POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Energetica e Nucleare

Innovazione nella produzione di energia

SCORE
primi passi verso le comunità energetiche autonome

Tesi di Laurea Magistrale

Relatori
prof. Patrizia Lombardi
prof. Vittorio Verda

Tutor
Sara Torabi Moghadam

Candidata
Alessia Giacomini

Anno Accademico 2018/2019

Abstract

The global energetic scenery is constantly changing; in general it is possible to spot, with historical data and future outlook, a stable increase in primary energy consumption. In this context we aim through renewable energy sources, to the detriment of fossil fuels.

In this framework the European Union proclaim the SCORE project "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies", plug into the Horizon 2020 program. The main objective is to analyse the feasibility of energetic communities, from a technological, economical and administrative viewpoint. The term "energetic communities" indicate a project promoted by citizens which, at a local level, autonomously organized themselves in order to aggregate producers and consumers in matter of energy. The project provided for the realization of three practical case study in Italy, Poland and Czech Republic, also with the support of teams from Germany and Bulgaria.

The proposed study covers the earliest phases of the SCORE project. In the matter in question it has been identified lot of possible case study in the zone of the Susa Valley, in the Turin area, with a significant data collection. After the locating of the possible projects, it has been implemented a multi criteria analysis, with the purpose of evaluating which case study would be more feasible for the realization, considering social, technical, economic, environmental and administrative aspects of the proposed plant. At the end of this study it has also been produced an article named "The role of prosumers in supporting renewable energies". The proposed thesis leaves open future developments on SCORE project; moreover, provides cues and observations on energy communities, that allow further consideration and future studies.

Sommario

Il panorama energetico mondiale è in continuo mutamento; in generale si può riscontrare, sia dai dati storici, sia dalle previsioni future, un costante incremento nella richiesta di energia primaria. In questo contesto ci si rivolge in misura sempre maggiore verso le fonti di energia rinnovabili, con un progressivo tentativo di emancipazione dalle fonti fossili.

All'interno di questo quadro si inserisce, all'interno del programma Horizon 2020, il progetto SCORE "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies", bandito dall'Unione Europea in un'ottica di sviluppo sostenibile. L'obiettivo principale del progetto è analizzare la fattibilità, dal punto di vista tecnologico, economico ed amministrativo delle comunità energetiche autonome. Con il termine di "comunità energetiche" si vuole designare un progetto promosso da cittadini, i quali, a livello locale, si organizzano in modo autonomo, aggregando produttori e consumatori in materia di energia. Sono previsti casi studio pratici del progetto in Italia, Polonia e Repubblica Ceca, che saranno realizzati anche con il supporto dei team di Germania e Bulgaria.

Il lavoro di tesi proposto copre le prime fasi del progetto SCORE. Nella fattispecie sono stati individuati numerosi casi studio di possibile realizzazione nella zona della Val di Susa, in provincia di Torino, per i quali è stata effettuata un'importante raccolta dati. Localizzati i possibili progetti pratici, si è effettuata un'analisi di tipo multi-criteriale, al fine di valutare quale caso studio fosse più indicato per la realizzazione, tenendo in conto aspetti sociali, tecnici, economici, ambientali ed amministrativi degli impianti proposti. In questa parte di lavoro è anche stato prodotto un articolo dal titolo "The role of prosumers in supporting renewable energies".

Il progetto di tesi lascia aperte nuove strade per la prosecuzione dei lavori per il progetto SCORE; inoltre fornisce spunti e valutazioni sulle comunità energetiche che possono essere utili in studi futuri.

Indice

ABSTRACT 3

SOMMARIO 4

INDICE DELLE FIGURE 8

INDICE DELLE SIGLE 11

CAPITOLO 1 12

INTRODUZIONE 12

1.1 Panorama energetico 12

1.2 Energia da fonti rinnovabili 14

1.3 Obiettivi 16

1.4 Metodologia 17

1.5 Struttura di tesi 19

CAPITOLO 2 21

CENNI SULLE COMUNITÀ ENERGETICHE AUTONOME 21

2.1 Inquadramento e situazione attuale 21

2.2 Come funzionano 22

2.3 Vantaggi e svantaggi 26

CAPITOLO 3 31

PROGETTO SCORE 31

3.1 SCORE "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies" 31

3.1.1 Il progetto 31

3.1.2 Gli obiettivi 33

3.2 Il caso studio italiano 35

3.3 I casi studio identificati 36

3.4 La ricerca dei dati **42**

CAPITOLO 4 44

METODOLOGIA DI VALUTAZIONE 44

4.1 Introduzione alla metodologia **44**

4.2 Definizione dei sistemi in esame **46**

4.3 Criteri dell'analisi **48**
4.3.1 Preselezione dei criteri 49
4.3.2 Selezione dei criteri 56
4.3.3 Selezione finale dei criteri 61

4.4 Pesi dei criteri **63**
4.4.1 Introduzione ai metodi di peso 63
4.4.2 Playing cards 66

CAPITOLO 5 74

ELABORAZIONE DATI 74

5.1 Elaborazione dei dati **74**
5.1.1 Criteri sociali 74
5.1.2 Criteri tecnici 75
5.1.3 Criteri economici 76
5.1.4 Aspetti ambientali 78
5.1.5 Aspetti amministrativi 79

5.2 La matrice valutativa **79**

5.3 Applicazione del modello **82**
5.3.1 Scelta del modello 82
5.3.2 Visual PROMETHEE 83

CAPITOLO 6 88

RISULTATI 88

6.1 Risultati ottenuti **88**
6.1.1 Risultati gruppo A 88
6.1.2 Risultati gruppo B 92

6.2 Discussione dei risultati **95**
6.2.1 Confronto gruppo A e gruppo B 95
6.2.2 Sensibilità del sistema 96

CAPITOLO 7 101

CONCLUSIONI 101

7.1 Conclusioni 101

7.2 Sviluppi futuri 105

APPENDICE 1 107

ARTICOLO 107

APPENDICE 2 114

MATERIALE GRUPPO DI LAVORO 114

APPENDICE 3 117

REPORT VISUAL PROMETHEE 117

BIBLIOGRAFIA 126

SITOGRAFIA 129

MATERIALE DIDATTICO 129

CONFERENZE 129

RINGRAZIAMENTI 130

Indice delle figure

Figura 1. L'istogramma rappresenta il consumo di energia primaria (miliardi di toe) in relazione alle previsioni 13
Figura 2. L'istogramma rappresenta il consumo di energia primaria in relazione alle previsioni fino al 204014
Figura 3.Nel grafico sono rappresentate le proiezioni fino al 2040 della CO_2 prodotta (miliardi di tonnellate) per sopperire al fabbisogno energetico mondiale. La ripartizione viene fatta evidenziando le differenze tra i paesi appartenenti e non all'OECD (U.S. EIA (Org.), 2017). 15
Figura 4. Il grafico rappresenta la proiezione della domanda di energia (espressa in biliardi di Btu) che 16
Figura 5. Schema del procedimento metodologico proposto. 17
Figura 6. Lo schema rappresenta un'ipotetica utenza A che è tenuta a reimmettere in rete l'energia prodotta in surplus, mentre l'utenza B la ricompra dalla rete elettrica nazionale. 23
Figura 7. Lo schema rappresenta il concetto per cui un'ipotetica utenza A scambia energia in modo diretto con l'utenza B senza passare per la rete elettrica nazionale, facendo corrispondere direttamente domanda ed offerta. 24
Figura 8. Il grafico rappresenta le emissioni di kg di CO_2 per ogni GJ di energia elettrica, differenziato in base alla fonte energetica impiegata nella produzione. L'immagine è tratta da un'analisi di Erik Kountz della Stanford University del 2016. 26
Figura 9. Grafico qualitativo della curva di apprendimento, che vede in ascissa il volume cumulato di produzione ed in ordinata i costi. 28
Figura 10. Grafico qualitativo che rappresenta l'incremento di prestazioni in funzione del volume cumulato di produzione. 29
Figura 11. Mappa che riporta la localizzazione dei partner del progetto. 33
Figura 12. Logo della certificazione PEFC. 36
Figura 13.Localizzazione dei progetti individuati. 39
Figura 14. Logo dell'evento BOSTER. 42
Figura 15. L'immagine illustra la natura complessa delle interazioni dei sistemi energetici. 45
Figura 16. Procedura attuata per l'applicazione della metodologia multi-criteriale. 46
Figura 17. Ambiti individuati per la matrice valutativa. 48
Figura 18.Lo schema illustra le tre fasi seguite per la formulazione dei criteri. 49
Figura 19. Immagine scattata durante la presentazione del gruppo di lavoro il 29 gennaio 2019. 62
Figura 20. Esposizione dei risultati ottenuti dalla selezione finale. 63
Figura 21. Metodi possibili per attribuzione dei pesi ai criteri. 64
Figura 22. Ipotetico ordinamento delle carte. 67
Figura 23. Ipotetico sottosistema di carte. 68
Figura 24. Mediazione tra i componenti del gruppo A. 68
Figura 25. I due gruppi ordinano i criteri per ottenere il risultato finale. 73
Figura 26. Sistema generato su Visual PROMETHEE con i risultati ottenuti dal gruppo B. 86
Figura 27. Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per il gruppo A. 90
Figura 28.Rappresentazione grafica flusso netto, per il gruppo A. 90
Figura 29. Grafico GAIA per il caso Oulx, gruppo A. 91
Figura 30. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, gruppo A. 91
Figura 31.Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per il gruppo B. 93
Figura 32. Rappresentazione grafica flusso netto, per il gruppo B. 93
Figura 33.Grafico GAIA per il caso Oulx, gruppo B. 94
Figura 34. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, gruppo B. 94
Figura 35. Confronto flussi netti casi A e B. 95

