria 4 (2) 72
A.9 Categoria 5 (1) 72
A.10 Categoria 5 (2) 73
A.11 Categoria 6 73
A.12 Categoria 7 74
A.13 Categoria 8 74
A.14 Parametri di ipotesi e controllo scenario base 75

Capitolo 1

Introduzione

Le leggi lo vietano, è vero;
e Temi osserva severamente:
ma l'indifferenza dei singoli
ha pensiero solo di se stessa.
Sciocco! E non vuoi vedere
nei danni collettivi anche i tuoi?

La salubrità dell'aria, Giuseppe Parini.

Il tema dell'inurbamento e come esso possa riflettersi negativamente sulla vita degli abitanti delle città - specie considerando le sue ripercussioni a livello di inefficienza organizzativa e impatto ambientale - era noto già nella seconda metà del Settecento, quando Giuseppe Parini dedicava un'impietosa ode alla città di Milano, all'epoca caratterizzata da un'aria insalubre e da una tendenza all'individualismo da parte dei suoi abitanti che, avendo perso l'ideale di una visione comune nella gestione cittadina, avevano portato la città a uno stato di decadenza. Lo scrittore lombardo contrapponeva al modello urbano quello contadino, dove era possibile ritrovare quell'ambiente salubre e, tra gli individui, quel senso di collettività tale da permettere un'alta qualità della vita.
Oggi, i processi sempre più veloci di urbanizzazione vengono valutati sia nei loro aspetti innegabilmente positivi - tra tutti, un maggior numero di posti di lavoro e l'aumento della qualità media della vita, così come del livello di istruzione - sia nelle sue ricadute negative come l'inquinamento e l'inefficienza organizzativa. La soluzione che oggi si vuole dare a tali problematiche è quella di una gestione più *intelligente* degli agglomerati urbani in tutte le loro componenti (sociale, economica,

ambientale, della produzione energetica e dei processi decisionali), anche grazie al sostegno offerto dalle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) che, se utilizzate sapientemente, possono costituire un valido strumento per l'innovazione sia tecnologica che sociale all'interno delle città. Soprattutto a partire dai primi anni Duemila si è infatti iniziato a parlare di *Smart cities* e *Smart commuinities*, ossia di piani urbanistici integrati volti al miglioramento della qualità della vita cittadina grazie all'azione sinergica delle nuove tecnologie e di progetti di innovazione sociale, con un occhio di riguardo ai temi della mobilità, dell'ambiente e dell'efficienza energetica.
L'apporto della tecnologia nell'elaborazione di piani per un'urbanistica *smart* non si limita tuttavia al solo utilizzo delle ICT per la raccolta e l'interpretazione dei dati relativi alle risorse disponibili e le esigenze della popolazione, ma risulta di fondamentale importanza nella fase di stesura ed elaborazione del progetto, nonché nelle azioni di monitoraggio costante della città o comunità per garantire un andamento sempre efficacie della stessa. Un apporto tecnologico di particolare efficacia nella pianificazione e successivo monitoraggio di progetti di città o comunità intelligenti è infatti quello di un simulatore in grado di prevederne l'andamento nel tempo e calcolare le possibili variazioni al variare delle condizioni, di modo da consentire una migliore resa nella fase progettuale[1].
Il presente elaborato si pone lo scopo di esporre uno studio sulla modellazione e l'ottimizzazione dinamica del simulatore per una *Smart token economy*, realizzato nell'ambito della collaborazione con ENEA, l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Tale collaborazione, svoltasi sotto forma di tirocinio curricolare e tesi presso l'ente di ricerca, ha coinvolto due studenti del Politecnico di Torino per l'implementazione di un simulatore che sarà utilizzato da ENEA nel suo progetto di *Smart token economy* per lo sviluppo di una piattaforma LEC (*local energy comunity)* e corrispettivo sistema di ottimizzazione e controllo del simulatore stesso, oggetto specifico di questa tesi.
Il simulatore implementato durante questo progetto si configura come un simulatore con visione globale, ossia non si analizza il comportamento del singolo ma si simula un comportamento medio dei partecipanti all'interno della comunità. A differenza di un simulatore ad agenti, questo è stato pensato per lavorare con valori medi, per fare un esempio, le transazioni effettuate in valuta comunitaria, che prevedono lo scambio di beni, servizi alla persona e scambi energetici in tutte le sue forme, vengono assunte come delle transazioni medie mensili. Questo permette di operare

[1]Un esempio illustre è *CityScope*, il progetto di un simulatore di Smart city 3D avviato nel 2013 dal *Massachusetts institute of technology* (MIT), pensato per trovare le migliori soluzioni nell'ambito della mobilità, delle infrastrutture e nell'uso razionale dell'energia attraverso l'utilizzo di simulatori 3D.

delle ipotesi preliminari sugli andamenti della comunità prima che questa sia effettivamente avviata, quindi permettere agli analisti del progetto di operare delle scelte ponderate fin dalle fasi iniziali del progetto LEC. Il simulatore è stato pensato in tutte le sue componenti per garantire all'analista la totale libertà nell'impostazione dei parametri di ipotesi.
La tesi si struttura in due macro-sezioni; la prima, cui corrispondono i primi due capitoli, è di taglio maggiormente teorico-espositivo ed è dedicata anzitutto alla descrizione e definizione del concetto di *Smart token economy*, secondo la *vision* adottata da ENEA, per poi entrare nello specifico del progetto LEC, esposto nei suoi aspetti economico e energetico.
Quanto riportato in questa prima macro-sezione costituisce le fondamenta teoriche indispensabili per la comprensione di quanto esposto nella seconda e più ampia macro-sezione, costituita da tre capitoli inerenti il simulatore.
Entrando nello specifico, il quarto capitolo è dedicato a una descrizione approfondita del simulatore, progettato con l'ausilio di Matlab e App designer, il quinto sull'ottimizzazione dinamica implementata e nel sesto vi è un esposizione dei risultati ottenuti adottando i diversi metodi utilizzati.

Capitolo 2

Smart token community: una panoramica

L'idea di una Smart token community nasce dall'unione dei concetti di Smart city, economia circolare e comunità energetica.
«Per ENEA, il termine "smart communities" è in grado di evocare il recupero e la valorizzazione della identità locale senza porla in conflitto con i modelli globali, nonché di evocare anche quella sostenibilità, derivante dalla qualità di vita a partire dallo sviluppo della partecipazione sociale, elemento fondante del "senso di comunità»[1]
Per offrire una definizione esaustiva di Smart token community alla base del progetto LEC di ENEA, occorre addentrarsi nel terreno concettuale delle parti che la compongono, Smart city, smart community (in particolare energy community e sharing economy community) ed economia circolare. Si tratta di concetti che oggi occupano un ruolo centrale nell'ambito del dibattito intorno ai temi della sostenibilità ambientale e dell'innovazione sociale, e che ENEA ha voluto convogliare in un unico progetto pilota volto alla valutazione dei benefici che l'applicazione di modelli di economia circolare su scala urbana possano apportare in un ambiente di comunità *smart*.

2.1 Smart Cities

Fin dal momento della sua coniazione, il termine *Smart City* è stato caratterizzato da una certa incertezza d'uso e oggetto di definizioni talora divergenti.
Come ribadiva ancora nel 2015 Norbert Streitz, direttore scientifico della Smart Future Initiative in Germania, l'utilizzo del termine Smart City, a livello internazionale, può oscillare dal significato di *digital* o *virtual* city a quello di *ubiquitous*

city, che pone l'accento sull'uso delle tecnologie e delle infrastrutture, passando per i concetti di città sostenibile e *green*. Streitz propone una definizione di più largo respiro, tanto da avanzare il termine collaterale di città ibride (*hybrid city*): città sviluppate attraverso l'utilizzo delle *Information and Communication Technologies* (ICT), in cui l'ambiente viene trasformato grazie all'impiego di infrastrutture intelligenti a livello computazionale e ambientale, in spazi interattivi intelligenti e con un'alta capacità di adattamento[2].
Di fronte a una tale oscillazione semantica, è necessario restringere il nostro campo di utilizzo del termine Smart City, andando ad analizzare le normative europee e nazionali in merito.
Utilizzato per la prima volta nel 2009 come uno dei temi chiave dell'Unione Europea nell'ambito dello Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)[3], il concetto di Smart City ruotava inizialmente intorno ai temi dell'innovazione urbana attraverso l'implementazione del settore delle ICT, andando quindi a costruire un concetto di Smart City come "città digitale".
Con gli anni questo concetto è stato ampliato e arricchito sino ad abbracciare oggi un'idea di città socialmente inclusiva e con una più alta qualità della vita, grazie all'«applicazione di soluzioni integrate più sostenibili» con l'obiettivo finale di «contribuire agli obiettivi 20/20/20 stabiliti dall'Unione Europea in termini di *climate change* mediante: innovazione applicata, migliore pianificazione, approcci maggiormente partecipativi»[4].
A partire dal 2010, l'Unione Europea ha predisposto diversi programmi di finanziamento per incentivare lo sviluppo di soluzioni smart per i centri urbani, con un occhio di riguardo per tutti quei progetti che mirino all'efficientamento energetico, all'energia rinnovabile su scala locale e alla mobilità sostenibile. Tra i principali piani di finanziamento troviamo Il Fondo Europeo per l'Efficienza energetica, il programma *Intelligent Energy-Europe e il Joint Programme Smart Cities*, solo per citarne alcuni a dimostrazione dell'interesse dell'Unione sull'argomento.
In Italia, la terminologia maggiormente utilizzata è quella di Comunità Intelligente, cui seguono le diciture Smart City e Smart Community.
Per quanto concerne la situazione italiana, il compito di emanare le linee guida relative agli standard tecnici procedurali ed istituire e definire la Piattaforma delle comunità intelligenti è affidato all'Agenzia per l'Italia digitale (AGID), la quale definisce la Comunità Intelligente come «quel luogo e/o contesto territoriale ove l'utilizzo pianificato e sapiente delle risorse umane e naturali, opportunamente gestite e integrate mediante le numerose tecnologie ICT già disponibili, consente la creazione di un ecosistema capace di utilizzare al meglio le risorse e di fornire servizi integrati e sempre più intelligenti (cioè il cui valore è maggiore della somma dei valori delle parti che li compongono)».[5]
La pianificazione italiana per lo sviluppo di comunità intelligenti si struttura in tre punti principali che sono:

- Lo statuto delle Comunità Intelligenti
- La Piattaforma Nazionale delle comunità Intelligenti
- Gli strumenti Finanziari

Anche in Italia, il concetto di Smart City è fortemente legato a un'ottica di incentivazione di progetti per l'efficientamento energetico. La pianificazione energetica assume infatti un ruolo fondamentale e rappresenta un punto di interesse imprescindibile nella strategia italiana di sostegno allo sviluppo di comunità intelligenti. I principali strumenti di pianificazione in materia di energia sono, a livello sovra-comunale:

- il Piano Energetico Nazionale (PEN) per l'uso razionale dell'energia, il risparmio energetico e lo sviluppo di fonti rinnovabili
- il Piano Energetico Regionale (PER)

e, a livello comunale:

- il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES)
- il Piano Energetico Comunale (PEC) per i singoli comuni

L'energia a basso costo è un punto centrale nel concetto di Comunità Intelligente, in quanto «l'uso dell'energia si concentra principalmente nei centri urbani generando effetti molto significativi sull'economia, sull'ambiente e sulla società in senso lato»[4].
Negli anni, il concetto di Comunità intelligente si è quindi allargato, passando da un'idea di città *smart*, ossia digitale, fondata sull'utilizzo di tecnologie a basso impatto ambientale ed effetti benefici delle ICT sulla vita delle persone, fino ad abbracciare sempre di più un approccio *human-oriented*, in cui la tecnologia diventa lo strumento per sollecitare la socialità, la partecipazione e il senso di comunità negli individui.
Una visione che dia particolare importanza all'aspetto sociale delle comunità intelligenti è il motore che dà vita ai progetti pilota fino ad oggi proposti nell'ambito delle Smart City da ENEA, l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.
L'uso di tecnologie a basso impatto ambientale si accompagna, nei progetti pilota proposti negli ultimi anni da ENEA, alla "condivisione dell'obiettivo sociale del miglioramento della qualità della vita delle persone". "La formazione sulle competenze sociali, l'organizzazione delle comunità, la partecipazione attiva e la diffusione dei processi culturali" sono infatti, come sottolineato nel report "Dalla Smart City alla

Smart community" pubblicato su Enea magazine nel 2017. "iniziative in grado di attivare nei cittadini comportamenti sostenibili (*smart behaviour*) proprio perché fortemente ancorate ai bisogni reali (la mobilità, l'economia, il lavoro, la sicurezza, la sanità, l'invecchiamento...)"[6].

> «un progetto di smart community è dunque un progetto che riesce a incrementare il capitale sociale[1] grazie all'evoluzione delle dinamiche relazionali che vanno dall'individuo all'intera comunità, utilizzando in modo armonico strumenti che vanno dai processi sociali alle tecnologie e alle infrastrutture innovative»

Nella pur evidente pluralità di definizioni in uso, i punti imprescindibili che caratterizzano la *Smart City* sono sicuramente l'utilizzo delle ICT e l'importanza della sostenibilità ambientale, soprattutto nell'ambito di uso razionale dell'energia, entrambi pensati non tanto come risultati ultimi dello sviluppo delle comunità intelligenti quanto, al contrario, strumentalizzati al fine di ottenere un sensibile miglioramento nel tenore di vita dei cittadini e un aumento del capitale sociale della comunità stessa. Per fissare le caratteristiche basilari delle città intelligenti, ci riferiamo al grafico 2.1 pubblicato nel 2015 dal Politecnico di Torino:

[1]Secondo la definizione di Bourdieu, il capitale sociale è «l'ammontare delle risorse attuali o potenziali che derivano dall'appartenenza ad una rete stabile di relazioni sociali o dall'essere membri di un gruppo» (Bourdieu, 1983). Per quanto concerne il concetto di smart community, tuttavia, sembra maggiormente adattarsi la definizione fornita negli anni Novanta da Putnam, secondo il quale il capitale sociale consiste in una forma di capitale economico e culturale costituito da fattori quali «la fiducia, le norme che regolano la convivenza, le reti di associazionismo civico, elementi che migliorano l'efficienza dell'organizzazione sociale promuovendo iniziative prese di comune accordo» (Putnam, 1993)

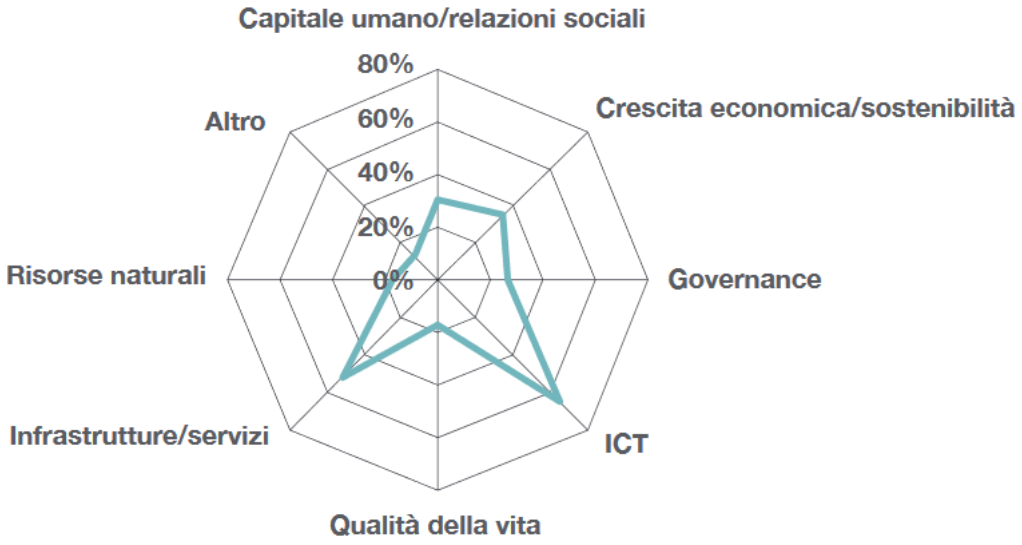


Figura 2.1: Fonte Politecnico di Torino - Smart Cities Progetti di sviluppo e strumenti di finanziamento

Nel report pubblicato dal Politecnico di Torino, inoltre, viene sottolineate un'altra caratteristica indispensabile per qualsiasi progetto "smart" urbano, ossia la progettualità, appunto. Al fine di differenziare quanto può effettivamente considerarsi Smart City da tutta una serie di interventi su scala urbana dagli indubbi benefici nell'ambito della sostenibilità ambientale, come singoli progetti di sharing o mobilità elettrica nelle grandi città, si è oggi consolidata l'idea per cui una città intelligente debba costruirsi a partire da una «*vision* strategica, pianificata, organica e connessa alla capacità di leggere le potenzialità dei territori, da parte di un organo in grado di ripensare la città con una visione di lungo periodo e un approccio integrato»[7].
Se in linea generale il concetto di *smartness* si configura come progetto volto al raggiungimento di un elevato grado di benessere all'interno di una città attraverso l'attivazione di pratiche e comportamenti sostenibili e un utilizzo razionale delle nuove tecnologie a basso impatto ambientale, è comunque opportuno fissare i campi di interesse fondamentali a cui riferirsi. A tal proposito, nel 2007 Rudolf Giffinger definiva la Smart city come una «città performante e orientata al futuro per quanto riguarda sei aree tematiche, costruita sulla combinazione intelligente di dotazioni e attività promesse da cittadini autodeterminati, indipendenti e consapevoli»[8] [2]. Le sei aree tematiche fissate da Giffinger sono: Smart Economy, Smart People,

[2]« A Smart City is a city well performing in a forward-looking way in these six characteristics, built on the 'smart' combination of endowments and activities of self-decisive, independent and

Smart Governance, Smart Mobility, Smart Environment e Smart Living:

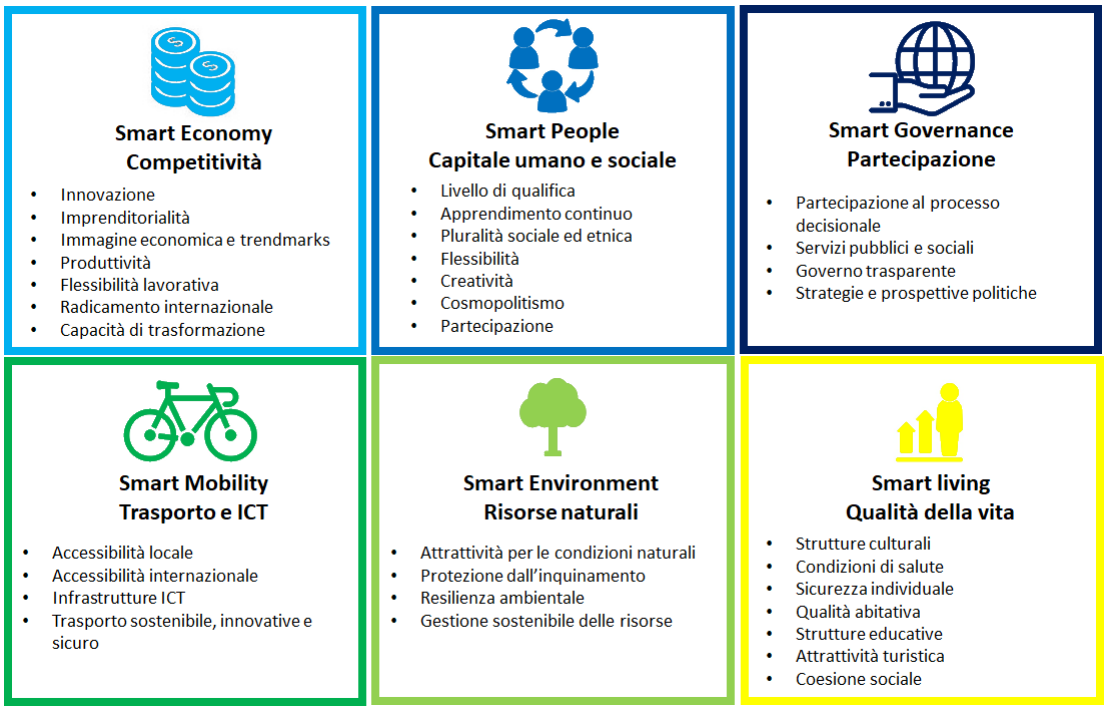


Figura 2.2: Fonte: Giffinger, 2007

2.2 ENEA e progetti *smart*

L'oscillazione semantica di cui è oggetto il termine Smart City è, d'altronde, ravvisabile nella cronologia dei progetti sviluppati in questo ambito a partire dall'anno 2010-2011, quando si trattava soprattutto dello sviluppo e dell'applicazione di nuove tecnologie (es. *smart building*, info-mobilità e *smart grid*) e, quindi, di una concettualizzazione della Smart City che rimaneva ancorata al concetto di digitalizzazione piuttosto che aprirsi a quello di innovazione sociale. Solo in una seconda fase sono stati promossi progetti pilota che mirassero allo sfruttamento delle nuove tecnologie per il miglioramento del tenore di vita dei cittadini e lo sviluppo di comunità fondate su una nuova e più profonda socialità e partecipazione dei singoli individui all'interesse comune.
In Italia, ENEA è stata fin da subito in prima linea nella ricerca sulle Smart Cities e nello sviluppo di progetti di comunità intelligenti in Italia, tra i quali

aware citizens.» (Giffinger; 2007).

va sicuramente ricordato il progetto *City 2.0* finanziato nel 2010 dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca e volto a definire alcuni modelli di riferimento per la ripresa urbana, sociale ed economica nei territori del centro Italia colpiti dal terremoto del 2009. In particolare, il progetto prevede uno *Smart ring* a L'Aquila, ossia un percorso anulare di applicazione di interventi di:

- Diagnostica e analisi energetica di edifici
- Illuninazione pubblica *smart*
- Mobilità pubblica *smart*
- Monitoraggio ambientale
- Sistemi di comunicazione interattiva per i cittadini

L'approccio di ENEA alle comunità intelligenti è fortemente *human-oriented* e punta sullo sfruttamento delle ICT per favorire la coesione sociale. Nel caso de L'Aquila è stata sviluppata una metodologia di Social urban Network (SUN), cui è stato dato il nome di Piazza100, basata su quattro direttrici:

- Cooperazione sociale (approccio *Hybrid City*)
- Attivazione di *smart lab* e *leadership* sociali
- *Community engagement* alle attività degli *smart lab*
- monitoraggio dei risultati sia con metodi convenzionali che *web-based*

La piattaforma di monitoraggio SUN rappresenta un valido strumento di indagine se applicato a progetti pilota di comunità intelligenti, anche per favorire l'acquisizione di una coscienza di gruppo in merito a temi centrali come la partecipazione attiva, la consapevolezza energetica e ambientale e la sostenibilità, come è avvenuto nel progetto *Brescia Smart Living* di ENEA, in cui la SUN è stata utilizzata per veicolare informazioni utili a veicolare comportamenti virtuosi dal punto di vista della sostenibilità sia da parte dei cittadini che da parte delle istituzioni.