Figura 36.Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per caso di pesi uguali. __ *97*
Figura 37.Rappresentazione grafica flusso netto, per caso di pesi uguali. _____ *97*
Figura 38. Grafico GAIA per il caso Oulx, per pesi uguali. _____ *98*
Figura 39. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, per pesi uguali. _____ *98*
Figura 40. Confronto flussi netti casi di A, di B e di pesi uguali. _____ *99*
Figura 41. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Oulx, esempio caso B. _____ *102*
Figura 42. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Ala di Stura, esempio caso B. _____ *102*
Figura 43. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Rueglio, esempio caso B. _____ *103*
Figura 44. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Bruzolo, esempio caso B. _____ *103*
Figure 45. The steps of the selection process _____ *108*
Figura 46. Localizzazione dei progetti individuati. _____ *115*

Indice delle tabelle

Tabella 1. Elenco dei partner del progetto. 32
Tabella 2. Elenco casi studio ipotetici. 38
Tabella 3. Elenco finale dei possibili casi studio. 41
Tabella 4.Criteri sociali emersi dalla preselezione. 51
Tabella 5.Criteri tecnici emersi dalla preselezione. 52
Tabella 6. Criteri economici emersi dalla preselezione. 53
Tabella 7. Criteri ambientali emersi dalla preselezione. 55
Tabella 8. Criteri amministrativi emersi dalla preselezione. 55
Tabella 9. Criteri sociali alla fine della selezione. 57
Tabella 10. Criteri tecnici alla fine della selezione. 57
Tabella 11. Criteri economici alla fine della selezione. 58
Tabella 12. Criteri ambientali alla fine della selezione. 58
Tabella 13. Criteri amministrativi alla fine della selezione. 59
Tabella 14. Impiego delle carte bianche nel playing card method. 67
Tabella 15. Risultati relativi al gruppo A. 70
Tabella 16. Risultati relativi al gruppo B. 71
Tabella 17. La tabella contiene i dati utilizzati relativi ai rendimenti di distribuzione e generazione degli impianti ante e post operam. 75
Tabella 18. Tariffe in [€/Gj] rispetto alla materia prima impiegata. 77
Tabella 19. Matrice valutativa con criteri sociali, tecnici ed economici. 80
Tabella 20. Matrice valutativa con criteri ambientali ed amministrativi. 81
Tabella 21. Abbreviazioni utilizzate per i criteri. 82
Tabella 22. Scala di impatto su Visual PROMETHEE. 84
Tabella 23. Scala qualitativa di 9 punti su Visual PROMETHEE. 84
Tabella 24. Scala qualitativa di 5 punti su Visual PROMETHEE. 85
Tabella 25. Risultati flussi gruppo A. 88
Tabella 26. Risultati flussi gruppo B. 92
Tabella 27. Risultati flussi nel caso di pesi uguali. 96
Table 28: List of the Italian case studies 108

Indice delle sigle

SCORE: Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies.

PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations.

GAIA: Graphical Analysis for Interactive Aid.

DM: Decision Maker.

MCDA: Multiple Criteria Decision Aid.

MCDM: Multiple Criteria Decision Making.

VMM: Value Measurement Model.

GP: Goal Programming.

Toe: Ton of Oil Equivalent.

COP: Conference Of Parties.

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development.

Btu: British Thermal Unit.

SiTi: Sistemi Territoriali per l'Innovazione.

IoT: Internet Of Things.

EASME: Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises.

PEFC: Programme for Endorsement of Forest Certification schemes.

CoC: Chain of Custody.

BOSTER: Bosco e Territorio.

SDG: Sustainable Development Goals.

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Panorama energetico

Il panorama energetico mondiale è in continuo mutamento; questo è dovuto a differenti tendenze, sia a livello globale, sia dei singoli stati, che si sovrappongono e combinano in maniera diversa e che diventano più o meno incisive a seconda di svariati fattori. Tra i vari elementi che hanno ingerenze in materia di energia, possiamo annoverare: la crescita demografica, i processi di sostituzione tecnologica, la crescente preoccupazione in materia ambientale, dettata da inquinamento e sfruttamento del territorio, la penetrazione di nuovi mercati, la maggior parte dei quali è strettamente connessa alle politiche economiche di paesi che stanno affrontando un rapido sviluppo.

Osservando il quadro mondiale si può facilmente notare una costante crescita nel consumo di energia primaria, che si riflette anche nelle proiezioni future (BP, 2018b),(U.S. EIA (Org.), 2017). In generale questo è dovuto al fatto che l'uomo conduce una vita estremamente energivora, in quanto quasi tutte le attività che svolge nella sua quotidianità richiedono l'impiego di energia nelle sue varie forme. Analizzando il consumo di energia primaria per settori di utilizzo si ha che, complessivamente, il dato più influente è fornito dal settore dell'industria, che assorbe la maggior parte dell'energia primaria, seguito dal settore residenziale e quello dei trasporti. L'incremento di richiesta di energia primaria per il settore industriale è dovuto essenzialmente al rapido sviluppo di paesi come India ed altri emergenti nel continente asiatico ed africano, infatti essi rappresentano circa il 70% della quota designata per l'industria. Per ciò che concerne il settore residenziale, che rappresenta un terzo della crescita energetica globale, l'incremento della domanda e del

conseguente consumo è da attribuire all'aumento demografico ed alla crescente prosperità che porta ad incrementare il comfort nelle abitazioni e sui luoghi di lavoro (BP, 2018a).

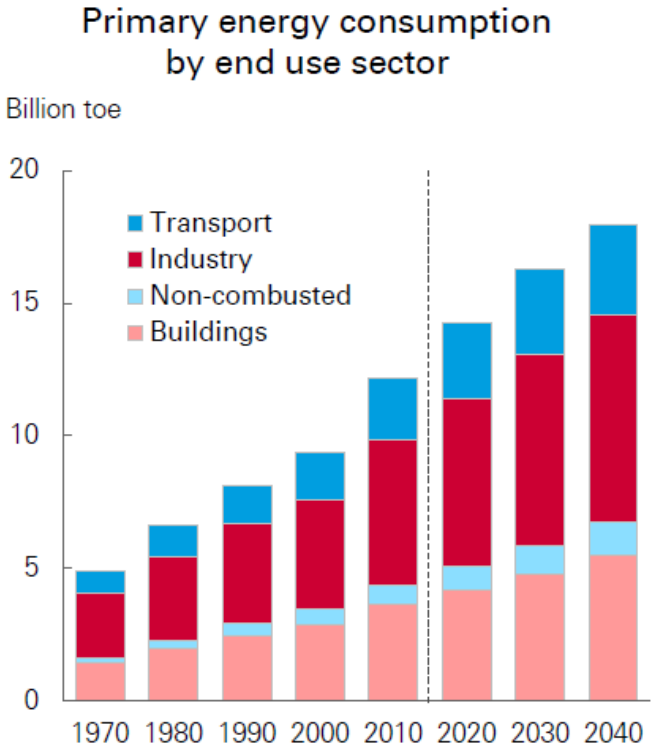

Figura 1. L'istogramma rappresenta il consumo di energia primaria (miliardi di toe[1]) in relazione alle previsioni future fino al 2040; con particolare attenzione alla suddivisione per settori di impiego (BP, 2018a).

Per quanto riguarda la ripartizione del consumo di energia primaria, si prevede che i paesi appartenenti all'OECD[2] mantengano un impiego di energia sostanzialmente costante, mentre per gli altri paesi si immagina un aumento che nel 2040 porterà ad un incremento di circa 5 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio. Analizzando nello specifico le condizioni di India e Cina si ha che esse rappresentano attualmente circa un quarto dell'incremento di energia primaria globale; sebbene in previsione il paese asiatico stia riducendo il suo tasso di crescita. Non sono da trascurare in termini di sviluppo anche i paesi emergenti dei continenti africano ed asiatico, che avranno sempre una maggiore crescita percentuale.

[1] 'Toe', abbreviazione inglese per 'ton of oil equivalent'. In italiano 'tep', 'tonnellata equivalente di petrolio', corrisponde a 41.860 GJ, come stabilito dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas.
[2] OECD acronimo inglese di 'Organization for Economic Co-operation and Development', in italiano OCSE 'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico'. L'organizzazione conta 36 membri attivi ed ha ruolo prevalentemente consultivo.

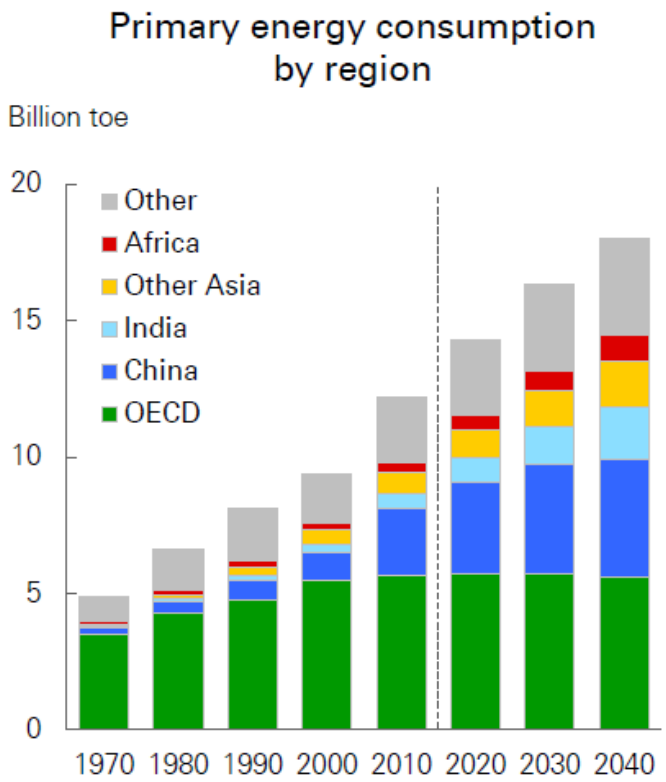

Figura 2. L'istogramma rappresenta il consumo di energia primaria in relazione alle previsioni fino al 2040 (unità di misura in miliardi di toe), con ripartizione dei consumi in base ai vari paesi (BP, 2018a).

1.2 Energia da fonti rinnovabili

In uno scenario che raffigura una richiesta di energia in continua crescita, si tende a rivolgere un'attenzione sempre maggiore alle fonti di tipo rinnovabile. Tale tendenza trova spiegazione in vari fenomeni, nella fattispecie, si hanno preoccupazioni riguardanti: l'esauribilità delle fonti fossili convenzionali (è da rimarcare che questo non rappresenta ancora una minaccia imminente), l'equilibrio spesso precario dell'approvvigionamento da tali fonti, dovuto ad instabilità di tipo politico tra le varie nazioni, ed infine, più importante, la crescente apprensione nei confronti dell'ambiente, dovuta principalmente alla pericolosa crescita di emissioni inquinanti, (tra le quali il più rilevante è il diossido di carbonio, CO_2), tale fenomeno sta portando a scompensi ecologici e climatici sempre più evidenti.

Molti paesi, preso atto della situazione sempre più preoccupante, hanno già orientato la loro politica in materia di energia verso un'ottica di sostenibilità, inserendo in quantità sempre maggiore un approvvigionamento da fonti rinnovabili nel loro mix energetico. Questo comportamento è incoraggiato, tra gli altri, anche dalla conferenza COP24[3], tenutasi a Katowice lo scorso dicembre, in cui più di 190 paesi si sono confrontati su temi di tipo ambientale. In tale occasione si è raggiunto

[3] Tenutasi dal 3 al 14 dicembre 2018 a Katowice (Polonia), la COP24 (acronimo di Conference Of Parties) prevede anche supporti di tipo finanziario per il raggiungimento dell'obiettivo preposto.

l'obiettivo di dettare delle regole per l'attuazione dell'accordo di Parigi[4] (aggiungendo ad esso restrizioni più severe); il provvedimento entrerà in vigore nel 2020. In tale circostanza è stato infatti decretato che l'innalzamento della temperatura globale non debba superare 1.5°C, nonché una diminuzione delle emissioni di CO_2 del 45%, entrambi gli obiettivi devono essere raggiunti entro il 2030.

La riduzione delle emissioni di diossido di carbonio rimane un tema di estrema importanza. Purtroppo, le proiezioni future non sono confortanti; infatti, mentre nei paesi dell'OECD si può riscontrare una tendenza abbastanza costante, non si può affermare la stessa cosa per i paesi non appartenenti all'organizzazione. L'innalzamento nella produzione di CO_2 in questi ultimi (è prevista pari all'1% annuo) è dettata soprattutto dal loro sviluppo industriale che presenta una crescita repentina e non particolarmente attenta ai vincoli di tipo ambientale, come era stato per i paesi europei alla fine degli anni dell'Ottocento. Per quanto riguarda i paesi dell'OECD il trend mantiene un andamento immutato nei vari anni, nonostante sia accompagnata da un crescente sviluppo dei mercati. Questo è dovuto ad una maggiore efficienza energetica ed un graduale approvvigionamento da fonti rinnovabili.

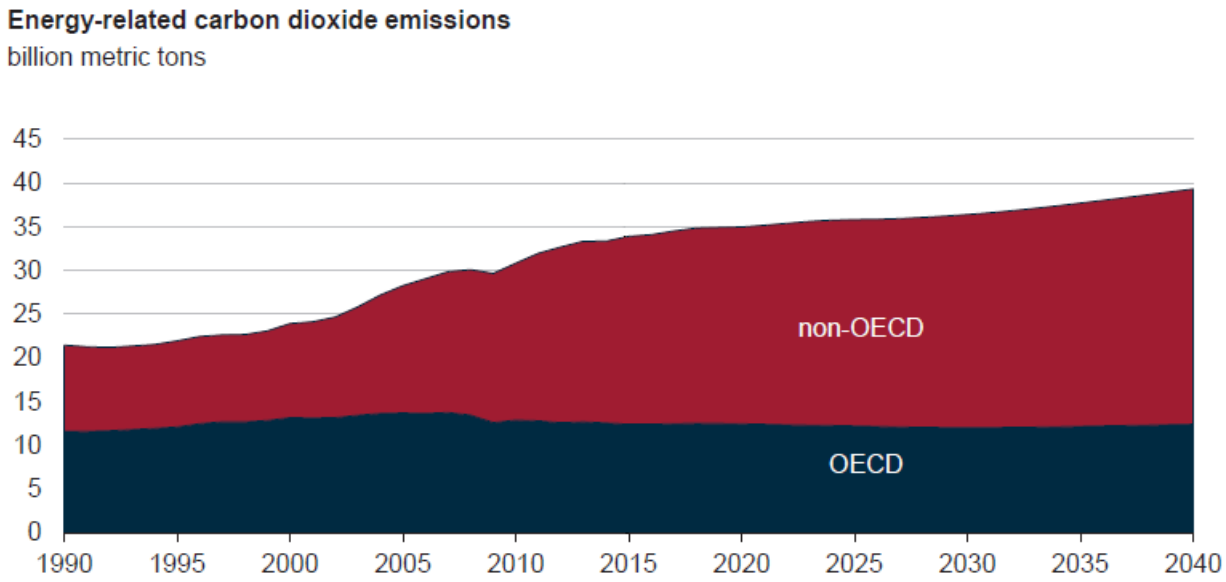

Figura 3.Nel grafico sono rappresentate le proiezioni fino al 2040 della CO_2 prodotta (miliardi di tonnellate) per sopperire al fabbisogno energetico mondiale. La ripartizione viene fatta evidenziando le differenze tra i paesi appartenenti e non all'OECD (U.S. EIA (Org.), 2017).

Attualmente le prospettive di una penetrazione sempre più incisiva delle fonti rinnovabili sono appoggiate anche dalle proiezioni future che prevedono un aumento del 56.4% entro il 2040, con un incremento annuo circa del 2.45%: in questo modo si riuscirà a coprire circa 129 biliardi di Btu[5] di domanda di energia globale. Tale previsione è supportata sia dalle politiche dei singoli stati che garantiscono incentivi, sia dalla crescente maturazione delle tecnologie rinnovabili, che comportano prezzi gradualmente più competitivi.

[4] L'Accordo di Parigi è il risultato della COP21 tenutasi a Parigi nel periodo tra il 7 e l'8 dicembre 2015.
[5] Btu è l'acronimo di 'British Thermal Unit', dal valore di circa 1055 Joule.