2.3 Dalla Smart City alla Smart Community

Come si è visto, in Italia il termine maggiormente utilizzato per tradurre il concetto di Smart city è quello di "comunità intelligenti", secondo la dicitura dell'AGID. I concetti di Smart city e Smart community sono certamente interconnessi e interdipendenti, ciò nonostante il secondo si configura maggiormente come evoluzione del primo, a seguito della spinta propulsiva che dall'idea di città *smart* ha condotto

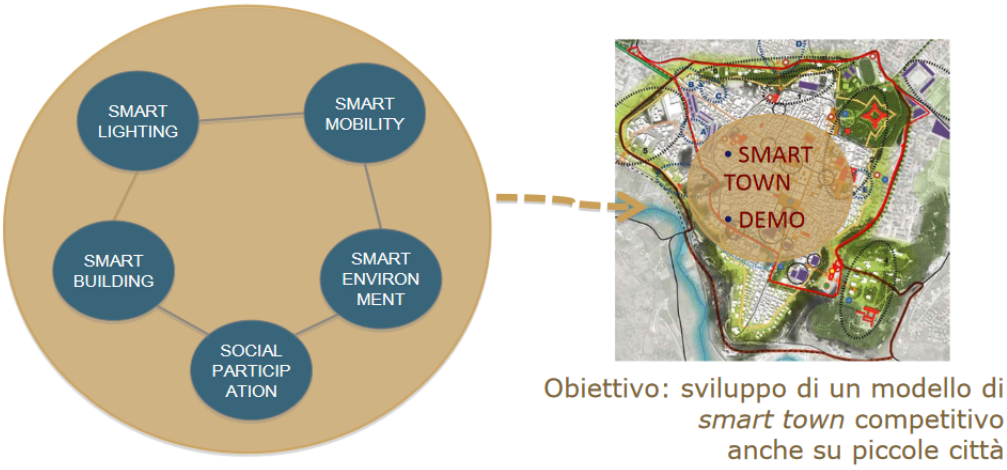


Figura 2.3: Fonte: ENEA City 2.0: uno Smart Ring a L'Aquila. L'integrazione tra sostenibilità energetica e sostenibilità sociale.

alla teorizzazione di comunità in cui lo sfruttamento non solo di tecnologie a basso impatto ambientale e l'uso strategico delle ICT, ma anche e soprattutto l'interazione tra i membri di una stessa comunità inneschino un meccanismo virtuoso di generazione di capitale sociale e sensibile miglioramento della qualità della vita dei membri. Il principale rischio legato all'utilizzo massiccio delle ICT per la gestione degli agglomerati urbani è infatti l'inibizione dei processi di socializzazione e comunicazione tra gli individui e, nei casi peggiori, la nascita di situazioni di isolamento sociale[6].
È quindi evidente come il concetto di *Smart community* sia, rispetto a quello della *Smart city* maggiormente orientato a finalità di innovazione sociale in uno spazio non limitato a uno specifico agglomerato urbano, come evidente anche dalla definizione esposta nel Decreto Direttoriale del 5 luglio 2012 in materia di «Smart Cities and Social Innovation», dove si legge che:

> «La Smart Community, quale riferimento per l'individuazione delle aree di ricerca e delle traiettorie di sviluppo, va intesa in senso ampio rispetto alla definizione di agglomerato urbano di grande e media dimensione, e si riferisce al concetto di città diffusa e di comunità intelligente (anche attraverso l'aggregazione di piccoli comuni ovvero sistemi metropolitani) nelle quali sono affrontate congiuntamente tematiche riferibili alle sfide sociali emergenti" cioè "tematiche socio ambientali, quali mobilità, sicurezza, educazione,risparmio energetico o ambientale.» (Decreto Direttoriale 5 luglio 2012 n. 391/Ric.)

2.4 *Sharing economy communities* e *Energy communities*

Quando si parla di *Smart communities* ci si riferisce quindi a realtà dotate di maggiore fluidità e dinamicità e non vincolate territorialmente ai confini cittadini, ma che «identificano l'ambito in cui si esplicano la capacità di governo e i livelli di aggregazione amministrativa opportuni (area municipale o comuni, sistema metropolitano, area vasta/provinciale) rispetto alle tematiche gestibili in autonomia» (Art. 20, legge n.221 del 17 dicembre 2012, Agenda Digitale) e dalla cui autogestione si strutturino le caratteristiche di connettività e capacità di adattamento. Oltre a definire in linea generale cosa sia una comunità intelligente, è tuttavia necessario registrare l'esistenza di vari modi in cui questo concetto viene declinato nella pratica, e quindi l'esistenza di diverse tipologie di comunità intelligenti a seconda della *vision* e della *mission* principali che queste decidono di assumere. Nella molteplicità di risultati che queste realtà possono raggiungere, in questa sede saranno esposte due tipologie di comunità, le *Energy communities* e le *Sharing economy communities* i modelli teorici basilari sono stati assunti per lo sviluppo del progetto pilota LEC.

2.4.1 *Sharing economy communities*

Tra le tipologie di comunità *smart* considerate dal team ENEA punti di riferimento per la progettazione di una *Smart token economy* vanno annoverate sicuramente quelle comunità che si costituiscono su modelli di economia collaborativa o, appunto, *sharing economy.* Il concetto di economia collaborativa inizia a farsi strada a partire dagli anni Novanta, ma è con il nuovo millennio che inizia a diventare oggetto di studi specifici e definizioni che sono evolute nel tempo. Nel 2010, Botsman e Rogers parlavano di «un modello economico basato sulla condivisione, locazione, *gifting*, baratto, scambio e prestito di risorse sottoutilizzate, dagli spazi alle competenze ai beni, basato su scambi monetari o non monetari»[9], mentre nel 2017 il concetto veniva arricchito con considerazioni riguardanti le potenzialità di innovazione economica, sociale e ambientale, come nel caso della definizione avanzata da Frenken e Schor, secondo i quali: «La sharing economy è una platform economy che si basa su principi e modelli di impatto economici, sociali e ambientali»[10]).
Al di là delle proposte definitorie che si sono susseguite negli anni, è utile rilevare la diffusione che i sistemi di economia collaborativa hanno conosciuto negli ultimi due decenni, andando di pari passo con la sempre maggiore accessibilità a internet da parte degli utenti prima, e con la diffusione degli smartphone.
L'accessibilità della rete ha reso possibile negli anni la creazione di numerose piattaforme di *sharing economy* andando a colpire diversi ambiti della vita quotidiana e con particolare interesse per la mobilità, con la diffusione di sistemi di *car sharing* in tutto il mondo e con un notevole impatto per quanto riguarda una mobilità *green*

e sostenibile soprattutto nei centri urbani, dalle biciclette ai monopattini sino ai veicoli elettrici. Oltre all'offerta di servizi, i modelli di economia collaborativa possono essere sfruttati per lo scambio di beni materiali e informazioni, e sono oggi sempre più numerose le aziende che sfruttano piattaforme apposite o app mobile per offrire prestazioni di noleggio o consulenza professionale in tutti i settori. Gli esempi sono, ovviamente numerosissimi, da Uber a Blablacar e Enjoy per la mobilità urbana e extraurbana, passando per i *marketplace* di beni materiali, come la vetrina online di articoli di abbigliamento venduti da privati Depop o, anche Ebay, per arrivare alle piattaforme che condividono media, come le piattaforme di streaming come Netflix e Prime Video tra le più note e Mubi per un pubblico più selezionato e di nicchia. Questi esempi consentono di dare un'idea globale delle opportunità offerte dai modelli di *sharing economy*, che possono essere plasmati a seconda delle esigenze dell'azienda e del mercato al quale intende rivolgersi. L'economia collaborativa si configura come opportunità di scambio sostenibile, rispetto al modello economico lineare, perché consente di ridurre l'inutilizzo (servizi di noleggio) e gli sprechi, e presenta diversi vantaggi sia per le aziende che intendono adottare tale modello sia per i singoli consumatori. Il modello collaborativo si fonda infatti sui principi del riutilizzo, del libero accesso e della fiducia reciproca, con particolari implicazioni anche a livello sociale, soprattutto se pensata su piccola scala come, appunto, in una *smart community* urbana, laddove si configura come modalità di scambio che mette in contatto gli individui, rispetto al distacco e impersonalità di un sistema di economia lineare.
Esistono infatti differenti modelli di condivisione:

- *Peer to Peer* (P2P) piattaforme senza scopo di lucro dove è possibile trovare persone interessate allo scambio, vendita o acquisto del bene/servizio selezionato;
- *Business to Consumer* (B2C): piattaforme implementate dalle aziende a scopi commerciali;
- *Business to Business* (B2B): per gli scambi tra aziende diversi, modello utilizzato soprattutto per lo scambio o l'acquisto di macchinari.

2.4.2 *Energy communities*

Come già accennato, il tema delle Smart city, o comunità intelligenti, e il tema dell'energia sono strettamente collegati. Già nel 2009, infatti, il SET Plan avviato dalla Commissione Europea prevedeva la realizzazione di una *roadmap* integrata per lo sviluppo di nuove tecnologie *low carbon* congiuntamente all'incentivazione di iniziative legate alle *Smart city* e *Smart communities*, con i fondamentali obiettivi

di sostenibilità e competitività in ambito energetico.
Il tema energetico è uno dei pilastri fondamentali e imprescindibili in qualsiasi progetto di *Smart city*, in quanto l'uso dell'energia si concentra principalmente nei centri urbani che necessitano quindi di programmi di efficientamento energetico per risolvere criticità quali l'inquinamento atmosferico e luminoso, l'inefficienza energetica e le emissioni.
Uscendo dai confini dell'agglomerato urbano, le comunità energetiche sono il principale strumento promosso e finanziato dall'UE per favorire la transizione verso un sistema *low-carbon*, attraverso una gestione flessibile e libera dei flussi di energia.
Le comunità energetiche si configurano come insieme di soggetti appartenenti a un territorio definito che sono in grado di produrre, consumare e scambiare energia con una *governance* locale. In quest'ottica, è possibile garantire l'autosufficienza e l'autoconsumo dell'energia all'interno delle comunità e trasformare radicalmente il ruolo del consumatore che diventa parte attiva del processo decisionale comunitario in merito alla produzione, vendita e condivisione dell'energia prodotta, ma anche libero nella scelta del proprio fornitore o distributore dell'energia. L'approccio partecipativo e *human-oriented* esposto nei precedenti paragrafi in merito alla descrizione delle comunità intelligenti nel loro insieme, viene quindi mantenuto anche nelle comunità orientate prevalentemente alla costruzione di un sistema di *Smart energy* che punti soprattutto all'ottimizzazione nella produzione e distribuzione dell'energia. A tal proposito, le soluzioni sviluppatesi in tempi recenti per il raggiungimento di un uso davvero efficiente delle fonti energetiche disponibili sono le *Smart grid*. Si tratta di sistemi che integrano l'azione di una rete di informazione e una rete di distribuzione elettrica per favorire l'interazione tra gli utenti che, non più fruitori passivi di energia elettrica, possono assumere il doppio ruolo di consumatori e produttori. In questo modo si incentiva anche l'utilizzo di sistemi di accumulo diversificati con relativi effetti benefici sull'utilizzo di fonti rinnovabili.
Le *smart grid* figurano tra le priorità stilate dal World Energy Council (WEC) nel rapporto pubblicato nel 2012 e recante il titolo *Smart Grids: Best Practice Fundamentals for a Modern Energy System* come migliore soluzione per il raggiungimento di un'energia sicura, accessibile e *green*. Un ripensamento generale del sistema elettrico secondo l'implementazione di progetti di *smart grid* apporterebbe inoltre notevoli benefici sul versante economico, a partire dalla creazione di nuovi e numerosi posti di lavoro e l'affermazione di un nuovo modello energetico più efficiente.
Ad oggi si possono contare diversi progetti di comunità energetiche locali all'attivo in Europa e sul territorio nazionale. Queste comunità mantengono i capisaldi del concetto di *smartness* che abbiamo in questa sede cercato di sintetizzare. Promuovendo l'auto-produzione e l'autoconsumo energetici all'interno di comunità pre-esistenti è possibile raggiungere obiettivi che non si limitano alla solo ottimizzazione e efficientamento energetico, ma vanno anzi a colpire il tessuto sociale che ne

trae benefici a livello economico e di coesione sociale, in un generale miglioramento della qualità della vita dei cittadini. L'approccio partecipativo, che pone il cittadino in una condizione di corresponsabilità nei confronti della comunità della quale fa parte, insieme con il coinvolgimento attivo degli stakeholder locali e nazionali sono in grado di innescare processi profondi di coesione sociale.
Sul fronte delle *energy communities*, è possibile ancora una volta citare il lavoro di ENEA nell'ambito della ricerca di soluzioni *smart* e sostenibili, secondo le linee guida impostate dall'Unione Europea. Nel 2019 prende infatti avvio il progetto congiunto GECO (Green Energy Community), coordinato dall'Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile di Modena (AESS), ENEA e l'Università di Bologna. Il progetto GECO si pone come obiettivo quello di contribuire alla costituzione di modelli di comunità energetiche locali a partire da progetti pilota avviati nei quartieri Roveri e Pilastro di Bologna.

Capitolo 3

Un nuovo *concept* di comunità energetica: il progetto LEC di ENEA

Come si è tentato di evidenziare nel capitolo precedente, le comunità intelligenti, quantunque orientate a un obiettivo all'apparenza monotematico come, tra quelle qui descritte, il raggiungimento di un sistema basato sull'economia collaborativa o incentrato sul concetto di *smart energy*, mantengono una visione globale che punta al perseguimento dello sviluppo economico, sociale e ambientale della comunità stessa.
È secondo quest'ottica che ENEA, in accordo con il Ministero dello sviluppo economico (MiSE), ha sviluppato un programma di ricerca integrata per l'utilizzo razionale delle risorse energetiche. La Ricerca di Sistema (RdS), si sviluppa in un piano triennale (PT) volto alla creazione di una comunità energetica all'interno della quale il tema dell'energia non rappresenti l'obiettivo unico comunitario ma piuttosto il «vettore» attraverso il quale rafforzare la dimensione sociale puntando sulla reciprocità degli scambi tipica delle *energy communities* congiuntamente all'applicazione di modelli di *sharing economy* basati su tecnologia blockchain.
La tecnologia *blockchain* assume oggi un ruolo centrale nell'ambito della ricerca sulle comunità intelligenti; nel prossimo paragrafo sarà affrontata una breve descrizione della blockchain, o piattaforma integrata, in modo da individuarne i potenziali apporti benefici all'interno di una *smart community*. Alla base di questo progetto vi è la ricerca di un'innovazione che parta dal basso (approccio *bottom-up)*, che vada a valorizzare i singoli progetti e comportamenti virtuosi già presenti nell'area di interesse della comunità e di svilupparne di ulteriori puntando prima di tutto sul coinvolgimento e la partecipazione dei cittadini stessi e delle loro proposte e idee innovative proposte dai cittadini, in modo tale da rispettare le effettive esigenze

della popolazione evitando azioni dall'alto (approccio *top-down).*
Questo meccanismo viene innescato attraverso laboratori, fisici e virtuali, proposti alla popolazione, dagli studenti delle scuole per arrivare ai commercianti e alle pubbliche amministrazioni che vivono giorno per giorno il territorio.
Per l'applicazione pratica di questo progetto è stato selezionato il quartiere demo di Centocelle, da cui il nome Centoc'è.
In questo modo, il concetto di *Smart token community* nasce dalla necessità di innovazione tecnologica del quartiere a cui però si affianca l'innovazione sociale in maniera tale che l'uno traini l'altro.

Tecnologia blockchain

La blockchain è una tecnologia informatica che permette la creazione e il coordinamento di un complesso database distribuito per la sincronizzazione di transazioni condivisibili tra molti nodi di una rete.
Si tratta di un database strutturato in blocchi che sono tra loro collegati in modo che ciascuna transazione avviata sulla rete sia validata dalla rete stessa o meglio dai nodi stessi. La blockchain è quindi rappresentabile con una catena di blocchi che contengono e coordinano diverse transazioni.
Ogni nodo ha diversi compiti da svolgere:

- vedere le transazioni degli altri nodi
- controllare che tutte le transazioni siano coerenti
- approvare le operazioni di ciascuna transazione

Tutto questo meccanismo crea una rete che permette la tracciabilità di tutte le transazioni che per essere approvate, devono essere presenti su tutti i nodi della rete e validate. Una volta approvate sono di fatto immutabili, in quanto eventuali modifiche andrebbero riapprovate da tutti i nodi della rete.
Ogni transazione è validata con tecniche avanzate di crittografia, il che conferisce massima sicurezza alla blockchain e alle transazioni che contiene.
La blockchain è quindi un registro strutturato come una catena di blocchi contenenti le transazioni e il cui consenso è distribuito su tutti i nodi della rete, ossia tutti i nodi possono partecipare al processo di validazione delle transazioni da includere nel registro: esso è pertanto decentralizzato, crittografato e distribuito.
La sua sicurezza sta nel fatto che tutte le informazioni sono accessibili a tutti i partecipanti, quindi tutti coloro che fanno parte della catena avranno le informazioni di ciascun nodo, potranno verificarne l'identità e conoscere lo storico di ciascuna transazione.
L'immutabilità del registro, la tracciabilità delle transazioni e la sicurezza basata

su tecniche crittografiche sono qualità che rendono la blockchain particolarmente interessante per i vari ambiti applicativi e la rendono un potenziale strumento per migliorare i servizi esistenti e crearne di nuovi.

3.1 Centoc'è

Da questo nuovo *concept* basato sull'integrazione multi-modello, nasce il progetto per lo svuluppo di uno *smart district* urbano Centoc'è, promosso da ENEA in collaborazione con la LUISS e finanziato dal Ministero dello sviluppo economico.
Come suggerito dal nome, il progetto sarà realizzato nel quartiere demo di Centocelle a Roma, scelto dopo una fase di analisi e monitoraggio delle caratteristiche di diversi quartieri, tra cui Alessandrino, Tuscolano, Don Bosco e Prenestino-Labicano, dove sono stati valutati le pratiche e i comportamenti dei cittadini in linea con una visione di sostenibilità ambientale e l'apertura dei cittadini stessi a partecipare a un progetto collaborativo e di co-governance, dove è stata avviata preliminarmente una fase di analisi e monitoraggio dello stato dell'arte per quanto riguarda pratiche e comportamenti virtuosi dal punto di vista della sostenibilità ambientale.
Il progetto Centoc'è si pone l'obbiettivo di sviluppare una *Smart community* che preveda anche l'applicazione dei concetti basilari dell'economia circolare (EC) che vada a favorire lo sviluppo di nuove soluzioni per la valorizzazione degli scarti, trasformandoli in nuove risorse, e integrando l'utilizzo di una moneta virtuale, il token, per favorire gli scambi interni alla comunità. Dall'unione dei modelli teorici di comunità intelligente ed economia circolare è quindi nata l'idea di una *Smart token community*. L'idea è quella di accompagnare gli obiettivi di *sharing* energetico e inclusione sociale a sistemi di credito reciproco in grado di dare un volto più umano agli scambi economici seguendo i principi di co-produzione e reciprocità. Nello specifico, per il quartiere demo di Centocelle è stato individuato come strumento di scambio economico in linea con i principi sopraelencati, quelle dei LETS, o banche del tempo.
I LETS prevedono il versamento di una quota di adesione e l'equivalenza alla valuta nazionale; non è prevista tuttavia la convertibilità della valuta comunitaria in euro e viceversa, andando così di fatto a incentivare la comunità a svolgere attività all'interno di essa. Per incentivare l'utilizzo della valuta comunitaria, il modello britannico (il primo esistente) prevede dei sistemi di *cash-back* sugli acquisti.
Alla base di questo progetto vi è la ricerca di un'innovazione che parta dal basso (approccio *bottom-up)*, che vada a valorizzare i singoli progetti e comportamenti virtuosi già presenti nell'area di interesse della comunità e di svilupparne di ulteriori puntando prima di tutto sul coinvolgimento e la partecipazione dei cittadini stessi e delle loro proposte e idee innovative proposte, in modo tale da rispettare le effettive

esigenze della popolazione evitando azioni dall'alto (approccio *top-down).*
Questo meccanismo viene innescato attraverso laboratori, fisici e virtuali, proposti alla popolazione, dagli studenti delle scuole per arrivare ai commercianti e alle pubbliche amministrazioni che vivono giorno per giorno il territorio.

3.1.1 Modello economico.

Nella progettazione del modello di *Smart district* urbano, sono state prese in considerazione diverse opzioni riguardanti il sistema economico più adatto da integrare alla futura comunità. In questa fase sono state vagliate le soluzioni che maggiormente possono allinearsi all'ottica generale di sostenibilità ambientale e accrescimento del capitale sociale, così che anche sul versante del funzionamento economico possano stabilirsi delle pratiche volte all'innovazione sociale.

Economia circolare.

L'applicazione di modelli di economia circolare[1] consente di testare un modello di comunità intelligenti che si basi su una struttura economica alternativa a quella lineare, con evidenti punti di interesse nell'ambito della ricerca nel campo delle *smart communities.*
Al di là dei benefici nell'ambito della ricerca accademica, i precetti fondamentali dell'economia circolare, ossia la riduzione, quando non addirittura l'eliminazione, degli sprechi grazie alla valorizzazione di materiali e risorse, applicati al contesto urbano, comportano una serie di vantaggi a lungo termine sia a livello economico, sociale e ambientale, sia sul versante dei processi cooperativi all'interno della comunità.
Tali modelli, se opportunamente applicati e sviluppati, possono dar vita a processi di rigenerazione e riqualificazione urbana, coinvolgendo i soggetti appartenenti alla comunità e le istituzioni in un lavoro congiunto volto a definire interventi di recupero a livello infrastrutturale e dei servizi, e quindi allargando i benefici dell'economia circolare a tutto il tessuto sociale andando a migliorare la qualità della vita all'interno della comunità.
Il progetto Cento'è è stato pensato per essere un vero e proprio «laboratorio» di economia circolare su scala urbana, a partire dall'individuazione, che ha coinvolto

[1]Intendiamo qui per "economia circolare" un «sistema in cui tutte le attività, a partire dall'estrazione e dalla produzione, sono organizzate in modo che i rifiuti di qualcuno diventino risorse per qualcun'altro. Nell'economia lineare, invece, terminato il consumo termina anche il ciclo del prodotto che diventa rifiuto, costringendo la catena economica a riprendere continuamente lo stesso schema: estrazione, produzione, consumo, smaltimento», Economia circolare ed il ruolo della PA, Forum PA 2017, Roma. Fondazione Ellen MacArthur

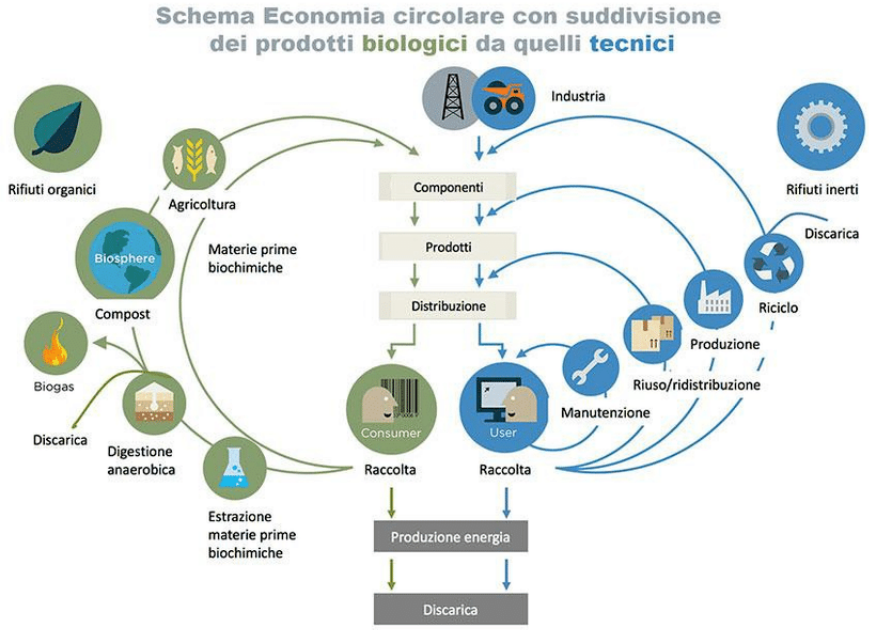


Figura 3.1: Fonte: Schema economia circolare, Ellen MacArthur Foundation, 2013.

la popolazione del quartiere, di comportamenti virtuosi ricollegabili ai modelli di EC già presenti, come ad esempio la presenza di case dell'acqua, orti e giardini urbani pratiche di ottimizzazione delle risorse (ristorante a km 0, gruppo di acquisti condivisi) e pratiche di chiusura dei cicli (mercato dell'usato e raccolta di beni ingombranti). I ricercatori ENEA hanno inoltre coinvolto i cittadini in una prima fase informativa sul modello economico alternativo proposto, favorendone il dialogo e la collaborazione in modo da costruire il progetto secondo le necessità reali di chi abita il quartiere.

Sistemi mutualistici. Sistemi di baratto asincrono e banche del tempo.

Il team di esperti ENEA che si è occupato della modellazione economica della comunità ha preso in considerazione in via preliminare i diversi sistemi di credito reciproco oggi esistenti concentrandosi soprattutto sul *Local Exchange Trade Systems* (LETS) e il *Corporate Barater*. Entrambi i sistemi si fondano sui principi della co-produzione e della reciprocità, e pertanto risultano particolarmente affini alla *vision* del progetto.
I sistemi di *Corporate barater* - o baratto asincrono in italiano - sono dei circuiti commerciali pensati per aziende e società che decidono di aderire a un sistema di scambio retto da una valuta propria (solitamente del valore equivalente a quella

nazionale) all'interno del quale possono scambiare i propri beni e servizi e acquistare quelli messi a disposizione da altri sulla base del proprio potenziale[2].
I LETS sono schemi economici sociali, delle reti di scambio in cui qualsiasi tipo di bene o servizio può essere scambiato utilizzando una valuta locale. Il primo modello di LETS esistente è quello britannico delle banche del tempo in cui il valore della prestazione può essere negoziato e non è espresso in termini di tempo. La liquidità all'interno del sistema viene garantita principalmente dall'accumulo delle quote di adesione di chi vi partecipa. Il sistema offre innumerevoli vantaggi, a partire da una tipologia di scambio dal volto più umano contrapposta a una logica di economia lineare e impersonale. Inoltre, la valuta viene accettata all'interno del sistema ed è equivalente alla valuta nazionale e non convertibile.
Si tratta di quelle che in Italia vengono definite Banche del tempo (BdT), ossia dei sistemi in cui avviene una transizione rispetto ai sistemi economici tradizionali in cui la misura di scambio è il denaro , per passare a sistemi in cui il valore di scambio di beni servizi e saperi messi a disposizione dal singolo partecipante al circuito viene misurato in termini di tempo. In tal modo, le BdT promuovono un concetto di solidarietà sociale[3] e di uguaglianza del valore del tempo messo a disposizione da ognuno. Chiunque può infatti aderire al sistema mettendo a disposizione la propria abilità professionale. Questi sistemi non prevedono la negoziazione del prezzo di un servizio, in quanto l'unità di misura della prestazione offerta è l'ora lavorativa, secondo un principio di pari dignità delle attività scambiate. In questo modo, la prestazione offerta da un'insegnante durante un'ora di lezione privata di inglese avrà il medesimo valore di scambio di un'ora di baby-sitting o di una prestazione di un giardiniere della durata di un'ora.
Le Banche del tempo sono riconosciute in Italia già dal 2000 come strumento atto a favorire il raggiungimento delle pari opportunità sul territorio nazionale. .

---

[2]L'esempio più opportuno di *corporate barater* in Italia è il Circuito di Credito Commerciale *Sardex* Si tratta di un circuito di moneta complementare operante in Sardegna dal 2011. Il Sardex è equivalente alla valuta nazionale (1 Sardex= 1 Euro); qualsiasi impresa o società può entrare nel circuito versante una quota di adesione e un canone annuale di permanenza e può eseguire transazioni all'interno del circuito vendendo e/o acquistando beni e servizi con regolare fattura in euro. A partire dalla Sardegna il Circuito di Credito Commerciale si è negli anni allargato andando a includere altre regione, ognuna funzionante con valuta alternativa propria: Piemonte, Lombardia, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Umbria, Campania, Emilia Romagna.

[3]L'Associazione nazionale delle Banche del Tempo in Italia definisce infatti le BdT come «sistema in cui le persone scambiano reciprocamente attività, servizi, saperi. Definendole quindi come: "libere associazioni tra persone che si auto-organizzano e si scambiano tempo per aiutarsi soprattutto nelle piccole necessità quotidiane". Sono "luoghi nei quali si recuperano le abitudini ormai perdute di mutuo aiuto tipiche dei rapporti di buon vicinato. Oppure si estende a persone prima sconosciute l'aiuto abituale che ci si scambia tra appartenenti alla stessa famiglia o ai gruppi di amici"» cit. *Cosa sono le Banche del tempo*; https://www.associazionenazionalebdt.it/cosa-sono-le-banche-del-tempo/

L'articolo 27 della legge 53/2000 recita:

> «Per favorire lo scambio di servizi e di vicinato, per facilitare l'utilizzo dei servizi della città e il rapporto con le pubbliche amministrazioni, per favorire l'estensione della solidarietà nelle comunità locali e per incentivare le iniziative di singoli e gruppi di cittadini, associazioni, organizzazioni ed enti che intendano scambiare parte del proprio tempo per impieghi di reciproca solidarietà e interesse, gli enti locali possono sostenere e promuovere la costituzione di associazioni denominate "banche del tempo". Gli enti locali, per favorire e sostenere le banche del tempo, possono disporre a loro favore l'utilizzo di locali e di servizi e organizzare attività di promozione, formazione e informazione. Possono altresì aderire alle banche del tempo e stipulare con esse accordi che prevedano scambi di tempo da destinare a prestazioni di mutuo aiuto a favore di singoli cittadini e della comunità locale. Tali prestazioni devono essere compatibili con gli scopi statutari delle banche del tempo e non devono costituire modalità di esercizio delle attività istituzionali degli enti locali».

Da tale definizione risulta evidente come la partecipazione attiva degli enti locali (intesi sia come pubblici che come privati, gli stakeholder nel loro complesso) sia di fondamentale importanza per la promozione delle attività connesse alle Banche del tempo. Purtroppo l'evidenza della situazione italiana nell'ambito dei sistemi mutualistici dimostra un sostanziale disinteresse da parte di questi, con inevitabili ricadute sull'effettivo sviluppo dei sistemi mutualistici.
Per questo motivo una delle priorità del progetto Centoc'è è proprio quella di coinvolgere il più possibile gli stakeholder agli obiettivi comunitari, anche attraverso una serie di incentivi a livello sia economico che energetico.

Sistema mutualistico misto

Una volta elencati i diversi modelli economici vagliati dal team di esperti di ENEA per la modellazione di una *smart token economy*, un discorso assestante va fatto per il modello che sarà effettivamente implementato nella comunità. Tale modello si configura come un sistema mutualistico misto, ossia un sistema basato sull'innovazione tecnologica, attraverso l'implementazione di Banche del tempo digitali, arricchito dall'utilizzo di una piattaforma blockchain e con un occhio di riguardo alla componente energetica. Centoc'è nasce infatti anzitutto come progetto inserito nell'ambito di studi delle comunità energetiche. Grazie al sistema mutualistico misto si ritiene sia possibile raggiungere l'obiettivo di un maggiore coinvolgimento degli stakeholder.
Si ritiene che l'implementazione di un sistema energetico all'interno della comunità possa apportare notevoli vantaggi dal punto di vista della risposta dell'utenza,

andando ad attirare sia cittadini che stakeholder, che ne trarrebbero beneficio in termini di risparmio economico e di consapevolezza energetica. In questo modo si va a creare una *Local energy community* (LEC) corredata di piattaforma basata su tecnologia blockchain, utile sia per il monitoraggio e relativo allineamento del sistema alle reali esigenze dei partecipanti che possono esprimere la propria opinione sottoforma di commenti e feedback. Rispetto alle BdT tradizionali, il sistema misto risulta inoltre più appetibile per tutti gli attori coinvolti proprio perché consente ai singoli di essere gestori in prima persona dell'energia.

3.1.2 Modello energetico e blockchain

Oltre alla presentazione dei modelli economici presi in considerazione per il progetto LEC, mantenendo un'ottica che dà particolare importanza all'aspetto sociale della comunità, è utile in questa sede concedersi una digressione in merito all'applicazione della tecnologia blockchain - vero fattore innovativo del progetto - per l'implementazione di un modello energetico *smart*. Tale tecnologia presenta infatti notevoli benefici sul versante dell'ottimizzazione e utilizzo razionale dell'energia e risulta oggi uno degli strumenti più interessanti da analizzare per quanto riguarda le comunità energetiche.
Le tecnologie blockchain fanno parte della grande famiglia delle *Distributed Ledger Technology* (DLT)[4] nelle quali il registro è strutturato, come suggerisce il nome, in blocchi contenenti le transazioni e dove il consenso è distribuito su tutti i nodi della rete. Le caratteristiche peculiari della tecnologia blockchain ricordiamo essere l'immutabilità del registro, la tracciabilità e la sicurezza.
Scostandoci da una definizione prettamente tecnologica, è importante sottolineare il ruolo fondamentale della blockchain nella definizione dell'*Internet of Value*, ossia l'abilitazione alla libera circolazione del valore all'interno di essa.
La definizione di *Internet of Value* presenta infatti caratteristiche chiave analoghe a quelle della blockchain, ossia il principio di decentralizzazione, la possibilità di disintermediare gli attori esistenti e il registro immutabile e trasparente. Ulteriori benefici sono inoltre la tracciabilità dei trasferimenti, che sono sempre programmabili e digitalizzati.
Vediamo ora più nel dettaglio i fattori che rendono questa tecnologia particolarmente affidabile.
La validazione delle transazioni avviene tramite la funzione crittografica di Hash, un algoritmo matematico capace di convertire dei dati di lunghezza arbitraria in una stringa di dimensione fissa. Tale funzione è progettata per essere unidirezionale

[4]Le DLT sono dei sistemi che permettono ai nodi di una rete di apportare delle modifiche al registro distribuito, in assenza di un ente centrale, al momento del raggiungimento del consenso.

e perciò è pressoché impossibile risalire ai dati di input avendo a disposizione l'hash di output. Le proprietà fondamentali della funzione di Hash sono:

- capacità di identificare univocamente il messaggio: non è possibile che due messaggi differenti abbiano lo stesso valore di hash

- determinatezza: lo stesso messaggio viene tradotto sempre nello stesso codice hash

- semplicità di calcolo del valore di hash di un messaggio

- complessità di decriptazione del valore di hash a partire da un messaggio.

Una volta spiegata la tecnologia alla base della blockchain e cosa ne determini l'elevato livello di sicurezza, veniamo all'utilizzo nell'ambito del *PowerUtilities* (P&U).
L'applicazione della blockchain al settore energetico è, ad oggi, uno degli ambiti economici in cui si sta maggiormente concentrando la ricerca. La blockchain infatti rappresenta l'aspetto che, forse più di tutti, riuscirebbe a conciliare la creazione di nuovi servizi per gli utenti e allo stesso tempo accompagnerebbe lo sviluppo sostenibile del mercato dell'energia.
Per fornire un esempio immediato, l'utilizzo della blockchain permetterebbe ai proprietari di un veicolo elettrico di utilizzare tutte le stazioni di ricarica indipendentemente dalla proprietà di quest'ultima.
L'integrazione della blockchain permetterebbe di rendere interoperabili le varie stazioni di ricarica contribuendo all'identificazione del soggetto, registrazione del consumo, fatturazione e suddivisione dei compensi tra gli attori coinvolti. Questa soluzione aiuterebbe ad aumentare le tratte percorribili dalle vetture elettriche, oggi piuttosto limitate.
La blockchain risulta di particolare interesse non solo nel campo dell'autotrazione, ma permetterebbe anche di mitigare i sovraccarichi nelle centrali elettriche, attraverso la flessibilità energetica estesa anche ai singoli cittadini.
In particolare, l'utilizzo della blockchain permetterebbe al TSO (*Trasmission System Operator*), in accordo con le offerte contrattate nell'IPEX (*Italian Power Exchange*), acronimo della borsa elettrica italiana, all'interno del MSD (Mercato per il Servizio di Dispacciamento), di inviare le richieste ai diversi soggetti che possono accettare o meno la riduzione di potenza richiesta tramite lo spegnimento di elettrodomestici e impianti di illuminazione. Una volta raccolte tutte le offerte, viene notificata l'accettazione e successivamente condivisa in rete.
Tale riduzione viene poi misurata dal contatore e registrata nella blockchain. Le

Figura 3.2: Fonte "Le opportunità della blockchain per lo scambio di energia P2P", Politecnico di Milano

condizioni richieste, se verificate tramite smart contract[5], vengono registrate sulla blockchain. Il vantaggio per l'utente finale è quello di ottenere uno sconto sul costo della bolletta e accumulare punti flessibilità utilizzabili per ottenere migliori prezzi di fornitura dell'energia. Nel caso di una *Smart token community* come quella in progetto per il quartiere di Centocelle, dove la valuta comunitaria non sarà differenziata a seconda dell'uso energetico o sociale, i punti flessibilità (convertiti in token) possono essere utilizzati per lo scambio di beni e servizi. Sintetizzando, nella *Smart token community* sarebbe possibile guadagnare token spendibili all'interno della comunità come incentivo a comportamenti sostenibili dal punto di vista energetico.
Nell'ambito degli scambi Prosumer to Consumer (P2C), la blockchain permette di effettuare transazioni in loco dell'energia elettrica prodotta dai prosumer e consumata dai consumer, tramite impianti fotovoltaici, micro-cogeneratori di proprietà, o qualsivoglia tecnologia di produzione energetica. In quest'ottica si può parlare di una sorta di energia a km0.
La blockchain registra sul wallet del prosumer l'energia prodotta, convertendola in

[5]Sono protocolli informatici volti a controllare, documentare e automatizzare eventi e azioni legalmente rilevanti secondo i termini di un contratto.

token, contabilizza quella auto-consumata, decurtando quindi una parte dei token presenti nel wallet del prosumer, e immette in rete la restante parte che potrà essere acquistata dai consumer. Il consumer potrà richiedere tramite una piattaforma apposita, il prezzo massimo al quale vuole acquistare l'energia e tutte le altre condizioni, come per esempio la metodologia usata per produrla e le condizioni di interrompibilità . Una volta trovato il match tra domanda e offerta, viene registrata in automatico una transazione in blockchain con le condizioni proposte dal consumer ed accettate dal prosumer.
Allo stato attuale, i prosumer non possono vendere direttamente l'energia ai consumer. Tuttavia, la quota parte dell'energia che viene prodotta ma non autoconsumata viene immessa in rete e viene corrisposto un contributo, da parte del GSE (Gestore Servizi Energetici) a favore dei prosumer. Questo meccanismo non permette ai prosumer di stabilire il prezzo di vendita dell'energia. La soluzione è per l'appunto quella di utilizzare una blockchain nella quale i prosumer abbiano la possibilità di vendere il surplus direttamente ai consumer, attraverso l'utilizzo di un marketplace dove contrattare direttamente con il consumer il prezzo di vendita. D'altro canto, il consumatore avrebbe l'opportunità di comprare energia direttamente dal produttore, andando a selezionare il mix energetico desiderato e contrattando il prezzo senza intermediazioni. Un altro aspetto importante è la remunerazione istantanea, permessa dall'utilizzo degli smart contract che automatizzano il processo di fatturazione e remunerazione.
Nelle analisi di scenario, condotte dal Politecnico di Milano [11], riguardanti l'implementazione di una blockchain nel mercato dell'energia per favorire lo scambio di energia P2C, sono stati considerati due scenari di riferimento, uno Worst case e uno Best case. I due scenari differiscono nella risposta degli utenti alla proposta di utilizzare la blockchain per lo scambio di energia. Nel Worst Case viene utilizzato questo metodo di scambio solo dagli utenti già predisposti, ciò significa che non si raggiunga una crescita di prosumer e di consumer. Nello scenario Best case, invece, si ipotizza una crescita parallela di prosumer e consumer (figura 3.3).
Per i due scenari sono state fatte delle assunzioni piuttosto cautelative. Anzitutto, non è stata presa in considerazione la possibilità che vengano installate batterie di accumulo e non è stato previsto che i prosumer fossero stakeholder ma solo singoli cittadini. In queste condizioni, è stato rilevato che la domanda di energia sia sempre maggiore dell'offerta. Ad ogni modo, anche utilizzando queste assunzioni piuttosto forti, si è stimato un risparmio per spese di energia del 3% annui per i consumer e un risparmio per i prosumer del 39%, nel caso in cui l'impianto fosse già presente, e del 57% nel caso il prosumer abbia installato l'impianto, e quindi dimensionato in funzione di questo tipo di scambio, all'avvio del progetto.
È importante far notare come questo meccanismo non vada a modificare la struttura preesistente del mercato. Anche nel caso di attivazione di un marketplace basato su blockchain, infatti, le Utility avranno un introito maggiore del 1%, derivante dai

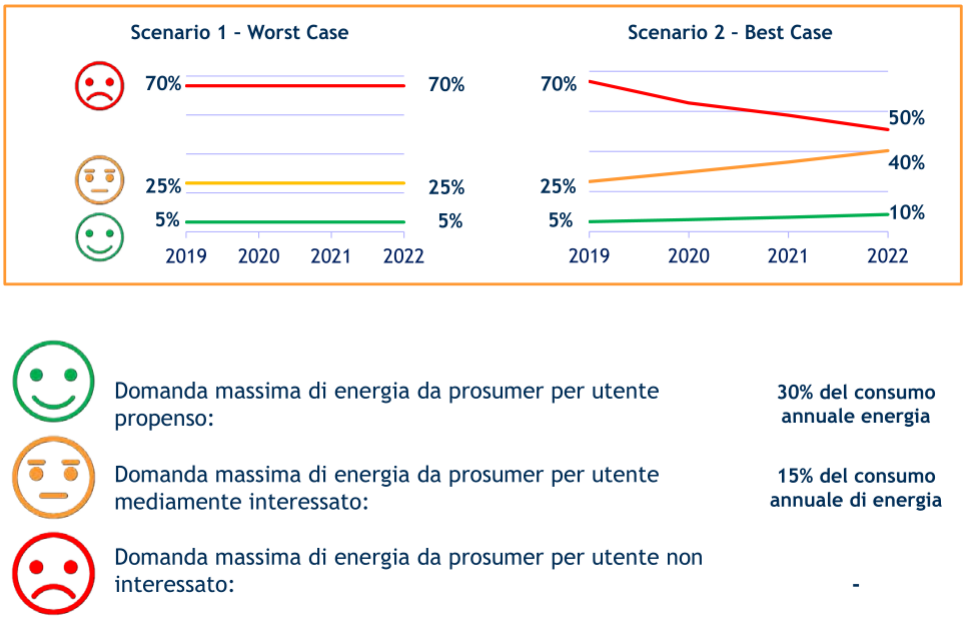


Figura 3.3: Scenari Best case e Wort case. Fonte "Le opportunità della blockchain per lo scambio di energia P2P", Politecnico di Milano

ricavi sulle fee per il servizio di prosuming, ma perderanno il margine sull'energia venduta. Essendo il mercato dell'energia una realtà in continua mutazione, è importante sottolineare come questa soluzione permetterebbe agli attori presenti di diversificare e innovare la propria posizione all'interno del mercato energetico.
Il progetto ENEA concilia gli aspetti energetici con gli aspetti economico-sociali illustrati. L'obiettivo è quello di attirare sempre più persone all'interno della comunità proprio grazie a questa visione che unisce innovazione tecnologica e innovazione sociale, e quindi di creare una grande rete interconnessa.