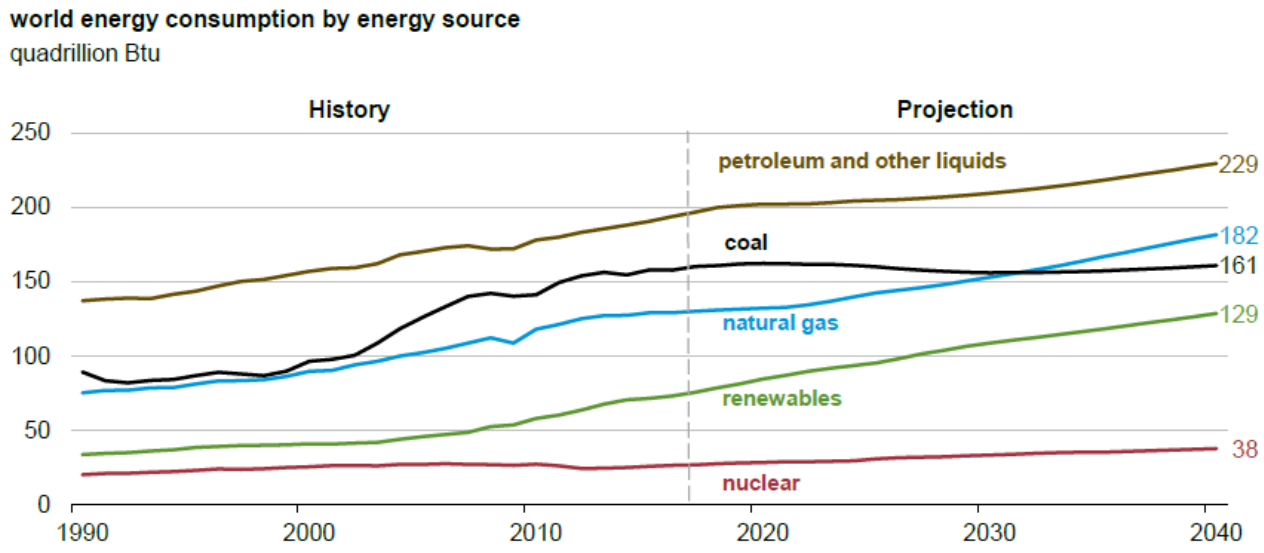

Figura 4. Il grafico rappresenta la proiezione della domanda di energia (espressa in biliardi di Btu) che ogni fonte energetica è in grado di soddisfare (Capuano, 2018).

1.3 Obiettivi

All'interno del quadro energetico delineato, una delle risposte plausibili, particolarmente legata al tentativo di riduzione dei consumi di energia primaria, alla riduzione nella produzione di anidride carbonica ed all'inserimento delle rinnovabili, può essere la creazione di comunità energetiche autonome. Queste ultime avranno un ruolo centrale in questa tesi: si tratta di comunità formate da cittadini che si organizzano in modo autonomo per autoprodurre energia mediante fonti rinnovabili. Verranno analizzate più nello specifico nel capitolo successivo. (*Cenni sulle comunità energetiche autonome*).

Nel dettaglio la tesi si sviluppa all'interno del progetto SCORE, "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies", un progetto bandito dalla comunità europea in un'ottica di sviluppo sostenibile. Tale progetto rientra nel programma Horizon 2020, il quale ha come obiettivo principale il sostegno alla ricerca ed all'innovazione tecnologica. Il progetto SCORE, che verrà ampiamente analizzato nel terzo capitolo (*Progetto SCORE*) di questa trattazione, mira ad analizzare la fattibilità delle comunità energetiche autonome. Questo avviene mediante la collaborazione e lo studio fatto in sinergia con dei team di ricerca provenienti da differenti stati appartenenti all'unione europea. Dei casi studio pratici di SCORE saranno realizzati in Italia, Polonia e Repubblica Cieca, in modo da individuare vantaggi e criticità nella realizzazione dei progetti. Parte fondamentale del progetto sarà la comunicazione ed il lavoro fatto tra i vari team, al fine di evidenziare non solo gli aspetti rilevanti del progetto in sé ma anche le eventuali differenze che possono emergere a seconda dei paesi di installazione.

La tesi si colloca nella fase iniziale del progetto italiano, ovvero nella fase di progettazione preliminare che darà poi luogo alla realizzazione del caso studio. L'obiettivo principale risulta essere perciò l'individuazione dei possibili casi studio pratici italiani. Osservando il problema nella sua

globalità la tesi si prefigge di analizzare nello specifico i differenti progetti proposti e di esprimere, tenendo conto della definizione del problema, quali siano le migliori alternative in una prospettiva di sostenibilità.

Al fine di perseguire tale proposito si palesa la difficoltà di fronteggiare un raffronto tra sistemi complessi, quali quelli di stampo energetico, che hanno ingerenze in differenti ambiti. Occorre dunque eseguire una valutazione specifica dei progetti considerati ed eseguire un successivo raffronto dei sistemi analizzati.

In base ai risultati emersi da questa trattazione, il progetto proseguirà l'analisi focalizzandosi sulle alternative proposte e valutando per ciascuna diversi scenari.

1.4 Metodologia

Il procedimento metodologico intrapreso, allo scopo di perseguire l'obiettivo preposto, è schematizzato di seguito ai fini dell'immediatezza.

Figura 5. Schema del procedimento metodologico proposto.

Il processo metodologico presentato si articola in tre temi fondamentali: analisi dei casi studio, confronto tra i sistemi energetici, e risultati ottenuti. I quali sono declinati in sei passaggi specifici.

Nella fattispecie si procede innanzitutto all'analisi dei casi studio; la quale si effettua attraverso gli step numero 1 e 2. Mediante tali step si intende indagare sui casi studio italiani proposti, valutandone la fattibilità preliminare e stabilendo la lista finale dei progetti da mantenere. Per i sistemi energetici così delineati si procederà dunque ad una importante raccolta di dati; al fine di poter successivamente eseguire la valutazione comparativa tra i vari casi studio.

Segue la fase di confronto tra i sistemi selezionati. Per questa fase si è scelto di avvalersi di un'analisi di tipo multi-criteriale, realizzando una matrice valutativa in grado di tenere in considerazione le ingerenze di sistemi complessi, quali sono quelli energetici, in differenti ambiti.
Gli ambiti di esame verteranno intorno a risvolti sociali, tecnici, economici, ambientali ed amministrativi; per ciascuno dei quali si determineranno differenti criteri. Al fine di ottenere i criteri definitivi, per prima cosa si attua una preselezione tramite letteratura, successivamente una selezione attraverso il confronto a più riprese con i membri del team italiano, in base alla pertinenza alla materia trattata, ed infine una selezione finale con il supporto di un gruppo di lavoro organizzato allo scopo prefisso. Una volta acquisiti i criteri occorre attribuire agli stessi dei pesi relativi, in modo da avere un ordine di priorità. Questa fase che rientra nello step 3 sarà portata a termine con l'ausilio di esperti nel campo energetico e delle analisi multi-criteriali, attraverso l'attuazione del metodo "Playing card[6]". Si tratta di un metodo semi-strutturato di natura partecipativa e presenta notevoli vantaggi tra i quali stimolare il dialogo ed il confronto e fornire un supporto tangibile ai soggetti partecipanti.

Nello step 4 si procederà all'assemblaggio della matrice valutativa, elaborando i dati raccolti nello step 2, in modo da avere a disposizione tutti i valori necessari ad operare il confronto tra i sistemi energetici proposti. Alla fine dell'applicazione della metodologia è stato redatto un articolo di carattere scientifico in attesa di pubblicazione dal titolo "The role of prosumers in supporting renewable energies".

All'interno step 5, come ultimo passaggio necessario al raffronto dei progetti delineati, si applicherà il metodo PROMETHEE, attraverso l'ausilio del software "Visual PROMETHEE". Questo metodo è stato scelto in quanto permette un attento studio delle problematiche relative allo studio dei sistemi energetici. Si basa su un approccio di aggregazione parziale, che permette di valutare simultaneamente criteri qualitativi e quantitativi e fornire un ordine completo di preferenza per le alternative di casi studio proposte. Permette inoltre di fronteggiare eventuali conflitti che spesso sono presenti tra i vari criteri.

Infine, nello step numero 6 si fornirà un'accurata analisi dei risultati ottenuti, e si fornirà una preferenza di intervento, la quale sarà necessaria al naturale sviluppo ed avanzamento del progetto SCORE.

[6] Il metodo verrà spiegato più dettagliatamente nel paragrafo (*4.4.2 Playing cards*).

1.5 Struttura di tesi

Per quanto concerne la struttura dell'elaborato, la tesi è organizzata come indicato di seguito.

Nel prossimo capitolo sono presenti dei cenni sulle comunità energetiche autonome, le quali rappresentano una nuova tipologia di approccio alla materia energia. Tali comunità rappresentano un concetto innovativo e molto recente, infatti non sono ancora particolarmente diffuse in Europa e nel mondo. Proprio per questo motivo in letteratura non è presente materiale particolarmente dettagliato. Il capitolo non si prefigge quindi un'analisi approfondita e minuziosa, ma è finalizzato ad inquadrare la problematica a cui si approccia il progetto SCORE. Quest'ultimo infatti ha come scopo principale il fornire una valutazione di fattibilità delle comunità energetiche ed ottenere informazioni più precise al riguardo, delineandone vantaggi ed eventuali svantaggi su cui intervenire, al fine di favorire tale tipo di strutture energetiche.