Capitolo 4

Simulatore

Una volta definito lo scheletro teorico della Smart Token Community, il progetto prevedeva la progettazione di un simulatore per studiarne l'andamento nel tempo. Un sistema, quindi, a scopo previsionale, da utilizzarsi sia in questa fase preliminare del progetto, di modo tale da operare delle scelte strategiche sulla base dei diversi scenari che potrebbero profilarsi nella comunità, sia a progetto avviato, con funzioni di adattamento e di controllo della stessa.
La progettazione di un simulatore implica delle scelte metodologiche iniziali per le quali si è lavorato in collaborazione con gli esponenti della divisione Smart energy di Enea e della LUISS.
Anzitutto, si è deciso di studiare in maniera approfondita il meccanismo di scambio in token, lasciando temporaneamente in secondo piano la componente economica in euro, per la quale sarebbe necessario uno studio specifico, attualmente in agenda, data la sua doppia funzione di remunerare la piattaforma da un lato e quella di creare capitale per futuri investimenti sulla comunità dall'altro.
Il simulatore è stato progettato con l'ausilio di MatLab per il core del programma e App Designer per la costruzione di un'interfaccia grafica user-friendly, che consente di inserire in maniera facile ed intuitiva i valori delle ipotesi iniziali e, quindi, vagliare le combinazioni possibili che rendono sostenibile la comunità.
L'interfaccia grafica ha un ruolo importante all'interno del simulatore in quanto, in prospettiva futura, potrà essere utilizzata dagli analisti della divisione Smart energy di Enea per monitorare l'andamento della community una volta avviata, di volta in volta modificando i parametri per valutare le migliori scelte strategiche possibili.
Per quanto riguarda la tipologia di simulatore adottata, in questa fase preliminare del progetto la scelta è ricaduta su un simulatore con visione globale del sistema. Adottando questa tipologia, si fanno preliminarmente delle assunzioni di carattere generale per poi lavorare su valori medi piuttosto che fare assunzioni sui singoli che avrebbero portato a dei valori incerti. Un simulatore ad agenti avrebbe insomma

richiesto uno studio più approfondito dell'aspetto sociale, che in questa fase si sarebbe limitato all'ambito delle ipotesi, non esistendo ancora una comunità, come quella pensata in questo progetto, all'attivo. È doveroso specificare, inoltre, che un simulatore ad agenti non può prescindere da un simulatore di carattere generale, in quanto quest'ultimo funziona come strumento di verifica delle assunzioni sui singoli agenti, come verrà affrontato in seguito.
La progettazione del simulatore ha richiesto tre fasi preliminari: la modellazione, ovvero la definizione matematica e semplifica del comportamento della comunità; la programmazione del simulatore che seguisse tali leggi, che con l'ausilio anche di file excel potesse esplorare tutte le possibili configurazioni desiderate dall'analista ed in fine un sistema di ottimizzazione dinamico che andasse a verificare, e nel caso modificare i parametri di controllo precedentemente impostati, che il sistema non diverga o collassi, ma quindi che il volume di token presenti, rapportati al numero di partecipanti, rimanga costante per tutto il tempo di simulazione.

4.1 Descrizione del simulatore

Il simulatore lavora sulla base di due file excel precompilati (appendice A), uno per il caso mutualistico e uno per il caso economico, all'interno dei quali vengono inseriti i dati relativi al prezzo di ogni azione, la suddivisione delle transazioni per ogni azione, gli incentivi e la suddivisione degli incentivi tra fruitore ed erogatore del bene e/o servizio.
Per ognuno di questi file sono state individuate 8 categorie di transazione che identificano tutte le combinazioni delle possibili transazioni effettuate tra i membri:

1. Cittadino - Cittadino
2. Cittadino - Cittadino con struttura
3. Stakeholder - Cittadino
4. Stakeholder - Stakeholder
5. Cittadino - Stakeholder
6. Cittadino - Comunità
7. Stakeholder - Comunità
8. Cittadino - Comunità con struttura

Le azioni che coinvolgono l'utilizzo di una struttura, quindi le azioni che rientrano nelle categorie (2) e (8) dell'elenco, implicano l'utilizzo di una struttura di proprietà

di uno stakeholder, sia esso pubblico o privato, che dovrà essere remunerata. Un esempio può essere quello dell'organizzazione di un evento all'interno di una scuola, che si considera struttura messa a disposizione della comunità da uno stakeholder pubblico. La struttura può essere remunerata in token attraverso una percentuale del prezzo sul biglietto per partecipare all'evento..
Le prime 5 categorie indicano delle azioni tra singoli membri della comunità, mentre le ultime 3 categorie rappresentano i servizi che vengono svolti per l'interesse pubblico, come la cura di un orto urbano o la manutenzione del verde pubblico.
Per ogni categoria di transazioni sono state individuate le seguenti sub-categorie:

- Servizi alla persona
- Servizi di noleggio
- Cessione beni usati
- Beni nuovi
- Servizi energetici

Il prezzo dei servizi alla persona è definito, in regime mutualistico, tramite il prodotto tra il prezzo mutualistico, espresso in token/ora, e il numero di ore che quella determinata azione richiede:

$$T_{serv.pers} = T_{mutualistico} * h_{azione}$$

Per quanto riguarda il mercato economico, invece, i prezzi sono stati desunti dalle statistiche ISTAT.
Più complesso risulta invece il caso dei beni nuovi, per i quali è stata esclusa la possibilità di pagare interamente il bene in token, preferendo invece un sistema di pagamento in euro al quale corrisponderà un cash-back in token dato da una percentuale sul prezzo in euro. In questo modo è possibile evitare l'insorgere di fenomeni legati all'evasione fiscale.
I servizi energetici individuati sono la cessione di energia auto-prodotta, la flessibilità energetica e servizi di fornitura di consulenza nell'ambito energetico. Il prezzo di questi beni e servizi viene calcolato a seconda della tipologia di servizio energetico. Esistono per l'appunto tre tipologie di servizi energetici, il primo è la flessibilità energetica e sarà cura del distributore stabilire l'entità della remunerazione, il secondo è lo scambio di energia vero e proprio, in questo caso si è soggetti a normativa che, allo stato attuale prevede che sia la comunità a remunerare tale scambio tramite un incentivo, in questa sede, dove vengono fatte delle ipotesi che poi andranno validate da ulteriori studi specifici, si è assunto che l'entità dell'incentivo sia pari ad un decimo del prezzo dell'energia al 20 luglio 2020 e quindi pari a 0.003261 token/kWh. Il fattore di conversione sarà aggiornato di volta in volta seguendo la variazione del

prezzo dell'energia. L'ultimo servizio energetico possibile all'interno della comunità è quello riguardante la fornitura di competenze per *smart home* o 110% dove, pur essendo legati al sistema energetico, vi è uno scambio di competenze che quindi verrà remunerato come un servizio alla persona tramite la conversione token/ora.

$$T_{vend.energia} = 0.003261[\frac{token}{kWh}] * kWh_{scambiati}$$

Per ognuna delle seguenti sub-categorie sono state selezionate numerose attività tra le più richieste dai partecipanti, come è emerso dal questionario sottoposto durante il Webinar organizzato in data 22 luglio dalla LUISS. È tuttavia ancora necessario uno studio approfondito sulle normative vigenti in materia di azioni concesse in una *smart community*, sia in regime mutualistico che economico.
Ogni azione e bene è stato valutato conferendogli un valore compreso tra 0 e 5, in base alla sua utilità sociale e/o sostenibilità ambientale. Moltiplicando questo coefficiente (υ) per un coefficiente di incentivazione (ι) è possibile ottenere il valore, in token, dell'incentivo di quel bene o servizio:

$$T_{inc,i} = \upsilon_i * \iota * T_{inc}$$

Una volta ottenuto il valore dell'incentivo della singola azione, è stato studiato come ripartire tale incentivo tra erogatore e fruitore. Tale suddivisione viene definita tramite un coefficiente α all'interno dei file excel, dove 0 indica che l'incentivo che verrà corrisposto all'erogatore mentre 1 al fruitore del servizio:

$$T_{fruitore} = T_{inc} * \alpha \qquad T_{erogatore} = T_{inc} * (1 - \alpha)$$

Tale suddivisione si è resa necessaria perché, mentre alcune azioni come per esempio il noleggio di un bene è eco-sostenibile sia da parte del fruitore che da parte dell'erogatore, in quanto consente di evitare gli sprechi dovuti all'inutilizzo e allo stesso tempo evitare l'acquisto di un bene nuovo rivalutando quindi uno già esistente, il pagamento in token di determinate azioni, come ad esempio la lezione di lingua risulta incentivante di per sé. In quest'ultimo caso l'incentivo verrà corrisposto totalmente all'erogatore del servizio.
In buona sintesi, possiamo dire che esistono azioni eco-sostenibili per le quali è necessario un incentivo ulteriore, come appunto le azioni di *sharing*, mentre altre sono incentivate dallo scambio in token stesso.
Il simulatore, tramite la sua interfaccia grafica consente di lavorare a seconda delle necessità su un aspetto alla volta:

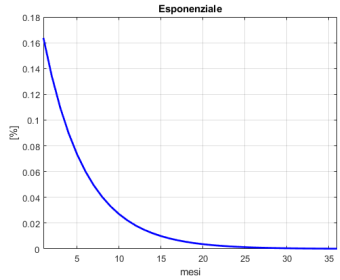
- Adesioni
  - Cittadini
  - Stakeholder

- Tipologia di mercato
- Flusso di token
- Controllo

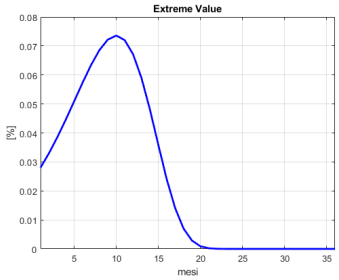
Ogni aspetto permette di fare delle ipotesi indipendenti tra loro.
Le assunzioni qui riportate sono quelle utilizzate durante la fase di progettazione del simulatore e, quindi, con la sola funzione di supportare il periodo di testing dello stesso. Come già ricordato, il simulatore è stato pensato per essere costantemente modificabile e aperto alle future decisioni del team di analisti di Enea. Per questo motivo, nel presente elaborato le assunzioni in oggetto sono da intendersi come esemplificative e non definitive; le singole scelte sono infatti motivate dalla necessità di adattare il simulatore a qualsiasi configurazione, mantenendo un'ottica universale.

4.1.1 Adesioni

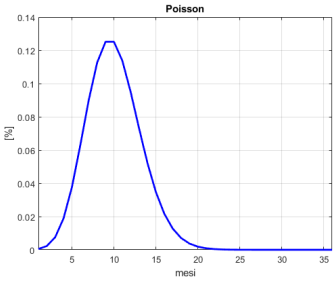
Per la modellazione dell'andamento di adesione dei cittadini si sono studiati anzitutto i feedback risultanti dall'analisi condotta sui principali *social-network* e siti che forniscono piattaforme per lo scambio di beni e servizi, sia tra privati, tra aziende che tra privati ed aziende.
Tali andamenti sono stati poi semplificati, escludendo quindi i vari picchi, e trasformati in *probability density functions*.
Si è quindi deciso di utilizzare i seguenti andamenti di adesione, rappresentati in figura: 4.1
Gli andamenti possono essere selezionati e opportunamente modificati tramite la correzione del valore medio e della deviazione standard che permettono di modificare le curve e, quindi, andare a simulare diversi andamenti di adesione come mostrato in figura 4.2
Gli andamenti indicano, per ogni mese, la percentuale delle nuove adesioni mensili sul totale di popolazione attesa a regime. Questo dato deve essere impostato ad inizio simulazione.
Nel caso studio del progetto, ovvero Centocelle, la base di partenza è costituita da 50'000 cittadini con una saturazione presunta tra i 5'000 e i 20'000 cittadini.
Nella figura 4.3, presa dal simulatore, vi è un esempio dell'andamento di adesione dei cittadini con i parametri rappresentati:
Come si può notare dalla figura, il simulatore è stato pensato in tutte le sue parti per essere a tutti gli effetti un simulatore da utilizzare per un'analisi del sistema.
Attraverso il tasto Load è possibile caricare vecchie simulazioni e confrontarle con le nuove, in maniera tale da poter paragonare come cambia la nostra comunità a seconda delle ipotesi fatte.
Quanto visto finora viene applicato anche agli stakeholder, ossia tutti quegli enti



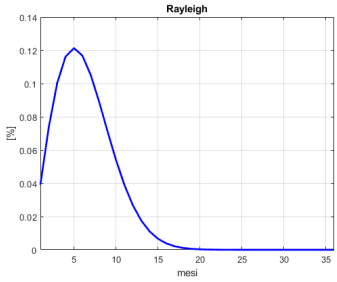
(a) Esponenziale



(b) Extreme Value

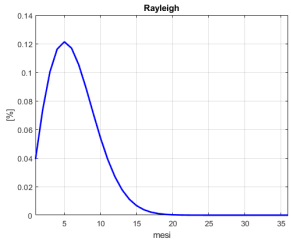


(c) Poisson

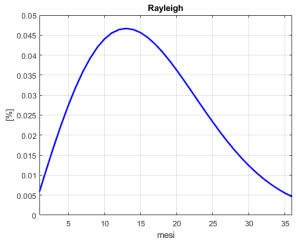


(d) Rayleigh

Figura 4.1: Probability Density Function



(a) Rayleigh $\sigma = 5$



(b) Rayleigh $\sigma = 13$

Figura 4.2: Modifica Probability Density Function

pubblici e privati che si occupano di fornire beni e servizi alla comunità e che intendono partecipare al progetto.
Gli stakeholder sono stati accorpati in 5 categorie:

- Servizi energetici (produttori e distributori)
- Pubblica amministrazione
- Esercizi commerciali e liberi professionisti

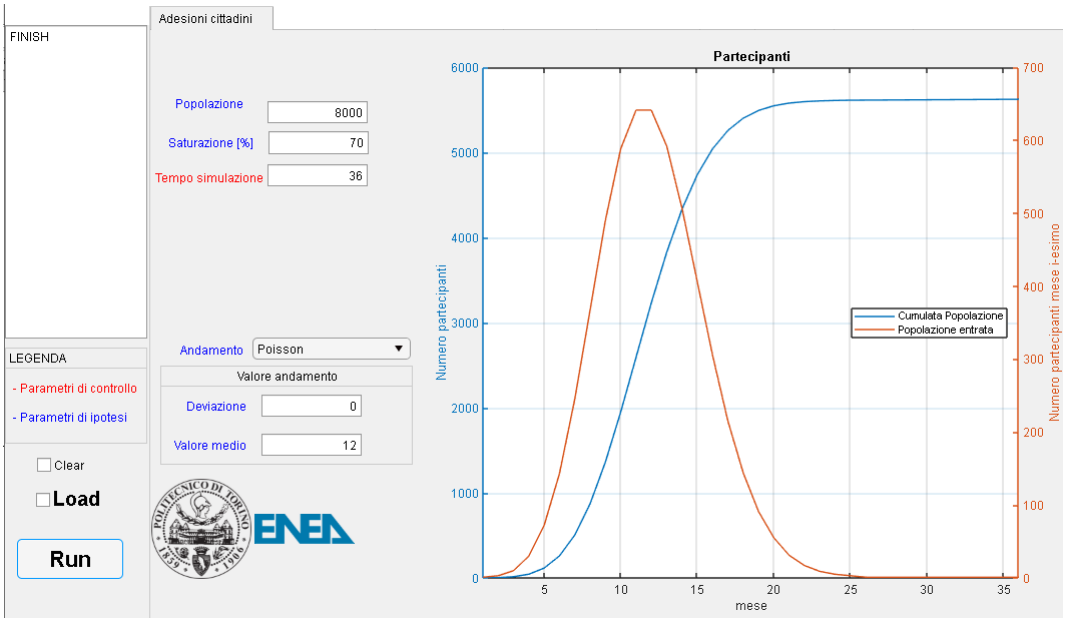


Figura 4.3: Interfaccia grafica andamento adesione cittadini

- Associazioni e terzo settore
- Servizi educativi e di ricerca

Gli andamenti di adesione di ogni categoria sono indipendenti gli uni dagli altri, quindi è possibile selezionare 5 andamenti diversi per le 5 categorie di stakeholder come mostrato in figura 4.4.
I vantaggi economici per gli stakeholder, nell'aderire alla piattaforma, risiedono nel fatto che, grazie ad essa, possono aumentare la loro base di clienti e quindi avere dei maggiori introiti.

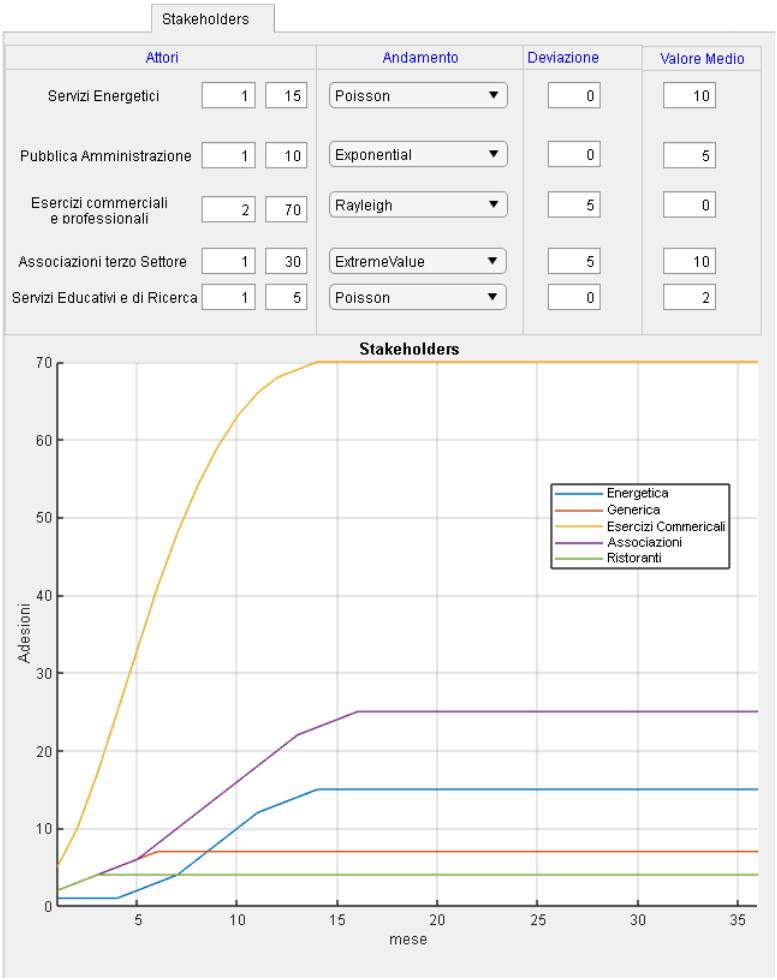


Figura 4.4: Interfaccia grafica andamento adesione stakeholder

4.1.2 Tipologia di mercato

Sul versante economico, sono state individuate due tipologie principali di mercato, uno mutualistico ed uno economico che, oltre a sottostare a diverse leggi all'interno del simulatore, come già detto in precedenza, sono soggette a legislazione differente. Nel sistema mutualistico non è prevista la contrattazione del prezzo per i servizi alla persona. Questo implica che per ogni servizio alla persona viene pagato un corrispettivo in token dipendente dalle ore impiegate per quella determinata azione, senza tenere conto del valore economico delle stesse. In questo modo, e per offrire un esempio immediato, una lezione di inglese della durata di un'ora sarà equiparata a un'ora di baby-sitting nel compenso, o di qualsivoglia altra attività della durata di un'ora. Tale funzionamento viene applicato anche nel caso dei bonus sull'acquisto

di beni nuovi e sull'energia. Anche per queste due categorie, infatti, non è prevista una contrattazione del prezzo.
Diversamente, per i beni nel mercato mutualistico, all'interno del simulatore, si seguono le leggi che regolano il sistema economico nella sua interezza. Semplificando, non è previsto un comportamento mutualistico nello scambio di beni. Questo comporta che si abbia una contrattazione del prezzo che, all'interno del simulatore, avviene attraverso la moltiplicazione del valore prestabilito per un numero random nel range 0.5 e 1.5. Questo meccanismo viene attivato utilizzando sempre lo stesso seed randomico per simulare il meccanismo di contrattazione ed accettazione tra il fruitore e l'erogatore del bene.
Nel regime mutualistico entra in gioco il funzionamento delle banche del tempo, il valore di scambio di un bene usato tra erogatore e fruitore viene valutato in base al numero di ore che chi acquista considera equivalente al valore del bene.
Il prezzo accettato viene espresso dalla relazione:

$$P_{accettato} = \alpha P_{prefissato} \leq P_{prefissato} \leq \beta P_{prefissato}$$

Dove α e β indicano la massima variazione, rispettivamente, in negativo e in positivo rispetto al valore prefissato nelle tabelle excel.
I valori di α e β vengono inseriti dall'analista tramite lo slider presente nell'interfaccia grafica come mostrato in figura 4.5

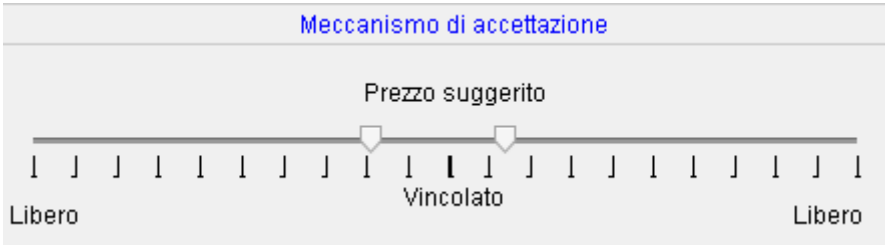


Figura 4.5: Interfaccia gradica Slider meccanismo di accettazione

Dove Vincolato, indica che non vi è una contrattazione di prezzo e quindi vengono utilizzati i prezzi prefissati nelle tabelle excel, mentre Libero indica che il valore varia tra -50% e $+50\%$. Ad ogni modo, vi è la possibilità di far variare il prezzo di una diversa quantità in negativo e positivo.

4.1.3 Transazioni

Come già affrontato in precedenza, si sono individuati diversi tipi di azioni attuabili all'interno della nostra comunità.

Grazie all'interfaccia grafica è possibile fare delle ipotesi sulle transazioni totali, sulla percentuale delle transazioni totali effettuate per ogni singola categorie e per ogni singola sub-categoria presente nel file excel come mostrato in figura 4.6.
La ripartizione delle transazioni nelle categorie avviene tramite l'imposizione di un valore percentuale, per ogni categoria, sul totale delle transazioni effettuate durante il mese. Questa percentuale è stata assunta come costante per tutta la durata della simulazione.
La seconda suddivisione si ottiene partendo dal numero di transazioni per ogni singola categoria, attraverso le percentuali presenti nel file excel che indicano la percentuale di transazioni di quella singola categoria che vengono svolte per ogni singola tipologia di azione.
Avendo definito la percentuale di volte in cui quella singola azione viene svolta, abbiamo bisogno di calcolare il numero totale di transazioni nel seguente modo: essendo un simulatore con visione globale, e quindi non ad agenti, il numero di transazioni effettuate dalla comunità per ogni mese viene calcolato come il numero di transazioni medie ipotizzate dall'analista per il numero di partecipanti. Per fare in modo che le transazioni aumentino all'aumentare nel numero di partecipanti si inserisce un valore di minimo e un valore di massimo. I valori di minimo e massimo indicano rispettivamente il numero di transazioni effettuate da ogni membro presente nella comunità ad inizio simulazione e a regime.

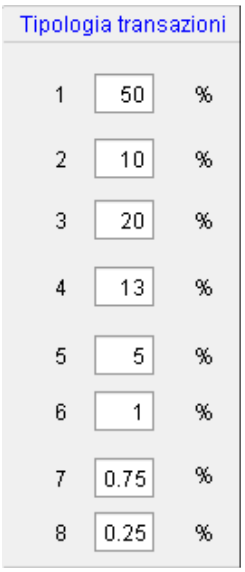


Figura 4.6: Interfaccia grafica suddivisione delle transazioni ripartite per categoria

$$Trans_{TOT} = Trans_{singolo} * n_{partecipanti}$$
$$\Downarrow$$
$$\text{Trans}_{categoria_i} = Trans_{TOT} * \%_i$$
$$\Downarrow$$
$$\text{Trans}_{azione_{i,j}} = Trans_{categoria_i} * \%_j$$

Tutti questi valori sono modificabili dall'analista attraverso l'interfaccia grafica come mostra in figura: 4.7.
Il rate di crescita selezionato ha un andamento logaritmico fino al raggiungimento del valore massimo secondo la formula:

$$n_{trans,i} = n_{trans,min} + \alpha * log(mese_i)$$

Dove α è un coefficiente che identifica il rate di crescita che viene inserito nell'interfaccia e varia tra 0 e 5 .
Una volta ottenuti il numero di transazioni effettuate dal singolo partecipante si

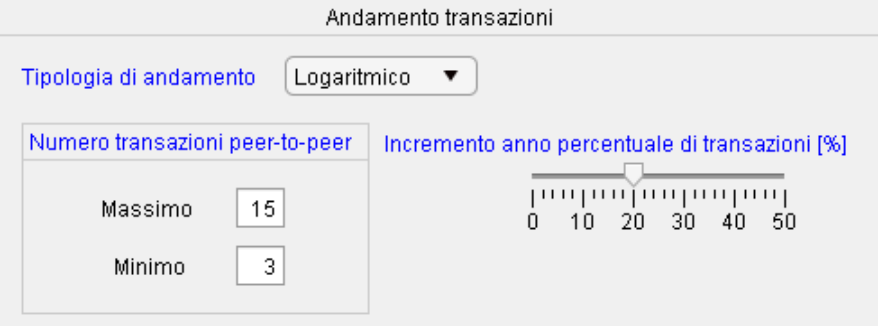


Figura 4.7: Interfaccia grafica andamento transazioni

moltiplica il numero di transazioni effettuate dal singolo per il numero di partecipanti presenti in quel mese all'interno della piattaforma.

4.1.4 Flusso di token

Il flusso di token è di due tipi: entrante (dalla piattaforma alla comunità) e uscente (dalla comunità alla piattaforma).
Il flusso uscente è costituito dai token ritirati tramite le fee. Le fee possono essere di due tipi, o in percentuale sui token scambiati per ogni transazione o una quota fissa per ogni transazione indipendentemente dall'entità della transazione. Queste due modalità rappresentano le due tipologie di tassazione più utilizzate nel nostro mercato. La prima è equiparabile all'IVA mentre la seconda alle commissioni delle banche sui bonifici. Quest'ultimo metodo è utilizzato anche all'interno della blockchain.
Il tipo di tassazione e l'entità della tassazione possono essere selezionati per ogni singola categoria attraverso l'interfaccia e può essere impostata anche l'entità di quest'ultima, che nel caso di tassazione sui token scambiati sarà rappresentata in percentuale, mentre nella tassazione a quota fissa sarà direttamente in token come mostrato in figura 4.8.
Il flusso entrante invece è costituito dai bonus di adesione, che vengono corrisposti ad ogni membro entrante nella comunità, bonus annuali che rappresentano i token che vengono erogati a favore dei partecipanti o acquistati dai partecipanti, gli incentivi, già descritti, che vengono corrisposti ad ogni azione e le azioni delle categorie (6), (7) e (8) che sono tutti quei servizi che i cittadini o gli stakeholder offrono alla comunità.
I bonus di adesione, come già detto, rappresentano i token che vengono corrisposti ad ogni singolo membro entrante nella comunità. Sono quei token che offrono la

Tassazione		
	Tipologia	Valore
1	Token	12.2
2	Token	12.2
3	Token	12.2
4	Token	12.2
5	Token	12.2

Figura 4.8: Interfaccia grafica fee

possibilità ai nuovi iscritti di testare la piattaforma, possono essere impostati tramite l'interfaccia grafica e possono essere settati di diversa entità per ogni tipologia di membro ma risultano uguali tra membri appartenenti alla stessa categoria.
Un ragionamento analogo viene fatto per i bonus annuali che rappresentano i token che vengono erogati a favore dei membri della comunità o acquistati in caso di necessità, come mostrato in figura 4.9.

	Bonus iniziale	Bonus annuale in token
Cittadino	40	0
Servizi Energetici	1700	1700
Pubblica Amministrazione	120	120
Esercizi commerciali e professionali	215	215
Associazioni terzo Settore	120	120
Servizi Educativi e di Ricerca	120	120

Figura 4.9: Interfaccia grafica bonus di adesione e annuale

Il simulatore prevede la possibilità di acquisto da parte dei cittadini anche se si è esclusa questa possibilità durante le riunioni con il gruppo Enea.
Questo ci dà modo di capire il perché si siano costruiti un'interfaccia grafica ed un simulatore generale che si adatti alle decisioni future prese durante l'evoluzione del

progetto.
Per quanto riguarda il flusso generato dagli incentivi, essi fluiscono dalla piattaforma al fruitore e/o erogatore di un servizio secondo le leggi già illustrate. Inoltre il simulatore prevede la possibilità di andare a simulare degli scenari in cui si incentiva in diversa misura la componente ambientale e sociale, andando a modificare il parametro μ tra 0 e 1, dove 0 rappresenta un incentivazione totalmente sociale e 1 totalmente ambientale come mostrato in figura 4.10.
L'ultima componente del flusso entrante è rappresentata dalle azioni delle categorie

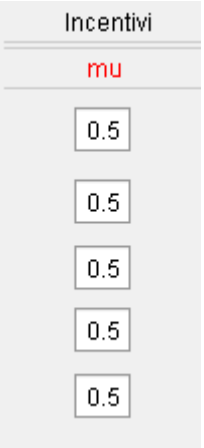


Figura 4.10: Interfaccia grafica incentivi

(6), (7) e (8), nelle quali i membri della piattaforma si mettono a disposizione della comunità. Il numero di azioni effettuate in queste categorie viene definito nella stessa maniera in cui vengono definite le altre 5 categorie. La differenza risiede nel fatto che in questo caso non si ricevono incentivi e non vengono pagate delle fee, essendo la comunità stessa il fruitore di tale servizio.

4.1.5 Ottimizzazione

Il problema fondamentale per garantire una struttura stabile risiede nell'ottimizzazione dei parametri di controllo a disposizione dell'amministratore della piattaforma. Il sistema di controllo agisce modificando i parametri di controllo, quindi le fee, i bonus annuale, i bonus adesione e gli incentivi per cercare di mantenere costante la funzione costo, che nel contesto di smart token comunity è stato assunto come il wallet medio, calcolato come token totali presenti diviso il numero di partecipanti. Le ipotesi o condizioni al contorno fatte sin'ora sono state considerate variabili nella fase iniziale e successivamente costanti a regime. Ma nella realtà questa è una approssimazione non realistica. Pertanto, le "condizioni al contorno" debbono

essere considerate variabili nel tempo e l'ottimizzazione dovrà avere caratteristiche dinamiche considerando un "orizzonte temporale" in avanti su cui condurre l'ottimizzazione.
Attraverso l'interfaccia è possibile selezionare il tipo di controllo da utilizzare. Sono stati scelti per il confronto i seguenti metodi:

- Monte Carlo
- Ricerca esaustiva
- Multilevel
- Grandient descent

Per i primi tre vengono utilizzati 4 parametri di controllo mentre per il grandient descent è possibile selezionare se utilizzare 4 o 14 parametri di controllo, questo è stato fatto in maniera tale da confrontare il gradient descent con 4 parametri di controllo, con gli altri metodi.
Una descrizione più approfondita dei metodi presi in esame sarà affrontata nel capitolo successivo.

4.1.6 Assunzioni

Per costruire un simulatore previsionale di una comunità non ancora all'attivo è stato necessario fare delle assunzioni. Essendo il secondo anno di un progetto pluriennale, si è ancora nella condizione in cui si cerca di vagliare il più alto numero possibile di configurazioni per trovare la miglior configurazione possibile da applicare poi al quartiere demo.
Questo ci ha portato alla scelta di un simulatore generale, che veda quindi la comunità nella sua interezza senza analizzare il comportamento del singolo partecipante.
Questa assunzione comporta l'impossibilità di associare il singolo wallet al singolo partecipante, è quindi possibile calcolare solo un wallet medio, come il totale dei token presenti diviso il numero di iscritti alla piattaforma. Non potendo quindi associare a ogni singolo partecipante un wallet non è possibile definire la sua disponibilità economica e quindi il numero totale di transazioni effettuabili, il che porta a lavorare con delle transazioni medie mensili per singolo partecipante e quindi il totale di transazioni viene calcolato come le transazioni medie mensili del singolo moltiplicate per il totale dei partecipanti. La scelta del numero di transazioni medie mensili è a cura dell'analista che deve scegliere il valore migliore tenendo presente che le transazioni effettuate dai singoli partecipanti sono indipendenti dal numero di partecipanti presenti nella comunità e sono indipendenti anche dal valore della tassazione sulla singola azione. Queste due assunzioni derivano dal problema di

implementare un modello sociale che avrebbe richiesto tempi lunghi ed uno studio approfondito del caso in esame.
L'ultima assunzione fatta è stata quella di non aver implementato un meccanismo di abbandono dei partecipanti alla comunità. Questa assunzione è forte del fatto che, nel momento di start-up della comunità si avrà sempre un netto di attori entranti nella comunità anche nel caso di abbandoni. Per fare un esempio, se in un mese entrano 10 cittadini e 1 decide di abbandonare la comunità si avrà sempre un netto di 9 nuovi partecipanti.

4.1.7 Limitazioni

Le limitazioni principali sono legate al fatto che il simulatore è di tipo generale e non ad agenti. Questo implica che le transazioni, cosi come gli scambi, non vengono considerati dal punto di vista del singolo membro ma da un punto di vista globale e perciò non è possibile associare un singolo membro a delle azioni specifiche.
Questa limitazione porta all'impossibilità di legare i token scambiati alla reale disponibilità del singolo, traducendosi in una più generale limitazione che non permette di legare i token scambiati a quelli presenti.
Durante i meeting con un gruppo Enea è emersa la necessità di attuare un meccanismo di demurrage all'interno della comunità. Il meccanismo di demurrage, che prevede il pagamento di un quantitativo di token quando si ha un inutilizzo prolungato, permette di evitare fenomeni di accumulo e speculazioni, azioni fortemente da disincentivare all'interno di una comunità di questo tipo, ma sarebbe possibile solo con un simulatore ad agenti.
L'altra limitazione, sempre derivante dalla scelta di un impostazione globale del simulatore, è l'utilizzo di una simulazione mensile piuttosto che giornaliera, che però ci permette di ipotizzare, con maggior accuratezza, il numero di transazioni medie effettuate dal singolo membro. Le simulazioni giornaliere ci permetterebbero di studiare in maniera più approfondita il sistema anche se necessitano di dati certi o di assunzioni più forti che potrebbero far discostare in maniera sensibile il simulatore da quello che potrebbe succedere nel caso reale.

Una volta illustrato il funzionamento del simulatore nella sua interezza nel prossimo capitolo si entrerà nel merito del meccanismo di ottimizzazione e controllo del sistema.

Capitolo 5

Controllo ed ottimizzazione del sistema

Una volta esposto il core del simulatore, si è proceduto con l'implementazione del sistema di ottimizzazione dinamica. Questo è stato fatto poiché un controllo statico presenta l'inconveniente di richiedere all'analista uno studio approfondito di come le variabili di ipotesi influenzino tutto il sistema mentre un approccio dinamico rende il comportamento del simulatore totalmente adattabile a qualsivoglia valore di ipotesi.
Come già illustrato, il simulatore non controllato permetteva di impostare dei valori, tramite l'interfaccia, che rimanevano però costanti durante tutta la simulazione, senza quindi adattarsi alle condizioni istantanee dell'andamento della comunità. In un'ottica di futura applicazione empirica, era quindi necessario implementare un sistema in grado di adattarsi alle eventuali variazioni nell'andamento dei flussi in entrata e in uscita di modo da bilanciare il sistema nel suo complesso.
Per effettuare un controllo è stato necessario studiare quali fossero i parametri di controllo e quali quelli di ipotesi. I parametri di ipotesi sono tutti quei parametri che vengono utilizzati dall'analista e sono indipendenti dall'andamento del sistema, come la popolazione aderente alla comunità, il numero di stakeholder, la tipologia di mercato e il tipo di tassazione. Tutti questi parametri vengono scelti dall'analista ad inizio simulazione e rimangono tali per tutto il periodo di simulazione. I parametri di controllo, invece, indicato tutti quei valori, sempre scelti dall'analista al tempo zero, ma che nell'arco della simulazione si adattano all'andamento reale del sistema. Nelle figure, riportanti l'interfaccia grafica, i parametri di controllo sono stati marcati in rosso, mentre quelli di ipotesi in blu.
Per effettuare il controllo è necessario definire l'orizzonte temporale e l'aggiornamento dei parametri di controllo che indicano, rispettivamente, l'arco di tempo nel quale si valuta la bontà del controllo, ossia indica dopo quanti mesi si vuole ottenere

il valore prefissato della funzione costo, e il lasso di tempo che intercorre tra una verifica e un'altra, quindi ogni quanti mesi si vogliono aggiornare i parametri di controllo scelti ed adattarli all'andamento reale del sistema
Con ottimizzazione si intende l'applicazione di una serie di metodi, scelti in base alla necessità del caso, per la ricerca dei punti di minimo di una funzione costo all'interno di un dominio specificato.
Nel nostro caso sono state vagliate quattro possibilità metodologiche, due numeriche *brutal force*, ossia Monte Carlo e Ricerca esaustiva, una numerica più accurata, ossia il Multilevel e una basata sulla ricerca del gradiente: il metodo Gradient descent.
Come vedremo, i primi due metodi selezionati risultano di più facile implementazione, con lo svantaggio però di risultare maggiormente onerosi in termini computazionali. Al contrario, i metodi Multilevel e Gradient descent basarsi su algoritmi più complessi, quindi di più difficile implementazione, ma offrono un costo computazionale minore e un'accuratezza paragonabile agli altri due metodi.

Per i primi 3 metodi si effettua una discretizzazione dei parametri di controllo, scegliendo in quanti punti suddividere il range prefissato, compreso tra il 90% e il 110% del valore del mese precedente, l'orizzonte temporale e l'aggiornamento dei parametri di controllo.
Per questi 3 metodi vengono utilizzati 4 parametri di controllo:

- fee
- incentivi
- bonus adesione
- bonus annuale

Un discorso assestante va fatto per quanto riguarda il metodo Gradient descent, per il quale i parametri di controllo diventano 14: fee, incentivi, 6 bonus di adesione e 6 bonus annuali, 1 per ogni tipologia di attore presente nella piattaforma, dando quindi la possibilità di modificare i bonus adesione e bonus annuale in maniera completamente indipendente gli uni dagli altri. Come verrà dimostrato in seguito, il Gradient descent, grazie all'indipendenza tra il costo computazionale e il numero di parametri di controllo utilizzati, riesce ad effettuare un controllo più fine e, infatti, risulterà essere la scelta migliore per l'ottimizzazione del simulatore per *Smart token community*.
A distinguere il Grandient descent dagli altri metodi selezionati per il confronto è il fatto che non richieda una discretizzazione dei parametri di controllo bensì vada a modificare ogni singolo parametro singolarmente, lasciando gli altri invariati e calcolando quanto la variazione di quel singolo parametro provochi una variazione

del valore della funzione costo.
Prima di descrivere in maniera approfondita i singoli metodi presi in esame, sarà necessario offrire un'esposizione di tutti i parametri di controllo utilizzati.

5.1 Parametri di controllo

I parametri selezionati sono di natura economica, e sono:

- fee
- incentivi
- bonus adesione
- bonus annuale

Incentivi, bonus adesione e bonus annuale sono dei flussi positivi, dalla piattaforma alla comunità, mentre le fee sono flussi negativi, dalla comunità alla piattaforma.

5.1.1 Fee

Le fee, che ricordiamo essere delle trattenute su ogni transazione effettuata sulla piattaforma, possono essere fisse per ogni transazione o in percentuale sull'ammontare di token della transazione.
Attraverso il simulatore è possibile selezionare, per ogni categoria di transazione, il tipo di tassazione e il suo ammontare. Tale scelta è stata presa per permettere di simulare delle configurazioni in cui le transazioni tra stakeholder, e tra stakeholder e cittadini vengano tassate in maniera differente dalle altre, permettendo così di avere sgravi fiscali sulla liquidità in token.
Per il controllo, all'interno del simulatore è stato scelto di non utilizzare una tassazione differente per ogni tipo di categoria, possibilità che avrebbe comportato un aumento di variabili considerevole che, a fronte della natura della Smart token community, costituita principalmente da cittadini che effettuano transazioni, avrebbe richiesto un costo computazionale maggiore senza però apportare una miglioria dal punto di vista del controllo. Al contrario, si è deciso di utilizzare una tassazione comune, sia in valore che in tipologia, tra tutte le categorie, così da avere un minor numero di parametri di controllo. L'aumento del costo computazionale è dovuto al fatto che i primi 3 metodi dipendono fortemente dal numero di parametri che si devono controllare.

5.1.2 Incentivi

Per quanto riguarda gli incentivi, ciò che si va a modificare è il valore del coefficiente di incentivazione che viene moltiplicato per il coefficiente conferitogli dalla valutazione preliminare dell'azione. Questo implica che si modifichi il valore assoluto degli incentivi ma non il valore della valutazione preliminare.

5.1.3 Bonus adesione e annuali

Per i primi 3 metodi il bonus adesione e i bonus annuali vengono modificati andando ad agire su un unico valore e mantenendo quindi costante il rapporto, deciso dall'analista, tra i bonus dei cittadini e i bonus degli stakeholder.
Per i bonus adesione e i bonus annuali viene adottato un ragionamento analogo a quello già adottato per le fee. Il simulatore prevede, anche in questo caso, di settare un valore diverso del bonus annuale e del bonus adesione per ogni singolo attore. Andando a controllare il sistema, tuttavia, viene modificato solo un valore mantenendo costante il rapporto tra loro, come accade per le fee. Questo viene fatto poiché i metodi numerici hanno un andamento esponenziale correlato alla crescita del numero di parametri di controllo.
Nel metodo Gradient descent, invece, il simulatore controlla i bonus adesione e bonus annuali in maniera totalmente indipendente tra le differenti classi di attori.
Sempre nell'ottica di diminuire il più possibile il costo computazionale e quindi escludere tutti i parametri di controllo che non influiscono in maniera significativa sul sistema, si è deciso di tenere in considerazione il bonus adesione come parametro di controllo solo in presenza di un flusso di adesioni pari almeno all'1% della popolazione di saturazione. In questo modo è possibile avere 4 parametri di controllo ad inizio simulazione e solo 3 una volta che la popolazione entra a regime e non si hanno più nuovi ingressi.