Il progetto SCORE verrà discusso nel dettaglio nel corso del terzo capitolo della trattazione, in cui saranno esposte le intenzionalità del progetto declinate in differenti sotto obiettivi.
Nel corso del capitolo verrà inoltre descritto nel dettaglio il progetto del caso studio italiano, localizzato nella zona della Val di Susa, sul quale si è focalizzato il progetto di tesi. Saranno qui presentati i differenti progetti proposti per la realizzazione. Il lavoro, considerato in questo capitolo è portato avanti congiuntamente al team italiano che partecipa al progetto.

Nel quarto capitolo verrà analizzata ed applicata la metodologia utilizzata al fine di delineare l'alternativa preferibile tra quelle proposte per la realizzazione del caso studio italiano. La scelta verrà effettuata in base a vari criteri e verranno alla fine designati i progetti a cui dare la priorità per la concretizzazione. In questa parte si esporrà il lavoro relativo all'analisi multi-criteriale che è stato svolto al fine di ottenere la matrice valutativa necessaria ad operare il discernimento tra i vari progetti italiani identificati.

All'interno del capitolo quinto si procederà all'elaborazione dei dati raccolti, in modo da poter valutare in modo diretto ogni caso studio rispetto a ciascun criterio. I valori così ottenuti saranno presentati nella matrice valutativa. Questa verrà utilizzata come dato di partenza per il software "Visual PROMETHEE". Il metodo verrà impiegato al fine di valutare nello specifico i sistemi energetici proposti per la realizzazione e generare i valori risultanti per ciascun progetto.

Nel corso del capitolo sesto, saranno esposti i risultati ottenuti alla fine dell'intero procedimento metodologico proposto. Vi sarà spazio per i commenti ai risultati e la discussione degli stessi.
In particolare, si effettuerà un confronto tra i due principali risultati ottenuti[7] e si fornirà un'analisi di sensibilità del sistema creato, lavorando in particolare sui pesi dei criteri scelti all'interno dell'analisi proposta.

Nell'ultimo capitolo, saranno riportate le conclusioni tratte dal lavoro di tesi svolto e le prospettive per la prosecuzione del progetto SCORE.

[7] Si otterranno due risultati distinti, in quanto si è deciso di mantenere, per quanto riguarda il peso dei criteri, due ordini completi differenti. Se ne parlerà in modo più approfondito nel corso del capitolo (*4.4 Pesi dei criteri*)

In appendice si trovano invece tutti gli elaborati generati durante la stesura di questa tesi, tra i quali: l'articolo scientifico redatto in lingua inglese "The role of prosumers in supporting renewable energies" (*Appendice 1*), il materiale di supporto generato ai fini del progetto SCORE ed il report completo dei risultati ottenuti, il quale servirà da base di partenza per gli sviluppi futuri del progetto.

Capitolo 2

Cenni sulle comunità energetiche autonome

2.1 Inquadramento e situazione attuale

Le comunità energetiche autonome nascono in un ambiente permeato da tre principali fenomeni. Il primo è legato al trend di transizione che vede il passaggio, sempre più marcato, da centri di produzione dell'energia di taglia medio-grande (come centrali elettriche e termiche che riforniscono ampie zone cittadine), a stazioni di generazione di dimensioni medio-piccole ma numericamente più importanti. Un altro aspetto è dato dalla diffusione, sempre più ingente, di centri di produzione ed autoconsumo dell'energia; questa tendenza riguarda sia il settore residenziale sia quello industriale. Infine, non è da sottovalutare lo sviluppo delle nuove tecnologie anche in materia di energia, che si sta diffondendo in maniera sempre migliore anche tra i privati cittadini, complice anche una maggiore conoscenza ed interesse degli stessi.

Con il termine di "comunità energetiche" si vuole designare un progetto promosso da cittadini che a livello locale si organizzano in modo autonomo, aggregando produttori e consumatori in materia di energia: l'energia in questione proviene da fonti rinnovabili ed è autoprodotta, distribuita e consumata prescindendo dalla rete nazionale.

In una società che sembra spingere sempre più verso l'individualismo, le comunità energetiche si pongono come alternativa: nascono dal desiderio di fornire una risposta collettiva a problematiche presenti sul territorio e che si riflettono proporzionalmente a livello globale. Al fine di puntare ad uno sviluppo umano e sostenibile, delle soluzioni individuali rischiano di essere una risposta solamente parziale; per questo motivo le comunità energetiche hanno la possibilità di utilizzare una tematica di pubblico e vivo interesse quale l'energia, come laboratorio ambientale, sociale ed alle

volte anche politico. Questi ambiti di lavoro, visti in un'ottica più ampia, possono essere vettori di una cooperazione territoriale ed una ricostruzione della collettività.

Attualmente le comunità energetiche sono già presenti in paesi come Paesi Bassi, Regno Unito, Germania, Svezia, Canada e Danimarca e parzialmente regolamentate (Van Der Schoor and Scholtens, 2015) (Viardot, 2013). Differentemente in Italia non esiste ancora una legge nazionale che disciplini tali iniziative.

Volendo cercare di inquadrare la problematica la si può vedere come una forzatura dell'art.71 sulle OIL FREE ZONE, in vigore dal 02/02/2016. Tale articolo recita:

«si intende per "Oil free zone" un'area territoriale nella quale, entro un determinato arco temporale e sulla base di specifico atto di indirizzo adottato dai comuni del territorio di riferimento, si prevede la progressiva sostituzione del petrolio e dei suoi derivati con energie prodotte da fonti rinnovabili»

Uno degli obiettivi che si prefiggono tali comunità è infatti l'emancipazione dalle fonti fossili in favore di energia pulita proveniente da rinnovabili ('Legge del 28/12/2015 n. 221 -', 2016).

Andando più nello specifico a livello regionale si ha che la Regione Piemonte, forte della recente esperienza del caso Pinerolese, che ha assunto il compito di progetto pilota e ha promulgato la legge regionale del 3 agosto 2018, n.º 12 "promozione dell'istituzione delle comunità energetiche" (Bu, 2018). Tale legge ha come finalità il superamento della dipendenza dai prodotti petrolchimici, favorire l'approvvigionamento da fonti rinnovabili e promuovere l'efficienza energetica. La legge sancisce che tali comunità debbano essere senza fini di lucro e che le proposte provengano dai comuni stessi. Possono parteciparvi sia soggetti pubblici che privati e afferma che per ottenere la qualifica di produttore di energia il soggetto in questione debba avere un autoconsumo minimo del 70%. Inoltre, la Regione Piemonte si impegna con la presente a sostenere finanziariamente tali comunità stanziando 25.000 euro per l'anno 2018 e per il 2019.

Tra le finalità del progetto SCORE vi è anche l'intenzione di indagare se la legislazione dei vari stati sia sufficiente o meno per regolamentare e favorire le comunità energetiche autonome o se al contrario non finisca per ostacolarle.

2.2 Come funzionano

Una comunità energetica è formata da un insieme di cittadini, che possono essere soggetti pubblici o privati, riuniti da un obiettivo comune, produrre energia da fonti rinnovabili. Nella semplificazione è possibile assimilare le utenze e le connessioni che intercorrono tra di esse, come una rete: uno schema a blocchi in cui questi sono rappresentati dalle utenze e le connessioni dalle reti.

All'interno delle comunità possono esserci convenzionalmente tre tipologie di utenze. Quelle di tipo residenziale, rappresentano le utenze abitative dei cittadini, possono essere appartenenti ad una casa singola o a più unità abitative, ad esempio in una realtà condominiale. Vi sono le utenze industriali, queste tipicamente necessitano di un quantitativo maggiore di energia e sono

essenzialmente legate al settore secondario. Infine quelle terziarie, ovvero quelle dei servizi quali possono essere scuole, ospedali, centri commerciali o logistici. Generalmente se la rete è composta dalla medesima categoria di utenze ci si riferisce ad una “comunità energetica omogenea”; se al contrario le utenze in questione appartengono a categorie differenti si parla di “comunità energetiche miste” (Energy Strategy Group, 2014).

Le comunità energetiche si prefiggono, tra gli altri scopi, di riuscire a vendere energia senza intermediari. In Italia attualmente questo concetto non è mai stato messo in pratica, nonostante risulti molto più conveniente dal punto di vista economico nonché energetico. Nella fattispecie, nel quadro italiano attuale, assunto che un privato cittadino sia in possesso di un impianto di produzione di energia elettrica (come ad esempio pannelli fotovoltaici, pale eoliche…), nel caso non riuscisse ad auto-consumare tutta l’energia prodotta dovrebbe immetterla nella rete elettrica nazionale. Nell’eventualità che vi siano utenze localizzate in zone limitrofe che necessitino di energia, esse dovrebbero comunque acquistare l’energia dalla rete elettrica, e non direttamente dal soggetto produttore.