5.1.4 Funzione costo

La funzione costo, o funzione obiettivo, rappresenta la soluzione di una combinazione dei parametri di controllo. Ciò significa che ad ogni set di valori dei parametri di controllo corrisponde un unico valore della funzione costo.
Il nostro obiettivo è quindi quello di trovare il set di valori dei parametri di controllo tale per cui il valore della funzione costo sia il più prossimo possibile al valore scelto dall'analista.
La funzione costo scelta per il nostro sistema è il wallet medio, calcolato come token totali presenti diviso i partecipanti alla comunità. Il valore che si vuole ottenere

può essere impostato tramite l'interfaccia alla voce "Wallet di riferimento".

5.2 Metodi per il controllo

I metodi selezionati sono stati scelti in base alla loro peculiarità nella ricerca del valore ottimo. I primi due metodi numerici, Monte Carlo e Ricerca esaustiva risultano onerosi dal punto di vista computazionale, ma di facile implementazione. Questi metodi sono stati presi in analisi poiché, non potendo avere grandi variazioni tra un mese e l'altro, lo spazio di ricerca, ovvero il range in cui posso variare i parametri di controllo, risulta sufficientemente ristretto, compreso massimo tra il $\pm 10\%$ e quindi andando a selezionare un numero sufficientemente grande di punti si riesce a trovare facilmente il punto di ottimo.
Tra i metodi numerici, il Multilevel si distingue per un maggiore sforzo di implementazione ma, di contrappeso, anche un inferiore costo computazionale, per quanto quest'ultimo risulti comunque più oneroso, come si vedrà, rispetto al metodo di ricerca del gradiente.
Per quanto riguarda il Gradient descent, infatti, che non è legato ad una discretizzazione, si è notato che nello spazio di ricerca dei parametri di controllo la funzione risultava convessa, condizione necessaria per l'applicazione del metodo.

Il simulatore, alla prima iterazione, quindi al primo mese, calcola, in un range molto vasto, compreso tra il 5% e il 50%, nel caso si sia deciso di operare con una tassazione in percentuale, o tra 1 token e 5 token nel caso si utilizzi la tassazione a quota fissa per ogni transazione, con una discretizzazione di 20 punti, il valore delle fee, che con i parametri imposti dell'analista per i bonus annuali, bonus di adesione e gli incentivi si avvicini maggiormente al valore obiettivo della nostra funzione costo.
Una volta calcolato il valore delle fee che ci permette di avere il valore del wallet medio più prossimo al valore prestabilito inizia il controllo vero e proprio.
Questo meccanismo viene utilizzato per tutti i metodi in maniera da evitare che si parta da valori troppo elevati o troppo ridotti delle fee e, quindi, non si riesca poi a bilanciare il sistema a meno di grandi variazioni.

5.2.1 Monte Carlo

Il metodo Monte Carlo viene utilizzato in diverse branche della matematica e risulta particolarmente utile in statistica e per il calcolo delle probabilità; trova inoltre un ampio uso in fisica nucleare, dove non si conosce il moto delle particelle e si effettuano delle simulazioni randomiche per studiare il comportamento della

radiazione, e in economia finanziaria per il calcolo dei rischi di un investimento.
Il metodo Monte Carlo prevede la risoluzione numerica di un problema, andando a scegliere un numero "sufficientemente elevato"[1] di possibili combinazioni dei parametri di controllo, in maniera da ottenere un elevato numero dei valori di output e scegliere cosi il migliore in relazione al caso studio in oggetto.[12]

Applicazione del metodo Monte Carlo all'interno del simulatore

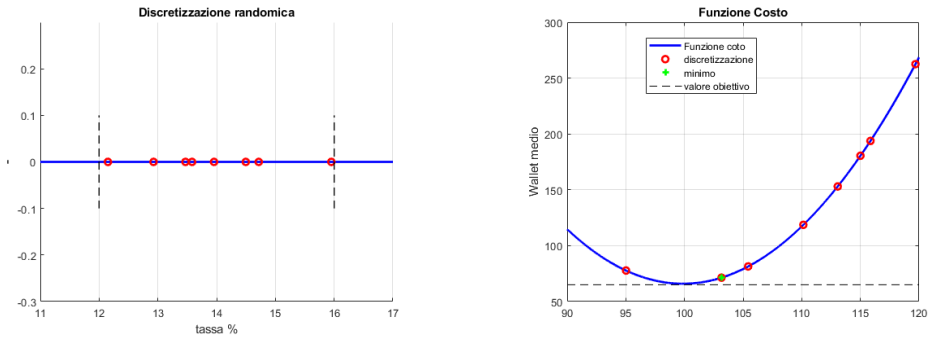
Nel caso del nostro simulatore per una Smart token economy, il metodo Monte Carlo viene applicato utilizzando la seguente procedura:
Attraverso l'interfaccia, alla voce "Discretizzazione parametri di controllo" si imposta il numero di punti, per ogni parametro di controllo, in cui si vuole dividere il range prefissato.
La discretizzazione dei parametri di controllo avviene tramite la funzione *rand* di Matlab che permette di ottenere dei numeri random uniformemente distribuiti, quindi equiprobabili, all'interno del range. La scelta di adoperare una distribuzione equiprobabile dei valori piuttosto che una gaussiana o una poissoniana è dovuta alla natura del problema, per la quale non si conosce, a priori, l'intervallo nel quale si troverà la nostra soluzione.
Una volta scelti il set di valori di ogni parametro di controllo, si calcola la funzione costo per ognuna delle combinazioni di esso, ottenendo quindi un set di valori della funzione costo grande come N^p, dove N indica il numero di punti della discretizzazione e p il numero di parametri di controllo, questo ci dà modo di spiegare perché è stato scelto di utilizzare una tassazione unica per ogni categoria e di far variare un unico valore del bonus adesione e del bonus annuale, mantenendo inalterato il rapporto tra quello dei cittadini e quello degli stakeholder.
Una volta calcolato il set dei valori della funzione costo si prende il set che si avvicina maggiormente al valore prefissato della funzione obiettivo che minimizza le fee.
Il set individuato costituisce la combinazione dei valori dei parametri di controllo che ci permettono, nell'orizzonte temporale scelto, di ottenere il valore più prossimo della funzione obiettivo evitando brusche variazioni tra due mesi consecutivi.
Per evitare l'insorgere di forti variazioni, si è deciso di far variare ogni parametro di controllo all'interno di un range prefissato che risulta:

- fee$\pm$10%
- incentivi $\pm$5%

[1] dipendente dal tipo di problema

- bonus adesione ±10%
- bonus annuale ±10%

Questa procedura viene ripetuta ogni qual volta si decide di aggiornare i parametri di controllo.
Di seguito viene riportata graficamente la procedura utilizzata in maniera semplificata per un unico parametro di controllo.



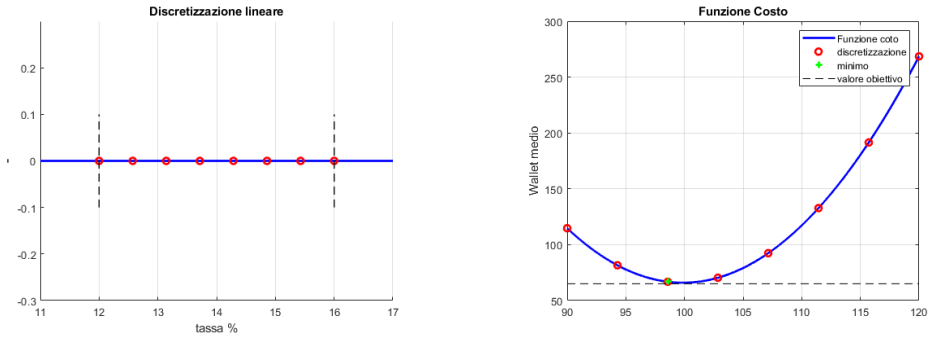
(a) Discretizzazione randomica **(b)** Calcolo funzione costo

Figura 5.1: Procedura grafica Monte Carlo

5.2.2 Ricerca esaustiva

La Ricerca esaustiva consiste nella risoluzione di un problema numerico ponendo al vaglio il maggior numero di soluzioni possibili. Tale metodo ha il vantaggio di poter andare sempre a convergenza senza possibilità di errore. Lo svantaggio risiede ovviamente nei tempi lunghi di computazione derivanti dall'elevato numero di soluzioni da porre al vaglio. Nel caso del nostro simulatore, tale svantaggio viene limitato dall'imposizione preliminare di un range di variazione ridotto, in quanto nel caso reale non sarebbe possibile avere brusche variazioni dei parametri di controllo tra un mese e l'altro; in questo modo, viene ridotto lo spazio di ricerca, limitando il numero di possibili soluzioni da vagliare e, di conseguenza, il costo di computazione.
Il procedimento è quindi analogo a quello del metodo Monte Carlo, con l'importante differenza di procedere con una discretizzazione non più randomica ma lineare che permette l'inclusione degli estremi del range, cosa che nel metodo Monte Carlo, che opera su valori random compresi tra gli estremi, non avviene. L'utilizzo di una discretizzazione lineare piuttosto che randomica evita anche la presenza di due

valori tra loro prossimi che porterebbero a delle differenze minime tra i due valori della funzione obiettivo e vanificherebbero l'aumento della discretizzazione.
Di seguito viene riportata graficamente in maniera semplificata la procedura utilizzata.

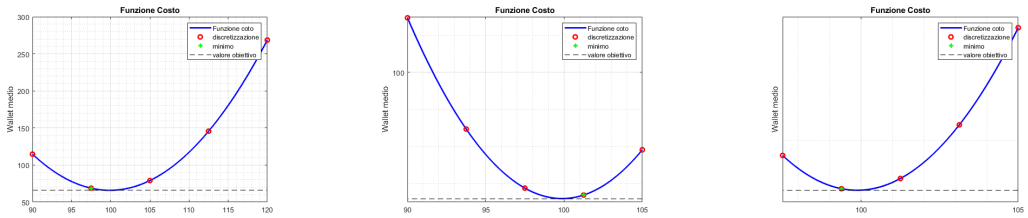


(a) Discretizzazione lineare **(b)** Calcolo funzione costo

Figura 5.2: Procedura grafica Ricerca esaustica

5.2.3 Multilevel

Il metodo Multilevel è l'ultimo dei metodi numerici presi in analisi per l'ottimizzazione del simulatore e presenta, rispetto a quelli descritti fin'ora, il vantaggio di richiedere un minor costo computazionale a parità di accuratezza. Questo metodo richiede una discretizzazione meno fitta rispetto agli altri metodi presentati finora in quanto, una volta calcolati tutti i valori della funzione costo, per ogni combinazione dei parametri di controllo, si procede individuando il valore minimo e ripetendo la discretizzazione utilizzando, per ogni parametro di controllo, i valori adiacenti a tale valore come nuovi estremi dello spazio di ricerca.[13]
Il numero di volte che deve essere ripetuta tale procedura viene scelto dall'analista attraverso l'interfaccia alla voce "Multilevel - # iterazioni".
La condizione necessaria per l'applicazione del metodo Multilevel è una funzione costo convessa, condizione che è stata verificata all'interno del range di variazione della funzione costo.
Come verrà mostrato successivamente, il numero di iterazioni richieste da tale metodo risulta inferiore ai metodi appena proposti.



(a) Primo livello **(b)** Secondo livello **(c)** Terzo livello

Figura 5.3: Procedura grafica Multilevel

5.2.4 Gradient descent

Il Gradient descent è l'ultimo metodo utilizzato e risulta il più complesso nell'implementazione, ma porta ad avere un costo computazionale nettamente inferiore rispetto agli altri metodi a parità di accuratezza.
Il Gradient descent sfrutta il valore della derivata di un punto per calcolare in quale direzione si trovi il punto di minimo della funzione obiettivo.[14]

Applicazione del metodo Gradient descent all'interno del simulatore

La procedura seguita è la seguente:
Si fissa un valore arbitrario dei parametri di controllo, questo valore viene preso dai dati scelti dall'analista attraverso l'interfaccia. Ottenuto il set di valori, uno per ogni parametro di controllo, si calcola la funzione obiettivo e l'errore tra il valore obiettivo e la funzione obiettivo calcolata. Si fa variare un singolo parametro di controllo alla volta, lasciando gli altri invariati, e si calcola la funzione obiettivo e l'errore rispetto a quella calcolata preliminarmente. Questa procedura viene ripetuta per ognuno dei parametri di controllo, in questo modo è possibile costruire la matrice Jacobiana:

$$J(x_0) = \frac{\partial F(x)_i}{\partial x_i} = \frac{F(x_i) - F(x_i + \Delta x)}{x_i - x_i + \Delta x}$$

La matrice Jacobiana, altro non è che la matrice i cui elementi sono le derivate parziali prime della funzione obiettivo per ogni parametro di controllo. La derivata parziale ci indicata l'inclinazione della funzione obiettivo nel punto preso in esame, ovvero ci indica quanto siamo prossimi al punto di minimo. Più il valore della Jacobiana, e quindi della derivata, è elevato in valore assoluto, più la pendenza della tangente, passante per quel punto, risulta elevata e quindi si è lontani dal punto di minimo.
Oltre a dare un'indicazione della vicinanza o meno del punto dal valore minimo

cercato, la matrice Jacobiana serve anche a capire il verso in cui si trova il minimo. Infatti, se la pendenza e positiva, sappiamo che il minimo si troverà a sinistra di tale punto, mentre se è negativa si troverà a destra.
Grazie alla seguente formula:

$$x_{new} = x_0 - \lambda J(x_0) Y_0$$

è possibile calcolare un nuovo punto da cui ripetere l'iterazione.
Il nuovo punto dipenderà da λ che risulta essere un fattore empirico, $J(x_0)$, che è appunto la nostra matrice Jacobiana calcolata in x_0 e da Y_0 che rappresenta il valore dell'errore tra il wallet medio calcolato in x_0 e il valore obiettivo.
Essendo un procedimento iterativo, che termina con il raggiungimento della derivata nulla, si è scelto di dare l'opportunità all'analista di scegliere l'entità dell'errore ammesso attraverso l'interfaccia ed evitare quindi che aumenti sensibilmente il costo computazionale per ottenere un'accuratezza al millesimo di token, che risulta di scarso interesse in un contesto nel quale si lavora con valori medi.

Capitolo 6

Risultati

Il simulatore per Smart token economy è il frutto di un lavoro congiunto, che ha visto collaborare diversi gruppi di ricerca, esponenti di diverse discipline e aree di interesse rispetto al tema delle comunità intelligenti, tra cui, gruppo economico, tecnico normativo ecc.
All'interno di questa struttura organizzativa, la progettazione vera e propria del simulatore su Matlab, oggetto di questa tesi, è stata condotta dai due tirocinanti e tesisti del Politecnico di Torino.
Il lavoro è quindi stato suddiviso in macro-aree, ossia progettazione, ottimizzazione e definizione degli scenari base da analizzare.
In questo capitolo, verranno illustrati i risultati ottenuti dall'ottimizzazione del simulatore per Smart token community, entrando nello specifico dei diversi metodi adottati e operando quindi un confronto tra i metodi stessi e tra il caso controllato e non controllato.
Il capitolo è stato strutturato in modo tale da presentare le performance di ogni metodo, mostrando come il comportamento del sistema vari al variare dei parametri che governano ogni singolo metodo. Solo nell'esposizione delle performance ottenute con Monte Carlo, sono stati presentati anche i risultati derivanti dalla variazione dell'orizzonte temporale mentre nel metodo Ricerca esaustiva sono stati presentati i risultati derivanti dalla modifica dell'aggiornamento dei parametri di controllo . Tale supplemento argomentativo viene esposto a titolo esemplificativo, in quanto tutti i parametri possono essere modificati dall'analista e i risultati di tali variazioni non possono considerarsi come significativi. Nelle tabelle presenti in appendice vengono mostrati i valori utilizzati nello scenario base. Per una spiegazione più approfondita delle motivazioni che hanno portato alla definizione di tali valori si rimanda alla tesi di Giuseppe Zazzera *Modellazione e scenari di una Smart token community ENEA* .

6.1 Scenario base mutualistico

Come mostra la figura 6.1 nel caso non controllato è indispensabile effettuare

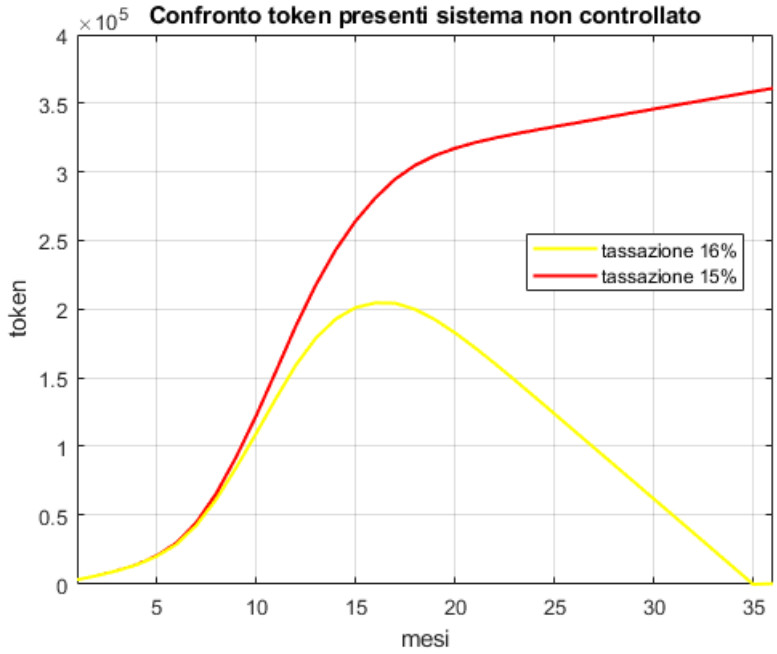


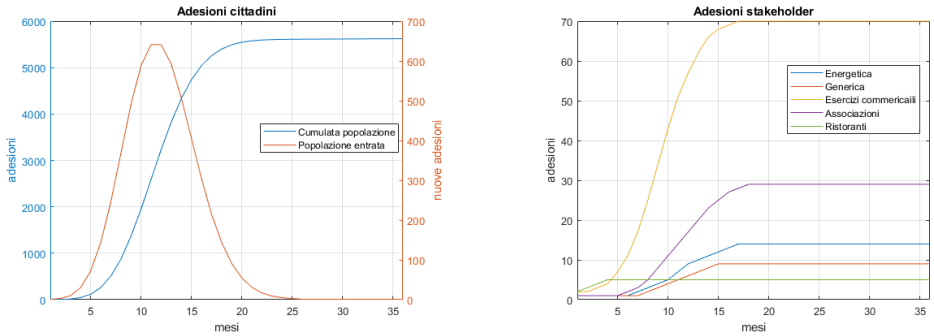
Figura 6.1: Confronto caso non controllato

delle scelte di partenza ben ponderate, considerando che una minima variazione, come nel caso qui esemplificato di una tassazione al 15% piuttosto che al 16%, porta il sistema ad avere due andamenti completamente opposti: nel primo si ha un aumento costante dei token presenti all'interno della comunità, mentre nel secondo si arriva al trentacinquesimo mese in cui non vi sono più token all'interno della comunità, ciò significa una totale assenza di liquidità in token, con tutte le conseguenze annesse.
Come si può però notare, l'andamento dei token presenti nella comunità, per tutto il primo anno, risulta simile nelle due configurazioni, rendendole di fatto entrambe accettabili. Questo ha motivato la scelta di implementare un controllo piuttosto che la ricerca sperimentale dei valori di ottimo.

6.1.1 Sistema non controllato

Utilizzando il simulatore senza un sistema di controllo, come si è appena visto, bisogna prestare particolare attenzione a settare i parametri di controllo e di ipotesi

al tempo zero. Per poter attuare un confronto tra i vari metodi e tra il caso non controllato e quello controllato si è optato per una definizione dei parametri di ipotesi, come l'adesione dei cittadini, degli stakeholder ecc., lasciandoli invariati tra una simulazione e l'altra.
Di seguito vengono riportate le curve di adesione per i cittadini e gli stakeholer che verranno utilizzate in tutte le simulazioni.



(a) Adesione cittadini **(b)** Adesione stakeholder

Figura 6.2: Andamento adesioni

Per gli altri valori utilizzati si rimanda alle tabelle presenti in appendice A.
Per quanto riguarda i valori che influenzano i singoli metodi di controllo, si è deciso di utilizzare un valore della funzione obiettivo, che ricordiamo essere il wallet medio, pari a 80 token per singolo attore presente nella comunità.

6.1.2 Monte Carlo

Come già detto in precedenza, la peculiarità del Metodo Monte Carlo, nonché il suo principale vantaggio come metodo di ottimizzazione, è la particolare accuratezza con la quale riesce a individuare il valore di ottimo, a patto di scegliere un numero sufficientemente grande di punti all'interno dello spazio di ricerca.
Come si può notare nel grafico sottostante figura 6.3, dove vengono riportate le due curve di evoluzione dei token presenti all'interno della comunità per tutta la durata delle simulazioni, la scelta di discretizzare i parametri di controllo in 8 punti piuttosto che in 5 porta il sistema ad essere più stabile e quindi avere delle minori fluttuazioni.

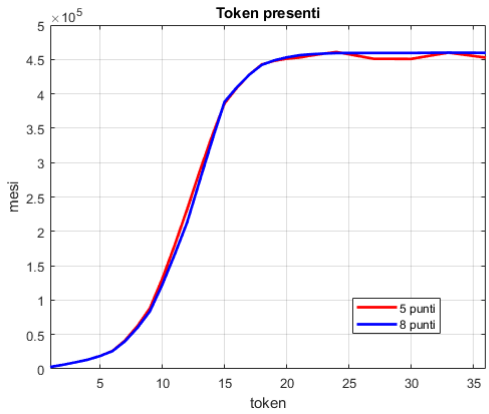
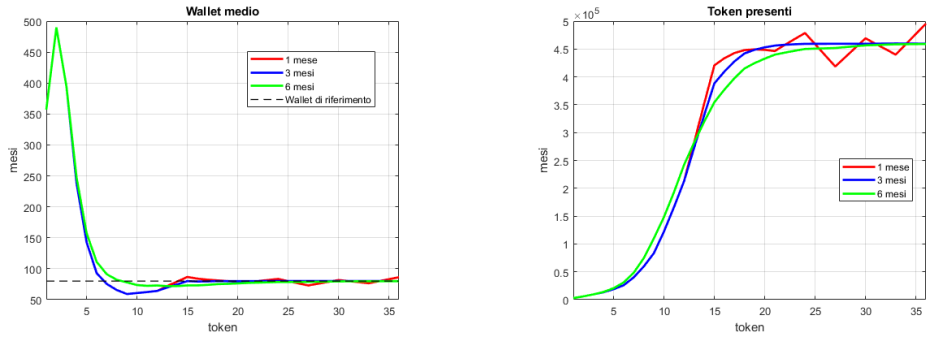


Figura 6.3: Confronto discretizzazione Monte Carlo

Tuttavia, questo comporta anche che il numero di combinazioni dei valori dei parametri di controllo, e quindi il numero di volte che si ripete tutta la procedura di controllo (numero di *perfomance*), sia di 27.156 per la discretizzazione a 8 punti e di 4.395 per quella a 5 punti. Questo dimostra quanto detto in precedenza, ovvero che il metodo Monte Carlo risulta preciso a patto di scegliere un numero sufficientemente grande di punti, con una conseguente impennata considerevole del costo computazionale.
Un altro aspetto importante analizzato è l'orizzonte temporale che, come già definito, corrisponde al tempo necessario per operare una valutazione sulla bontà del controllo.
Per testare la risposta del simulatore alla variazione dei parametri relativi all'orizzonte temporale, sono stati utilizzati diversi valori dell'orizzonte temporale: 1 mese, 3 mesi e 6 mesi, con una discretizzazione a 8 punti dei parametri di controllo e un aggiornamento dei parametri di controllo pari a 3 mesi.
Come si può notare dalle seguenti figure, un orizzonte temporale maggiore riesce ad evitare grosse variazioni tra un mese e l'altro. La curva rappresentata in verde,

infatti, risulta la più smussata.(figura 6.4)



(a) Wallet medio **(b)** Token presenti

Figura 6.4: Confronto orizzonte temporale

Facendo uno zoom (figura 6.5) .si può notare come la curva verde abbia un miglior comportamento, andando di fatto ad avere una varianza minore su tutto il tempo di simulazione.

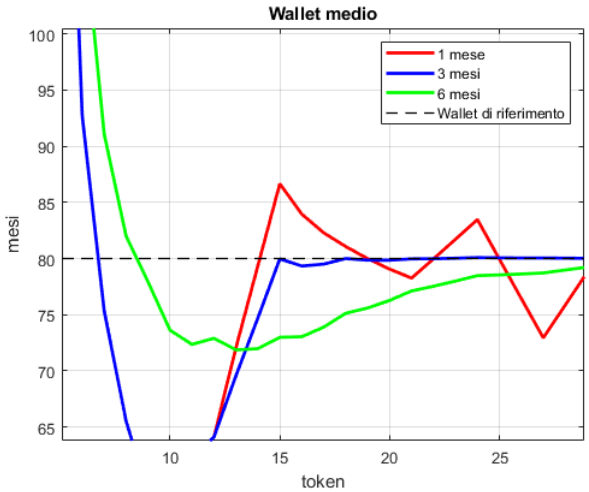
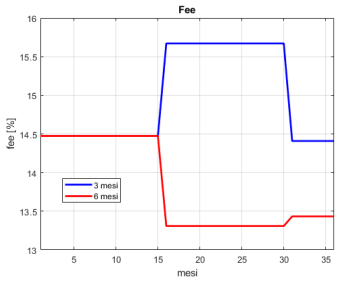


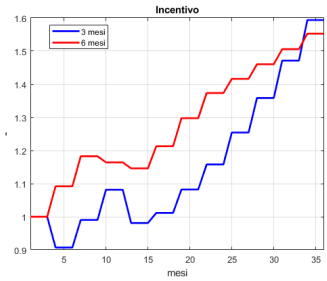
Figura 6.5: Zoom confronto orizzonte temporale

Si è deciso di analizzare solo le simulazioni con orizzonte temporale di 3 e 6 mesi, poiché, come si è visto nella figura 6.4 una simulazione, con orizzonte temporale di 1 mese porta la comunità ad avere gravi problemi di stabilità.
Come si può notare dai grafici, un orizzonte temporale maggiore, oltre a portare

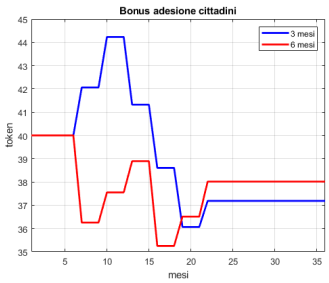
vantaggi in termini di stabilità del sistema, permette anche di ottenere una tassazione inferiore (che favorisce l'economia), un bonus di adesione maggiore per i cittadini e riesce a mantenere alto il valore degli incentivi.
Un altro aspetto interessante da notare è come variano i parametri di controllo utilizzando il metodo Monte Carlo 6.6.



(a) Fee



(b) Incentivo



(c) Bonus adesione

Figura 6.6: Andamento temporale parametri di controllo

6.1.3 Ricerca esaustiva

L'implementazione del metodo della Ricerca esaustiva deriva da uno studio approfondito del simulatore ottimizzato con il metodo Monte Carlo.
Con la Ricerca esaustiva è stato possibile ottenere risultati ottimi anche con un numero inferiore di punti di discretizzazione dei parametri di controllo. Questo metodo risulta infatti migliore di quello precedentemente esposto in quanto comporta un minore sforzo computazionale a parità di accuratezza nella ricerca del valore di ottimo.
Come si può notare dalla figura 6.7 i risultati ottenuti con una discretizzazione dei parametri di controllo in 6 punti, rispetto agli 8 utilizzati nel metodo Monte Carlo,

si riesce ad ottenere un ottimo comportamento del sistema.

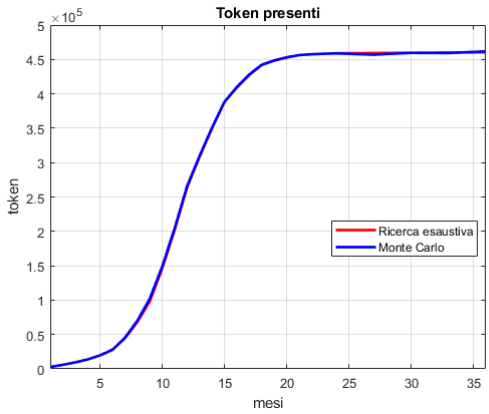


Figura 6.7: Confronto token presenti Ricerca esaustiva - Monte Carlo

L'aspetto interessante da confrontare tra la simulazione del metodo Monte Carlo e la Ricerca esaustiva è la differenza del numero di performance effettuate con un metodo rispetto all'altro.
Se nell'ottimizzazione con Monte Carlo sono stati necessari 27.156 performance test, con la Ricerca esaustiva è stato possibile ridurre il numero di performance a 8.876, ottenendo risultati egualmente accurati.
Come si può notare, le due curve risultano praticamente sovrapposte. Questo ci permette di dire che le variazioni subite dalla funzione obiettivo, durante il tempo di simulazione (figura 6.8), non giustifichino l'aumento del costo computazionale.

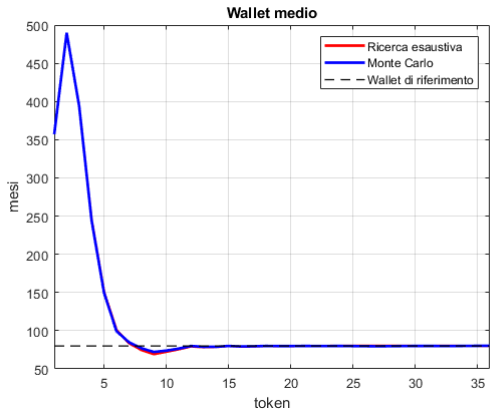


Figura 6.8: Confronto wallet medio Ricerca esaustiva - Monte Carlo

Il simulatore presenta un ulteriore aspetto di particolare interesse, che preme qui

sottolineare, ossia il funzionamento dell'aggiornamento dei parametri di controllo, evidente soprattutto nell'utilizzo dei metodi Monte Carlo e Ricerca esaustiva che si caratterizzano per una particolare accuratezza nell'individuazione del valore ottimo.
Nel nostro caso, si è deciso di lasciare invariata la discretizzazione dei parametri di controllo, pari a 6 punti e l'orizzonte temporale pari a 3 mesi.
Un aggiornamento dei parametri di controllo, che come già detto indica ogni quanti mesi ripetere la procedura del controllo, comporta un aumento del costo computazionale al diminuire del numero di mesi scelto. Semplificando, impostare l'aggiornamento dei parametri di controllo ogni mese significa che la procedura di controllo verrà effettuata 36 volte, nel caso si simulino 36 mesi, mentre un aggiornamento pari a 6 vorrà dire che si effettuerà 6 volte, sempre andando ad analizzare una simulazione su base triennale.
In questo caso, avendo lasciato invariato l'orizzonte temporale si può notare, in figura 6.9, come un aggiornamento dei parametri di controllo ogni 6 mesi, a fronte di un orizzonte temporale pari a 3 mesi, risulti altamente inefficace ai fini del controllo, provocando brusche variazioni.

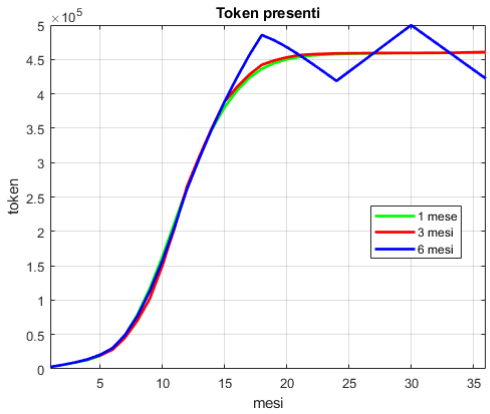


Figura 6.9: Confronto token presenti con aggiornamento 1 - 3 - 6 mesi

D'altro canto, però, un aggiornamento dei parametri di controllo mensile non produce dei benefici che giustifichino un costo computazionale 3 volte maggiore dell'aggiornamento dei parametri di controllo ogni 3 mesi come mostrato in figura 6.10.

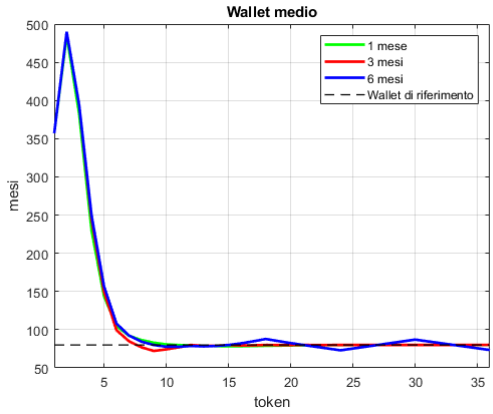


Figura 6.10: Confronto wallet medio con aggiornamento 1 - 3 - 6 mesi

L'altro aspetto da tenere in considerazione nel momento in cui si valuta la scelta dei mesi in cui si vogliono aggiornare i parametri di controllo è che un aggiornamento troppo frequente porta in breve tempo ad avere enormi variazioni dei suddetti parametri. Pur avendo scelto un range abbastanza piccolo in cui far variare i parametri di controllo, tra un mese e quello successivo, aggiornando spesso i parametri di controllo nel giro di pochi mesi si possono avere delle grandi variazioni che, per quanto possano risultare stabilizzanti all'interno del simulatore, risultano essere di scarso interesse pratico. (figura 6.11).

Figura 6.11: Andamento incentivo con aggiornamento dei parametri di controllo ogni mese

6.1.4 Multilevel

L'ultimo metodo numerico utilizzato è il metodo Multilevel, che rispetto ai metodi fin'ora presentati si caratterizza per un minor costo computazionale.
Nelle simulazioni attuate utilizzando il Multilevel, si è utilizzata una discretizzazione dei parametri di controllo pari a 5 con 3 livelli di iterazione.
Come si può notare dal grafico, confrontando il metodo della Ricerca esaustiva con il metodo Multilevel, si può notare come i risultati ottenuti con il metodo Multilevel siano sovrapposti a quelli ottenuti con la Ricerca esaustiva 6.12. Questo metodo riesce tuttavia ad abbattere ulteriormente il costo computazionale portando il numero di performance da 8.876 a 5.022, ovvero quasi dimezzandolo, il che ci porta a definire il metodo Multilevel come il metodo numerico, tra quelli scelti, migliore poiché, a parità di accuratezza, richiede un costo computazionale circa la metà del metodo Ricerca esaustiva e un sesto del metodo Monte Carlo.

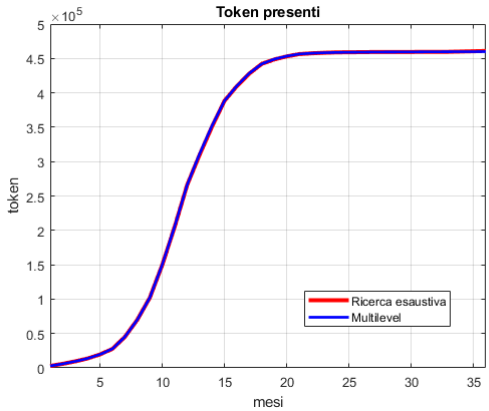


Figura 6.12: Confronto Ricerca esaustiva - Multilevel

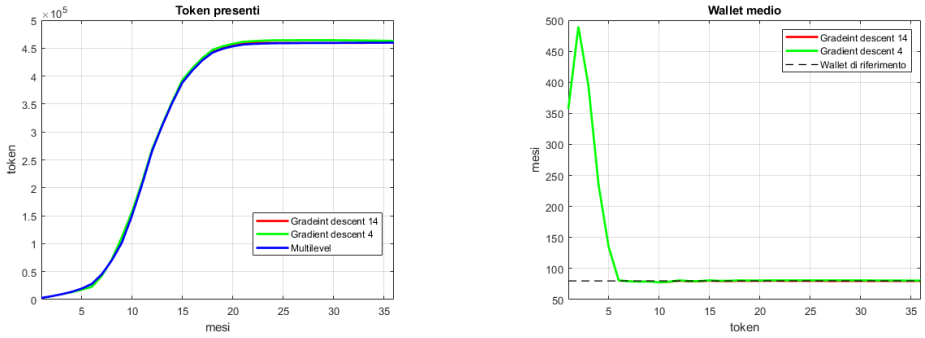
6.1.5 Gradient descent

L'ultimo metodo utilizzato appartiene alla famiglia della ricerca del gradiente. Come già annunciato, non richiede una discretizzazione bensì calcola la derivata della funzione costo per ogni parametro di controllo.
Nell'implementazione di quest'ultimo metodo si sono affrontati due aspetti distinti. Il primo riguarda il confronto con gli altri metodi, perciò si è andato a implementare un primo metodo, definito nell'interfaccia come "Gradient descent 4", che utilizza come parametri di controllo i 4 utilizzati anche negli altri metodi.
L'utilizzo dei medesimi parametri di controllo è una condizione necessaria per il confronto alla pari tra metodi. Tuttavia, si è deciso di valutare anche uno scenario

differente, utilizzando un numero maggiore di parametri, pari a 14, che ricordiamo essere:

- Fee; comune per tutte le categorie
- Incentivo; coefficiente di scala degli incentivi
- Bonus adesione; uno per ogni attore presente nella comunità
- Bonus annuale; uno per ogni attore presente nella comunità

andando in questo modo a implementare un sistema di controllo più fine.
Pur utilizzando un numero differente di parametri di controllo, il Gradient descent sottosta alle stesse regole che governano gli altri metodi.
Come mostrato in figura 6.13 il comportamento dei due metodi Gradient descent permette di ottenere un andamento simile a quello ottenuto nel metodo Multilevel:



(a) Token presenti **(b)** Wallet medio

Figura 6.13: Confronto Gradient descent - Multilevel

La differenza tra le simulazioni ottenute utilizzando il Gradient descent, sia con 4 che con 14 parametri di controllo impostati, e il metodo Multilevel, è proprio il costo computazionale: mentre il metodo Multilevel necessita di un numero di performance pari a 5.022, con il Gradient descent si ottengono risultati parimenti ottimali con un numero di performace pari a 589 per quello a 4 parametri e di appena 63 per quello con 14 parametri.
Il parametro che influenza il costo computazionale, ma anche l'accuratezza, è in questo caso l'errore ammesso, che come ricordiamo è lo scostamento massimo ammesso tra il valore della funzione costo calcolata e il valore obiettivo, che viene scelto dall'analista.
Di seguito vengono illustrate le simulazioni nelle quali sono stati utilizzati come errore ammesso 1, 3 e 5 token.

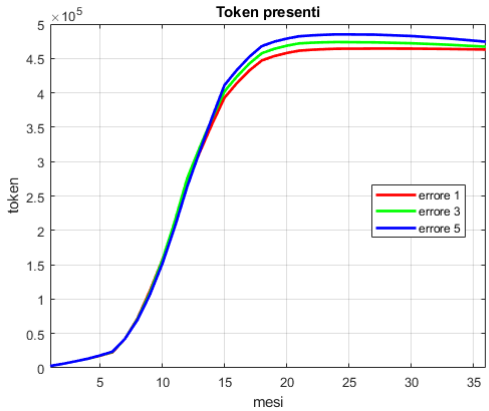


Figura 6.14: Confronto errore ammesso Gradient descent

Come si può notare, vi è uno scostamento significativo tra la simulazione con errore ammesso pari a 5 token e quello pari a 1 token. Tale differenza è dovuta proprio al fatto che la ricerca dell'ottimo viene interrotta nel momento in cui ci si trova ad una distanza inferiore dell'errore ammesso dalla funzione obiettivo. La differenza tra le simulazioni risulta più evidente nel grafico del wallet medio.

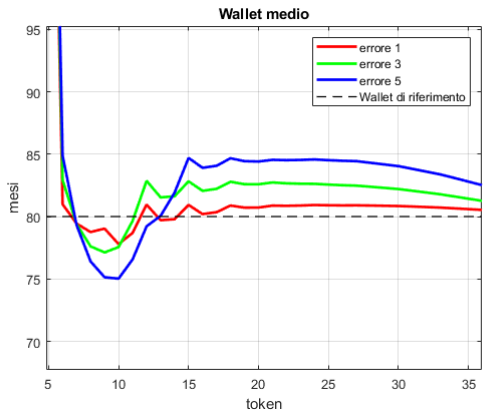


Figura 6.15: Zoom wallet medio con errore massimo ammesso 1 - 3 - 5 token

Come è auspicabile, il comportamento migliore lo si ottiene con un errore minore, pari in questo caso a 1 token.
Ad ogni modo, è cura dell'analista scegliere il grado di accuratezza che si desidera ottenere.

6.1.6 Robustezza

Come si è visto, tutti i metodi utilizzati portano ad una soluzione corretta, ed è quindi il costo computazionale a costituire l'effettiva discriminante nella scelta del metodo migliore da utilizzare.
Una volta testato il controllo per lo scenario base, proposto nella tesi di Giuseppe Zazzera *Modellazione e scenari di una smart token community ENEA*, si è deciso di testare l'ottimizzazione anche negli altri scenari.
Questo è stato fatto utilizzando esclusivamente il metodo del Gradient descent. Tale scelta è stata fatta poiché, come già detto, gli altri metodi, essendo numerici, riescono a trovare sempre una soluzione, a patto che si utilizzi un numero sufficientemente elevato di punti per la discretizzazione dei parametri di controllo.
Come mostrato in figura 6.16 si può notare come al 36 mese, la funzione obiettivo risulta essere sufficientemente vicina al valore scelto mentre vi è un aumento, in alcuni casi, del costo computazionale.
Lo scostamento del costo computazione, che ci teniamo a precisare, risulta co-

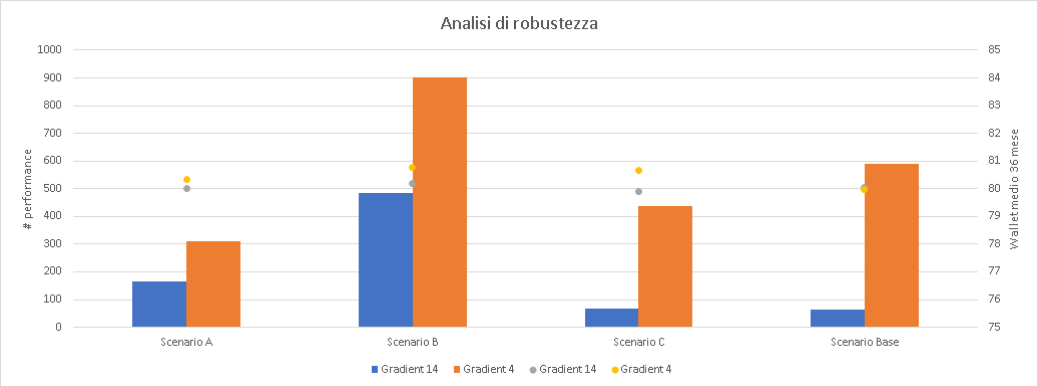


Figura 6.16: Analisi di robustezza

munque, anche nella casistica peggiore (scenario B), meno di un quinto del metodo Multilevel, è dovuta alla dipendenza del Gradient descent da un fattore di scala empirico λ, utilizzato nel calcolo del nuovo punto da cui ripetere il controllo. Questo valore è stato analizzato per lo scenario base ed è rimasto invariato nelle simulazioni utilizzate per effettuare l'analisi di robustezza.