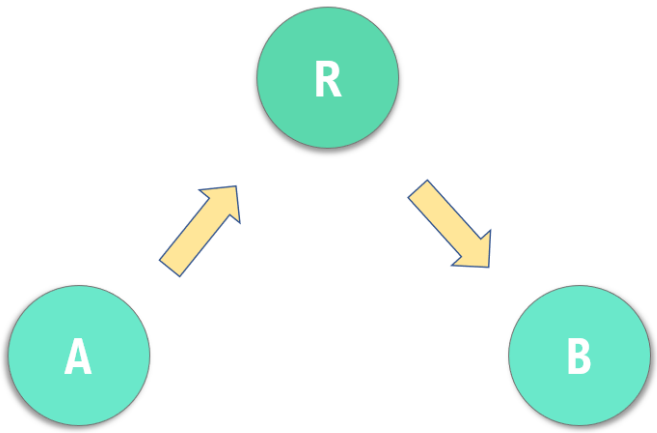

Figura 6. Lo schema rappresenta un'ipotetica utenza A che è tenuta a reimmettere in rete l'energia prodotta in surplus, mentre l'utenza B la ricompra dalla rete elettrica nazionale.

Sfruttando le fonti di energia rinnovabile non è infrequente avere periodi con picchi di produzione elettrica, a tal proposito, potrebbe risultare molto più efficiente eludere l’immissione in rete dell’elettricità e optare invece per la vendita diretta ad utenze prossime al punto di produzione (Belli *et al.*, 2017). Uno scambio diretto di energia consente di passare ad una rete più efficiente rispetto a un sistema di nodi gerarchico.

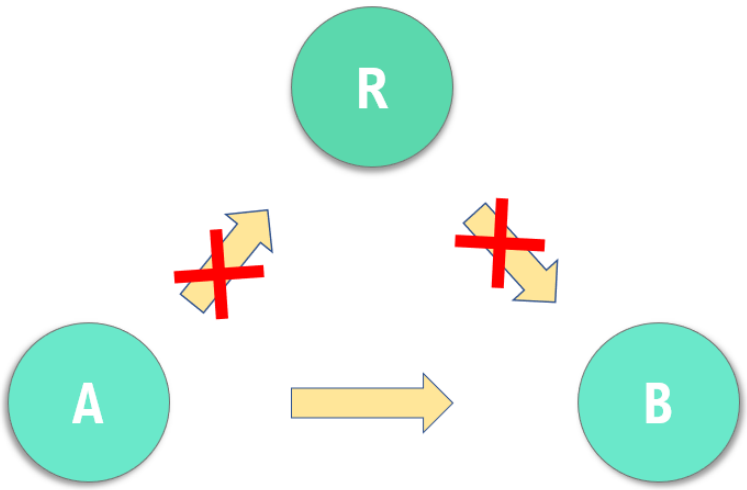

Figura 7. Lo schema rappresenta il concetto per cui un'ipotetica utenza A scambia energia in modo diretto con l'utenza B senza passare per la rete elettrica nazionale, facendo corrispondere direttamente domanda ed offerta.

Questo nuovo concetto, a differenza della situazione attuale, sarebbe molto più efficiente dal punto di vista energetico. L'elettricità prodotta infatti, risulterebbe avere meno dispersioni sia perché incontrerebbe meno sottostazioni di scambio per l'immissione e l'emissione in rete, dunque si avrebbero minori perdite localizzate del sistema, sia perché percorrerebbe un tratto minore di cavo per raggiungere l'utenza di utilizzo, evitando così ulteriori perdite distribuite nella rete.

In questa trattazione tuttavia è da sottovalutare la questione della rete elettrica nazionale. Essa infatti nel caso italiano risulta essere di proprietà statale, perciò è necessario prestare una particolare attenzione e gestire in modo appropriato la situazione, prevedendo ad esempio il pagamento degli oneri di sistema.

Lo Stato Italiano inoltre riceverebbe dei benefici, non solo a livello economico, ma anche a livello sistemico: verrebbero infatti apportate delle modifiche alla rete in un'ottica di potenziamento della stessa, interventi che sarebbero formalmente a carico dei cittadini partecipi della comunità energetica.

Valutando il problema sempre a livello statale vi è da mettere in conto che un maggior numero di produttori di energia in rete comporterebbe una minore dipendenza dall'energia estera, attualmente tale quota ricopre una percentuale molto elevata del fabbisogno italiano (Di, Dell and In, 2016). Questo risulta evidente valutando che, in Italia, solo per l'energia elettrica, il saldo estero relativo al 2017 risulta essere pari a 37.761 GWh, corrispondente all'11.4% del fabbisogno totale, con un incremento del 2,0% rispetto all'anno precedente (Terna, 2018).

Risulta evidente che più grande sarà la comunità energetica, ovvero con un maggior numero di impianti di generazione anche diversificati tra di loro per tipo di fonte di approvvigionamento, e maggiormente efficiente potrà essere la gestione integrata dei carichi (Koirala *et al.*, 2016).

Tale soluzione risulta essere molto vantaggiosa laddove non si abbiano degli opportuni sistemi di accumulo dell'energia prodotta: infatti, avendo a che fare con fonti di energia rinnovabile, la generazione risulta essere discontinua e spesso anche impulsiva, cioè con una produzione massiva di energia in periodi limitati temporalmente.

In aggiunta, questo concetto innovativo potrebbe essere particolarmente conveniente per quei paesi che soffrono l'isolamento geografico. In tali luoghi, come possono essere ad esempio le comunità montane, avere un impianto di generazione elettrica, e la possibilità di amministrarlo a seconda della necessità potrebbe certamente apportare un vantaggio energetico, migliorando l'efficienza della rete, ed economico; conferendo un nuovo slancio a tali comunità. Si prenda come esempio la comunità energetica di Chamois, in collaborazione con l'istituto di ricerca SiTI, istituto superiore di Sistemi Territoriali per l'Innovazione, di Torino. Oggetto dello studio di SiTi, associazione senza fini di lucro, nata dalla collaborazione tra Politecnico di Torino e Compagnia di San Paolo, è stato in questo caso il legame tra il territorio e la questione energetica: la sperimentazione condotta è stata fortemente positiva, ed ha visto la creazione di nuovi posti di lavoro, che hanno permesso una maggiore coesione comunitaria (Chamois, 2017).

Sfruttando l'astrazione delle comunità energetiche otteniamo una rete composta di carichi e generatori, ovvero rispettivamente centri di consumo e di produzione energetica. Le comunità energetiche permettono quindi di "autogestire" una serie di nodi di tale sistema, consentendo così ai cittadini di diventare protagonisti e gestori della propria energia.

La struttura delle comunità energetiche punta molto sulla corresponsabilità dei soggetti che ne fanno parte, infatti l'adesione alla comunità rende tutti i cittadini ugualmente attivi. In questo modo non è compito di una sola utenza gestire gli oneri finanziari delle spese di installazione e produzione, ma queste sono uniformemente ripartite; un tale supporto di carattere fortemente economico comporta una notevole agevolazione nella fase di realizzazione dell'opera. Inoltre, data la struttura della comunità energetica, le decisioni in materia di energia devono essere analogamente condivise da tutti i partecipanti. Questo aspetto non è da sottovalutare, infatti, anche considerando delle comunità energetiche omogenee, cioè composte dalla medesima tipologia di utenza, i soggetti privati che le possiedono sono generalmente differenti tra di loro, per estrazione sociale, per ideologia o semplicemente per interessi (Wirth, 2014).

Per svolgere le attività di base quali quelle legate a riscaldamento, cucina ed acqua calda, il consumo pro-capite giornaliero di energia per una persona si aggira intorno a 150 Watt; tutta l'energia generata in eccedenza viene utilizzata per alimentare lo sviluppo ed il progresso dell'individuo (come l'utilizzo di dispositivi personali eccetera). L'elemento cardine del problema diventa dunque la questione legata alla gestione di questo surplus di energia. La sfida non risiede quindi solamente nell'efficientamento energetico di poche utenze, ma sta nell'amministrazione intelligente ed integrata dei differenti carichi della rete: è questo tipo di ottimizzazione che le comunità energetiche si prefiggono di raggiungere.

2.3 Vantaggi e svantaggi

L'istituzione di comunità energetiche autonome risulta apportare numerosi vantaggi sotto molteplici punti di vista, quali quello energetico, tecnologico, sociale, ambientale, amministrativo ed economico; per questo tali strutture risultano essere particolarmente convenienti. Questi verranno analizzati di seguito in modo più ampio e dettagliato.

Innanzitutto, la costituzione delle comunità appena descritte, si basa sulla penetrazione delle fonti di energia rinnovabile, questo comporta certamente una maggiore tutela di tipo ambientale. Infatti, l'energia da fonti rinnovabili, permette una minore emissione di sostanze inquinanti, di cui le più rilevanti sono sicuramente: anidride carbonica, ossidi di azoto, monossido di carbonio e particolati sottili. Nel grafico sottostante si può avere un'impressione visiva della differenza di emissioni relative al diossido di carbonio; si nota facilmente una drastica riduzione della CO_2 laddove si abbia una produzione da fonti rinnovabili.