In definitiva possiamo affermare che il Gradient descent presenti degli innegabili vantaggi dal punto di vista della computazione, ma lo svantaggio di dipendere da un fattore empirico e quindi può portare a una non soluzione.

Capitolo 7

Conclusioni

L'elaborato qui presentato è frutto di uno studio preliminare sul comportamento economico di una Smart token economy.
Il simulatore e il sistema di ottimizzazione progettati per l'analisi sono stati pensati in tutte le loro componenti per essere il più generali possibile, in maniera tale da poter essere utilizzati in un futuro prossimo per l'analisi delle scelte effettuate durante i meeting tra i vari gruppi che collaborano al progetto e lo studio delle normative vigenti.
Nello specifico dell'ottimizzazione si è visto come il gradient descent, con le ipotesi studiate, risulti essere il miglior metodo tra quelli analizzati per l'ottimizzazione. Il problema del gradient descent è dovuto alla dipendenza di un fattore empirico e quindi è stato necessario implementare anche altri metodi di ottimizzazione che permettessero di ottenere sempre una soluzione, nonostante risultassero più dispendiosi dal punto di vista computazionale.
L'aspetto energetico qui analizzato si è limitato alla flessibilità e alla vendita di energia, remunerandola in token attraverso degli incentivi, senza considerare l'apporto economico positivo in euro che l'applicazione di tale tecnologia comporta per la comunità.
Con le ipotesi di scenario effettuate la componente energetica rappresenta circa il 3% del volume di token transitati nella piattaforma. Tuttavia, questa stima è altamente cautelativa poiché ci si aspetta che l'inclusione della componente energetica, con la conseguente possibilità per i partecipanti di gestirla in maniera autonoma, aumenti notevolmente la partecipazione a tale progetto, sia da parte degli stakeholder che da parte dei cittadini.
Il progetto in sé risulta molto ambizioso, cerca infatti di coniugare l'aspetto sociale all'aspetto economico ed energetico attraverso l'utilizzo di una piattaforma basata sulla blockchain. Ad oggi non vi sono comunità all'attivo che leghino in maniera sinergica questi aspetti. Il progetto è per l'appunto un progetto pilota che potrà aiutare l'espansione di tale modello di riqualificazione sociale, energetica e culturale

in altre città.
ENEA ha in agenda lo sviluppo futuro di un simulatore ad agenti, che si affianchi a quello qui presentato, in maniera tale da superare le limitazioni che un simulatore con visione globale si porta dietro. Il simulatore ad agenti potrebbe essere anche utilizzato come sistema ausiliario per simulare il comportamento futuro della popolazione e aiutare il gestore della piattaforma a prendere delle decisioni a seconda degli scenari analizzati.
Un'altra analisi che verrà effettuata sarà quella riguardante il flusso in euro, lasciata in secondo piano in questa sede, che dimostrerebbe la fattibilità economica del progetto.

Appendice A

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 1	Datore		Struttura	Fruitore		Ore [h]	Percentuali di suddivisione
			Cittadino	Stakeholder		Cittadino	Stakeholder		
SERVIZI ALLA PERSONA/SOCIALI	1	Lezione (lezione di inglese, assistenza allo studio, chitarra)						1,5	11,00%
	2	Riparazione generica (elettrodomestici, tubature, scarpe, lavori di carpenteria di riparazione)						0,5	11,00%
	3	General Sitting (baby sitting, dog sitting)						4	11,00%
	4	Assistenza (alla pulizia, al giardinaggio, al trasloco, al tinteggiare)						3	11,00%
	5	Corsi (corsi di aerobica, corsi di ballo)						1,5	11,00%
	6	Trattamento (messa in piega, massaggio terapeutico)						0,5	11,00%
SERVIZI DI NOLEGGIO	7	Passaggio in auto						0,5	11,00%
	8	Noleggio bene costo 20-100 € (trapano, set attrezzi, libro, kit campeggio)						1	10,00%
	9	Noleggio bene costo 101-500 € (macchina fotografica, proiettore, tenda da campo, stereo, tagliaerba, bicicletta)						1	4,00%
	10	Noleggio bene costo 501-3000 € (stampanti 3D, macchina fotografica alta qualita, cinepresa, computer, motociclo, auto)						1	3,00%
CESSIONE DI BENI	11	Vendita bene usato costo 20-100€						1,5	4,00%
	12	Vendita bene usato costo 101-500€						7,5	1,99%
	13	Vendita bene usato costo 501-3000 €						36	0,01%

Figura A.1: Categoria 1 (1)

Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]	Incentivo Ambientale Tamb [token]	Incentivo Sociale Tsoc [token]	Suddivisione dell'incentivo α
15	0	0	3,5	0
5	0	4,375	2	0,5
40	0	0	3,75	0
30	0	0	3	0
15	0	0	3	0
5	0	0	1,5	0
5	0	4	3	0,5
10	0	2,2	3,4	0
10	0	3	3,6	0
10	0	3,4	3,4	0
15	0	1,6	3,6	0,5
75	0	2,5	3,6	0,7
360	0	2,7	2,8	0,8

Legenda	
	Parametri di controllo
	Parametri di ipotesi
	Token su transazione in euro

Fattore di scala degli incentivi β
1

Fattori di conversione
Fattore di conversione token/ora
10
Fattore di conversione token/kWh
0,003261
Fattore di conversione token/€
1

Prezzo medio energia [€/kWh]	
0,003261	Dato medio 6 Luglio 2020

Figura A.2: Categoria 1 (2)

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 2	Datore		Struttura di uno	Fruitore		Ore [h]	Percentuali di suddivisione
			Cittadino	Stakeholder		Cittadino	Stakeholder		
SERVIZI ALLA PERSONA/SOCIALI	1	Lezione (lezione di inglese, assistenza allo studio, chitarra)						1,5	25,00%
	2	General Sitting (baby sitting, dog sitting)						4	25,00%
	3	Corsi (corsi di aerobica, corsi di ballo)						1,5	25,00%
	4	Trattamento (messa in piega, massaggio terapeutico)						0,5	25,00%

Figura A.3: Categoria 2 (1)

Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]	Incentivo Ambientale Tamb [token]	Incentivo Sociale Tsoc [token]	Suddivisione dell'incentivo α
15	10	0	3,5	0
40	5	0	3,75	0
15	5	0	3	0
5	10	0	1,5	0

Figura A.4: Categoria 2 (2)

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 3	Datore			Struttura	Fruitore	
			Cittadino	Stakeholder di servizi	Stakeholder di beni nuovi ed energetici		Cittadino	Stakeholder
SERVIZI ALLA PERSONA/SOCIALI	1	Lezione (lezione di inglese, assistenza allo studio, chitarra) TUTTAVIA PRESTAZIONE MUTUALSTICA DI DONAZIONE						
	2	Riparazione generica (elettrodomestici, tubature, scarpe, lavori di carpenteria di riparazione) TUTTAVIA						
	3	General Sitting (baby sitting, dog sitting) TUTTAVIA PRESTAZIONE MUTUALSTICA DI DONAZIONE VERSO LA						
	4	Assistenza (alla pulizia, al giardinaggio, al trasloco, al tinteggiare) TUTTAVIA PRESTAZIONE MUTUALSTICA DI						
	5	Corsi (corsi di aerobica, corsi di ballo) TUTTAVIA PRESTAZIONE MUTUALSTICA DI DONAZIONE VERSO LA						
	6	Trattamento (messa in piega, massaggio terapeutico) TUTTAVIA PRESTAZIONE MUTUALSTICA DI DONAZIONE						
SERVIZI DI NOLEGGIO	7	Noleggio bene costo 20-100 € (trapano, set attrezzi, libro ecc., kit campeggio, auto, motociclo, bicicletta)						
	8	Noleggio bene costo 101-500 € (macchina fotografica, proiettore, tenda da campo, stereo, tagliaerba)						
	9	Noleggio bene costo 501-3000 € (stampanti 3D, macchina fotografica alta qualita, cinepresa, computer)						
CESSIONE DI BENI USATI	10	Vendita bene usato costo 20-100€						
	11	Vendita bene usato costo 101-500 €						
	12	Vendita bene usato costo 501-3000 €						
BENI NUOVI/ BENI ECOCOMPATIBILI	13	Sconto del 5% in euro su acquisto di bene nuovo di valore 20-100€ attraverso transazione in token			riceve token ed euro a seguito		acquista in euro	
	14	Sconto del 10% in euro su acquisto di bene nuovo di valore 101-500€ attraverso transazione in token			riceve token ed euro a seguito		acquista in euro	
	15	Sconto del 10% in euro su acquisto di bene nuovo di valore 501-1000€ attraverso transazione in token			riceve token ed euro a seguito		acquista in euro	

Figura A.5: Categoria 3 (1)

Ore [h] (servizi, noleggio, cessione beni) / prezzo medio [€] (beni nuovi, beni ecocompatibili)	Percentuali di suddivisione	Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]	Incentivo Ambientale Tamb [token]	Incentivo Sociale Tsoc [token]	Suddivisione dell'incentivo α
1,5	11,00%	15	0	0	3,5	0
0,5	11,00%	5	0	4,375	2	0,5
4	11,00%	40	0	0	3,75	0
3	11,00%	30	0	0	3	0
1,5	11,00%	15	0	0	3	0
0,5	11,00%	5	0	0	1,5	0
1	3,00%	10	0	2,2	3,4	0,5
1	2,00%	10	0	3	3,6	0,5
1	1,00%	10	0	3,4	3,4	0,5
1,5	2,00%	15	0	1,6	3,6	1
7,5	1,00%	75	0	2,5	3,6	1
36	0,01%	360	0	2,7	2,8	1
60	12,99%	6	0	0	0	0
300,5	8,00%	30,05	0	0	0	0
750,5	4,00%	75,05	0	0	0	0

Figura A.6: Categoria 3 (2)

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 4	Datore		Struttura	Fruitore		Ore [h] (servizi, noleggio, cessione beni)	Percentuali di	Prezzo mutualistico [t]
			Cittadino	Stakeholder		Cittadino	Stakeholder			
SERVIZI ALLA PERSONA /SOCIALI	1	Riparazione generica (elettrodomestici, tubature, scarpe, lavori di carpenteria di riparazione)						0,5	33,00%	5
	2	Assistenza (alla pulizia, al giardinaggio, al trasloco, al tinteggiare)						3	33,00%	30
SERVIZI DI NOLEGGIO	3	Noleggio bene costo 20-100 € (trapano, set attrezzi, libro ecc., kit campeggio, auto, motociclo, bicicletta)						1	4,50%	10
	4	Noleggio bene costo 101-500 € (macchina fotografica, proiettore, tenda da campo, stereo, tagliaerba)						1	2,00%	10
	5	Noleggio bene costo 501-3000 € (stampanti 3D, macchina fotografica alta qualita, cinepresa, computer)						1	1,00%	10
CESSIONE DI BENI	6	Vendita bene usato costo 20-100 €						1,5	0,50%	15
	7	Vendita bene usato costo 101-500 €						7,5	0,10%	75
	8	Vendita bene usato costo 501-3000 €						36	0,01%	360
SERVIZI ENERGETICI	9	Acquisto di energia green da distributore associato *						832,8333333	13,89%	2,7158695
	10	Cessione di energia autoprodotta da impianto da 10 kW **						1083	12,00%	1,0594989

Figura A.7: Categoria 4 (1)

Costo struttura [t]	Incentivo Ambientale Tamb [token]	Incentivo Sociale Tsoc [token]	Suddivisione dell'incentivo α
0	4,375	2	0
0	0	3	0
0	2,2	3,4	0
0	3	3,6	0
0	3,4	3,4	0
0	1,6	3,6	0,5
0	2,5	3,6	0,7
0	2,7	2,8	0,8
0	0	0	0
0	0	0	0

Figura A.8: Categoria 4 (2)

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 5	Datore		Struttura	Fruitore			Ore [h] (servizi, noleggio, cessione beni) / prezzo medio [€] (beni ecocompatibili, efficentamenteo energetico) / [kWh] (energia)
			Cittadino	Stakeholder		Cittadino	Stakeholder	Stakeholder di beni nuovi ed energetici	
SERVIZI ALLA PERSONA /SOCIALI	1	Riparazione generica (elettrodomestici, tubature, scarpe, lavori di carpenteria di riparazione)							0,5
	2	Assistenza (alla pulizia, al giardinaggio, al trasloco, al tinteggiare)							3
SERVIZI DI NOLEGGIO	3	Noleggio bene costo 20-100 € (trapano, set attrezzi, libro ecc., kit campeggio, auto, motociclo, bicicletta)							1
	4	Noleggio bene costo 101-500 € (macchina fotografica, proiettore, tenda da campo, stereo, tagliaerba)							1
	5	Noleggio bene costo 501-3000 € (stampanti 3D, macchina fotografica alta qualita, cinepresa, computer)							1
CESSIONE DI BENI	6	Vendita bene usato costo 20-100 €							1,5
	7	Vendita bene usato costo 101-500 €							7,5
	8	Vendita bene usato costo 501-3000 €							36
EFFICENTAMENTO ENERGETICO ED ENERGIA	9	Cessione di energia autoprodotta da impianto da 3 kW ***	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	340,8
	10	Cessione di energia autoprodotta da impianto da 6 kW ****	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	682
	11	Acquisto di energia green da distributore associato ******	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	225
	12	Installazione e sostituzione caldaia nuova a condensazione (bonus in token sul 10% del prezzo in euro)*	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	1100
	13	Installazione di impianto solare termico (bonus in token sul 10% del prezzo in euro)**	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	2000
	14	Installazione di impianto fotovoltaico da 3 kW (bonus in token sul 10% del prezzo in euro) *****	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	7000
BENI NUOVI/ BENI ECOCOM	15	Bonus in token sull'acquisto in euro al 15% di beni ecocompatibili e a km 0 (totale spesa 10-50 €)	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	30
	16	Bonus in token sull'acquisto in euro al 15% di beni ecocompatibili e a km 0 (totale spesa 51-100 €)	acquista in euro e					cede token di bonus a seguito	75,5

Figura A.9: Categoria 5 (1)

Percentuali di suddivisione	Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]	Incentivo Ambientale Tamb [token]	Incentivo Sociale Tsoc [token]	Suddivisione dell'incentivo α
15,00%	5	0	4,375	2	0
15,00%	30	0	0	3	0
3,00%	10	0	2,2	3,4	0,5
2,00%	10	0	3	3,6	0,5
1,00%	10	0	3,4	3,4	0,5
0,50%	15	0	1,6	3,6	1
0,10%	75	0	2,5	3,6	1
0,01%	360	0	2,7	2,8	1
10,00%	0,33340464	0	0	0	0
5,00%	0,6672006	0	0	0	0
10,00%	0,733725	0	0	0	0
1,00%	110	0	0	0	0
1,00%	200	0	0	0	0
1,00%	700	0	0	0	0
20,39%	4,5	0	0	0	0
15,00%	11,325	0	0	0	0

Figura A.10: Categoria 5 (2)

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 6	Datore		Struttura	Fruitore	Ore	Percentuali di suddivisione	Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]
			Cittadino	Stakeholder		Comunità				
SERVIZI ALLA COMUNITA'	1	Manutenzione del Prato/aiuole pubblici					1	14,29%	10	0
	2	Pulizia luoghi pubblici*					1	14,29%	10	0
	3	Impiego occasionale in caso di necessità presso luoghi pubblici**					1	14,29%	10	0
	4	Pitturare oggetti pubblici oggetti di degrado(panchine, pali, bidoni, muri)					3	14,29%	30	0
	5	Lavori di carpenteria pubblici (riparazione panchine)					2	14,29%	20	0
	6	Partecipazione ad un evento di pubblico interesse come relatore					1	14,29%	10	0
	7	Elder care					1	14,29%	10	0

Figura A.11: Categoria 6

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 7	Datore		Struttura	Fruitore	Ore	Percentuali di suddivisione	Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]
			Cittadino	Stakeholder		Comunità				
SERVIZI ALLA COMUNITA'	1	Manutenzione del Prato/aiuole pubblici					1	10,00%	10	0
	2	Pulizia luoghi pubblici*					1	10,00%	10	0
	3	Pitturare oggetti pubblici oggetti di degrado(panchine, pali, bidoni, muri)					2	10,00%	20	0
	4	Lavori di carpenteria pubblici (riparazione panchine)					2	10,00%	20	0
	5	Partecipazione ad un evento di pubblico interesse come relatore					1	10,00%	10	0
	6	Cucinare per i senza tetto o bisognosi del quartiere**					1	10,00%	10	0
	7	Lavaggio Auto pubblica utilità (singola auto)					0,5	10,00%	5	0
	8	Lavare vestisti per la pubblica utilità (5 kg)					0,5	10,00%	5	0
	9	Lezione di stretching e Joga per anziani					1	10,00%	10	0
	10	Elder care					1	10,00%	10	0

Figura A.12: Categoria 7

GENERE	N°	DEFINIZIONE SUBCATEGORIA 7	Datore		Struttura	Fruitore	Ore	Percentuali di suddivisione	Prezzo mutualistico [t]	Costo struttura [t]
			Cittadino	Stakeholder		Comunità				
SERVIZI ALLA COMUNITA'	1	Partecipazione ad un evento di pubblico interesse come relatore					1	25,00%	10	10
	3	Lavaggio Auto pubblica utilità					0,5	25,00%	5	5
	4	Lavare vestisti per la pubblica utilità					0,5	25,00%	5	5
	5	Lezione di stretching e Joga per anziani					1	25,00%	10	10

Figura A.13: Categoria 8

Parametri di Ipotesi	
Popolazione	8000
Valore di regime	70,00%
Tempo simulazione	36
Adesioni Cittadini	
Andamento adesioni	Poisson
Deviazione	0
Valore medio	12
Adesioni Aziende energetiche	
Andamento adesioni	Poisson
Deviazione	0
Valore medio	10
# al tempo inziale	1
# al tempo finale	15
Adesioni Pubblica Amm.	
Andamento adesioni	Exponential
Deviazione	0
Valore medio	5
# al tempo inziale	1
# al tempo finale	10
Adesioni Az. Esercizi commerciali	
Andamento adesioni	Rayleigh
Deviazione	5
Valore medio	0
# al tempo inziale	2
# al tempo finale	70
Adesioni Az. Associazioni	
Andamento adesioni	ExtremeValue
Deviazione	5
Valore medio	10
# al tempo inziale	1
# al tempo finale	30
Adesioni Serv. Educativi	
Andamento adesioni	Poisson
Deviazione	0
Valore medio	2
# al tempo inziale	1
# al tempo finale	5
Transazioni	
Andamento	Logaritmico
Transazioni max	15
Transazioni min	3
Incremento percentuale	5,00%
Suddivisione transazioni	
Categoria 1	50,00%
Categoria 2	10,00%
Categoria 3	20,00%
Categoria 4	13,00%
Categoria 5	5,00%
Categoria 6	1,00%
Categoria 7	0,75%
Categoria 8	0,25%

Parametri di Controllo		
Bonus adesione		
Cittadini	40	
Az. Energetica	1700	
Az. Pubblica Amm.	120	
Az. Esercizi commerciali	215	
Az. Associazione	120	
Az. Serv. Educativi	120	
Bonus annuale		
Cittadini	0	
Az. Energetica	1700	
Az. Pubblica Amm.	120	
Az. Esercizi commerciali	215	
Az. Associazione	120	
Az. Serv. Educativi	120	
Tassazione		
Tipologia tassazione		Valore
Categoria 1	Token	12,2
Categoria 2	Token	12,2
Categoria 3	Token	12,2
Categoria 4	Token	12,2
Categoria 5	Token	12,2
Incentivi		
mu		
Categoria 1	0,5	
Categoria 2	0,5	
Categoria 3	0,5	
Categoria 4	0,5	
Categoria 5	0,5	

Tipologia mercato	
Economico	Mutualistico
0,00%	100,00%

Figura A.14: Parametri di ipotesi e controllo scenario base

Bibliografia

[1] C. Meloni M. Annunziato et al. «La metodologia per la smart community e la co-governance del distretto». In: (2016) (cit. a p. 4).

[2] Streitz e Norbert A. «Smart Hybrid Cities: Designing our Future Urban Environments». In: *Presentazione al Convegno Smart Cities (Fondazione Ugo Bordoni) Roma* (2010) (cit. a p. 5).

[3] Commissione Europea. «Investire nello sviluppo di tecnologie a basse emissioni di carbonio (Piano SET)». In: (ott. 2009) (cit. a p. 5).

[4] OICE. «Smart City. Uno strumento per le comunità intelligenti». In: (mar. 2017) (cit. alle pp. 5, 6).

[5] AGID. «Architettura per le comunità intelligenti: visione concettuale e raccomandazioni alla pubblica amministrazione». In: (ott. 2012) (cit. a p. 5).

[6] C. Meloni et al. «Dalla Smart city alla Smart community». In: *Energia, ambiente e innovazione ENEA magazine* (2017) (cit. alle pp. 7, 11).

[7] «Smart CityProgetti di sviluppo e strumenti di finanziamento». In: (2020) (cit. a p. 8).

[8] R. Giffinger. «Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of the cities». In: (feb. 2007) (cit. a p. 8).

[9] R. Botsman e R. Rogers. *What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption*. New York, USA: Harper Collins, 2010 (cit. a p. 12).

[10] K. Frenken e J. Schor. «Putting the sharing economy into perspective». In: (mar. 2019) (cit. a p. 12).

[11] G. Perrone e V. Porlale. «Le opportunità della blockchain per lo scambio di energia P2P». In: (2018) (cit. a p. 26).

[12] Reuven Y. Rubinstein e Dirk P. Kroese. *Simulation and the Monte Carlo Method*. Hoboken, USA: Wiley, 2016 (cit. a p. 48).

[13] C. P. Ho e P. Parpas. «Multilevel Optimization Methods: Convergence and Problem Structure». In: Department of Computing, Imperial College London, United Kingdom, ott. 2016 (cit. a p. 50).

[14] Shai Shalev-Shwartz e Shai Ben-David. «Stochastic Gradient Descent». In: *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Cambridge University Press, 2014 (cit. a p. 51).