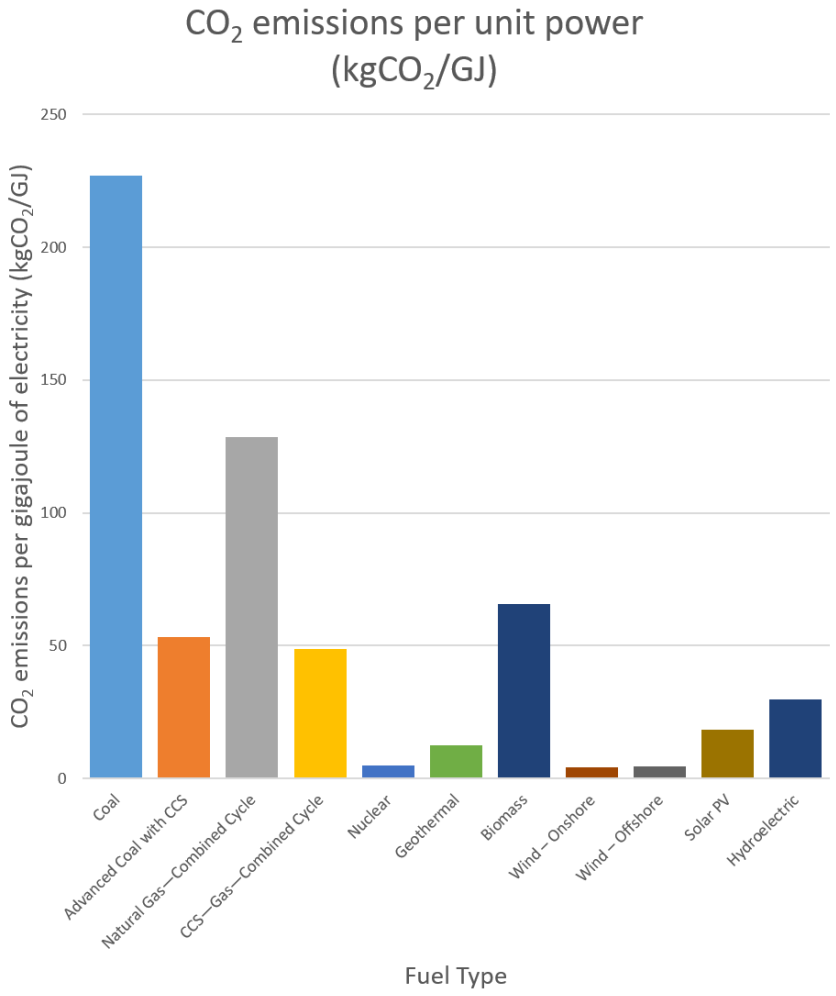

Figura 8. Il grafico rappresenta le emissioni di kg di CO_2 per ogni GJ di energia elettrica, differenziato in base alla fonte energetica impiegata nella produzione. L'immagine è tratta da un'analisi di Erik Kountz della Stanford University del 2016.

È da notare inoltre che per definizione le fonti rinnovabili permettono di produrre energia a partire da una fonte primaria gratuita ed inesauribile, possiamo distinguere tra rinnovabili classiche, quali quelle derivanti da biomasse, idroelettrico e geotermico, o rinnovabili non convenzionali, quali eolico e solare. L'approvvigionamento da tali fonti energetiche è particolarmente positivo dal punto di vista della disponibilità e della protezione dell'ambiente, che, assieme ai costi di produzione, sono tra gli elementi che maggiormente indirizzano le decisioni politiche nel momento in cui vi sia da definire una strategia energetica.

Bisogna inoltre tenere conto della maggiore efficienza energetica legata proprio alle caratteristiche intrinseche della fonte, dovute al fatto che si tratta di energie rinnovabili.

Analizzando la struttura delle comunità energetiche autonome dal punto di vista energetico e tecnologico, si possono osservare delle prospettive particolarmente positive. Nella fattispecie, riprendendo l'analogia con la struttura della rete integrata, i generatori ed i carichi, i quali sono rappresentati dalle utenze, sono liberi di effettuare scambi di energia in modo diretto. In questo modo si ottiene una maggiore efficienza energetica, dovuta ad una minore dispersione della rete. Si permette infatti di ottimizzare i consumi, in quanto vengono ridotte le perdite concentrate e distribuite, grazie ad una più prestante rete di distribuzione. Appare evidente come limitando le perdite e quindi riducendo gli sprechi, si abbia un vantaggio di tipo economico. Tale risparmio risulta visibile ai singoli cittadini coinvolti all'interno della comunità energetica, rendendoli quindi ben disposti alla partecipazione a questa realtà.

In aggiunta questo tipo di gestione della rete comporta dei benefici di portata sistemica: infatti per sfruttare le connessioni tra le differenti utenze senza passare dai punti di dispacciamento obbligato, occorre ampliare la rete. Tali interventi di estensione sono a carico della comunità energetica, che ne usufruisce in prima persona e, in aggiunta, hanno come effetto un potenziamento globale, che va a giovare anche alle infrastrutture statali.

Osservando la situazione sempre dal punto di vista statale, quindi prendendo un sistema di riferimento più vasto, si ha che un numero ampio di produttori di energia, anche di dimensioni medio-piccole, ha comunque la funzione di sopperire ad un numero più elevato di richieste energetiche. In questo modo si riduce nel bilancio nazionale, il fabbisogno di energia attualmente soddisfatto dall'estero, diminuendo, anche se in misura ancora limitata, la dipendenza statale dalle nazioni circostanti.

Inoltre, una rete che comprende un maggior numero di produttori può essere molto vantaggiosa in comunità geograficamente svantaggiate a causa della morfologia impervia di alcuni territori. Qui difatti si può certamente evidenziare una più elevata sicurezza energetica, dovuta principalmente alla vicinanza all'approvvigionamento. Questo riduce la probabilità di rimanere energeticamente isolate in caso di guasti ai sistemi di dispacciamento oppure in caso di eventi naturali di tipo catastrofico, purtroppo sempre più frequenti. Risulta evidente che una simile possibilità comporti dei risvolti pratici anche a livello sociale per tali comunità.

È facilmente intuibile che una tecnologia innovativa come questa porta con sé uno stretto legame con delle tematiche più a lungo termine. In particolare, si evidenziano l'avvento delle smart grids,

che stanno riportando rilevanza sempre crescente nell'interesse pubblico, e le tecnologie IoT[8], su cui si focalizzano studi e ricerche di numerose aziende. Ci si riferisce alle smart grids quando si affianca alla rete di distribuzione elettrica anche una rete di informazione; questo consente di ricevere in tempo reale aggiornamenti sulle condizioni della rete, permettendo di gestire in maniera quasi immediata sovraccarichi o variazioni dal valore nominale della tensione. Le smart grids danno quindi la possibilità di avere una gestione particolarmente accurata, ed al contempo favoriscono una generazione di energia di tipo distribuito anche nelle zone più periferiche della rete.

Ultimo aspetto da valutare in questo campo è la crescita nella "curva di apprendimento", questo è dovuto ad un maggior numero di installazioni rinnovabili. Tale fenomeno, oltre ad essere associato anche ad un ampliamento del mercato, comporta una maggiore consapevolezza legata alla tecnologia impiegata e perciò una riduzione dei costi della stessa.

Queste tendenze sono state largamente studiate e sono valide in generale. Come analizzato anche da Feng and Chan, 2019, si ha il cosiddetto effetto della curva di apprendimento, il quale mostra una costante riduzione percentuale dei costi, ogni volta che viene raddoppiato il volume di produzione. Nel periodo iniziale di sviluppo e produzione della tecnologia infatti, si hanno costi molto alti, i quali decrescono progressivamente con il volume cumulato di produzione.

Figura 9. Grafico qualitativo della curva di apprendimento, che vede in ascissa il volume cumulato di produzione ed in ordinata i costi.

Parallelamente è da valutare anche un aumento delle prestazioni all'aumentare del volume cumulato di produzione, dettato da una più approfondita conoscenza della tecnologia sviluppata, che orienta il mercato verso prodotti sempre più performanti.

[8] L'acronimo "IoT" deriva dalla voce inglese "Internet of Things". Per tecnologia IoT si intende l'applicazione di Internet al mondo legato agli oggetti materiali o luoghi. Tali oggetti acquisiscono il nome di "smart object" poiché diventano in grado, tramite le connessioni Internet che le collegano con il mondo esterno, di scambiare informazioni e dati che ne permettono uno sfruttamento intelligente e più efficiente.

Figura 10. Grafico qualitativo che rappresenta l'incremento di prestazioni in funzione del volume cumulato di produzione.

Osservando la questione dal punto di vista economico è evidente come il progetto di una comunità energetica implichi un investimento di capitale che permane a livello locale. Tale predisposizione è in contraddizione con la tendenza, ormai sempre più diffusa, di accentrare gli interventi finanziari nei grandi nodi di interesse, che risultano essere le città più grandi e popolose; questo va a discapito delle località più circoscritte, aumentando sempre più il loro isolamento e accrescendone il graduale spopolamento.

È da considerare ovviamente che nuovi investimenti comporterebbero una maggiore richiesta di installazioni rinnovabili, estendendo così la capacità di questo mercato alimentato da nuovi business.

La costituzione di comunità energetiche quindi non solo attrarrebbe nuovi investimenti a livello locale, ma favorirebbe anche la creazione di posti di lavoro. In particolare, si avrebbero nuovi impieghi legati sia alla fase iniziale del progetto, che comprende l'assemblaggio e l'installazione, sia alla fase di esercizio, che comprende invece la manutenzione ordinaria e straordinaria dell'impianto e della rete.

Questo ha un considerevole impatto nel sociale, soprattutto negli odierni tempi di crisi economica che mettono sempre più a dura prova le piccole realtà territoriali.

Analizzando la questione anche per i suoi risvolti in ambito sociale, una considerevole importanza, è da attribuire alla coesione comunitaria.

Difatti, soprattutto nelle piccole realtà, la creazione di comunità energetiche autonome, fortemente legate al concetto di corresponsabilità che le caratterizza, porta ad indurre una notevole

partecipazione nei cittadini interessati. In questo modo gli abitanti trovano, attorno al tema energetico, un punto comune da cui scaturiscono idee e confronti.

Tutto questo ha anche il vantaggio di introdurre il soggetto privato ad una maggiore consapevolezza in materia di energie rinnovabili, portandolo a conoscere questo ambiente più da vicino e a fare esperienza diretta di questi temi.

Un altro punto favorevole è determinato dal fatto che partecipando alla dimensione comunitaria viene meno, o in ogni caso si riduce considerevolmente, la problematica relativa ai consensi a livello locale. Nella fattispecie risulta essere un fenomeno universalmente riconosciuto il "Not In My Back Yard" a cui viene attribuito l'acronimo "NIMBY", letteralmente tradotto dall'inglese con "non nel cortile di casa mia" (Van Der Schoor and Scholtens, 2015). Il gioco di parole che può fare sorridere, si rivela spesso essere un problema molto serio che addirittura, alle volte, porta i progetti ad arenarsi ed alfine al fallimento. Questo fenomeno è caratterizzato dal fatto che i cittadini, pur non disdegnando le agevolazioni ed i risultati positivi che verrebbero apportati dalle installazioni, non sono d'accordo con il posizionamento delle stesse in territori limitrofi alle proprie zone di residenza. Tale problematica è aggirata sia dal fatto che i vantaggi per il privato cittadino sono tangibili, sia dal fatto che le installazioni, essendo di taglia media-piccola, risultano essere di dimensioni abbastanza contenute, o comunque reputate accettabili in un bilancio benefici-svantaggi.

Gli unici due punti critici delle comunità energetiche risiedono principalmente nella dimensione collettiva della stessa (Becker, Kunze and Vancea, 2017).

In particolare, il primo verte intorno alla stabilità dell'aggregazione delle utenze nel tempo. Queste, di fatto, una volta connesse tra di loro, devono garantire la piena adesione al progetto, in quanto, una volta effettuati i lavori di adeguamento della rete ed una volta creato il collettivo, sia auspicabile che la situazione rimanga tale, senza incappare in problematiche inattese.

In secondo luogo, in un'ottica di corresponsabilità della comunità energetica, le decisioni devono essere prese in modo collettivo e quanto più possibile unanime, cercando di lavorare nell'interesse di tutti in comunione di intenti. Riconoscendo questo fattore come elemento critico, nella legge regionale 3 agosto 2018, n. º 12 emanata in Piemonte, viene deliberato che le comunità redigano ed adottino uno specifico protocollo d'intesa: ovvero un documento che vincola i contraenti a rispettare ed assumersi i rispettivi impegni contenuti in esso. Tale protocollo tuttavia, risulta essere di natura più politica che giuridica.

Capitolo 3

Progetto SCORE

3.1 SCORE "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies"

Questa trattazione si svolge all'interno del progetto SCORE "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies". Tale progetto è stato bandito dall'agenzia esecutiva per piccole e medie imprese (EASME[9]), mediante delega della commissione europea. Nello specifico si fornisce il numero di Grant Agreement: 784960—SCORE— H2020-EE-2016-2017/H2020-EE-2017-CSA-PPI, per qualsiasi ulteriore informazione sul progetto è possibile consultare (Grant Agreement, 2018). SCORE si articola in un'ottica di sviluppo sostenibile e verrà esposto nel dettaglio nel corso di questo capitolo.

3.1.1 Il progetto

SCORE è un progetto bandito dalla commissione europea che rientra nel programma "Horizon 2020, Energy", ha come obiettivo principale quello di fornire sostegno alla ricerca ed all'innovazione tecnologica.

La durata prevista per il progetto è di 36 mesi a partire dalla data del 1° Aprile 2018, fino al 31 Marzo 2021.

[9] Traduzione dall'inglese "Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises".

Il progetto conta numerosi partner provenienti da diversi stati. In particolare, vi collaborano i seguenti paesi: Germania, Polonia, Bulgaria, Italia e Repubblica Ceca. Si fornisce di seguito la lista dei partner.

Partner	Sigla	Stato
Stiftung Europa, Universitat Viadrina Frankfurt (Oder)	EUV	Germania
Ec Brec Instytut Energetyki Odnawialnej Sp Zoo	IEO	Polonia
Climate Alliance, Klima-Buendnis, Alianza Del Clima e.V.	CA	Germania
Center For The Study Of Democracy	CSD	Bulgaria
Politecnico Di Torino	POLITO	Italia
Co2online Genuetzige Beratungsgesellschaft MBH	CO2ONLINE	Germania
Porsenna O.P.S.	PORSENNA	Repubblica Ceca
La Foresta Società Cooperativa	FORESTA	Italia
Miasto Slupsk	PLUPSK	Polonia
Mesto Litomerice	LITOMERICE	Repubblica Ceca
Consorzio Forestale Alta Valle Susa	CFAVS	Italia
Deutscher Caritasverband EV	CARITAS	Germania
Amico Società Cooperativa Sociale	AMICO s.c.s.	Italia
Federacja Konsumentow Stowarzyszenie	FedKon	Polonia

Tabella 1. Elenco dei partner del progetto.

Per il progetto SCORE è possibile individuare un macro-obiettivo; ovvero valutare la fattibilità della creazione di comunità energetiche autonome. Con il termine comunità energetiche si intende indicare un gruppo di cittadini i quali, a livello locale, si organizzano al fine di produrre calore e/o elettricità da fonti rinnovabili. Tale concetto, risulta essere molto innovativo ed ancora poco investigato in Europa. Il progetto si propone perciò in primo luogo di valutare la fattibilità delle comunità energetiche che vanno a formarsi, sotto diversi aspetti, attraverso il confronto tra i paesi partecipanti, ed in secondo luogo di promuovere questo rivoluzionario sistema di gestione dell'energia.

Figura 11. Mappa che riporta la localizzazione dei partner del progetto.

3.1.2 Gli obiettivi

Il progetto si inserisce in un contesto di implementazione dell'Agenda 2030 e del raggiungimento dei 17 Sustainable Development Goals[10] (Gusmão Caiado *et al.*, 2018). Come detto in precedenza, l'obiettivo generale del progetto è quello di analizzare la fattibilità delle comunità energetiche autonome, in un'ottica europea. Questo avviene declinando differenti sotto obiettivi che contribuiscono a rendere più concreta l'analisi.

SCORE si prefigge di promuovere una tendenza che parte a livello locale. I cittadini infatti, si organizzano in modo autonomo, aggregando produttori e consumatori in materia di energia.

All'interno del progetto SCORE questo obiettivo viene preso in considerazione implementando il concetto di "prosumer". La parola stessa è formata dalla composizione di due sostantivi inglesi "producer" e "consumer"[11]: questa sintesi semantica è volta all'unificazione del soggetto produttore e consumatore. Indica cioè un consumatore che è a sua volta un produttore di energia, oppure che, nell'atto stesso di consumare, contribuisce alla produzione. Nello specifico si intende incentivare i soggetti ad aver un ruolo attivo in materia di energia: tale concetto è alla base delle comunità energetiche autonome.

SCORE riconosce il consumatore come elemento cardine all'interno dei sistemi energetici e si prefigge di incoraggiarne un radicale cambio di abitudini. Nella fattispecie, coinvolgendo il

[10] Si trovano anche indicati con la sigla SDG.
[11] Tradotto dall'inglese "produttore" e "consumatore".

consumatore in prima persona e facendolo diventare fautore delle proprie decisioni dal punto di vista energetico, si intende renderlo più consapevole dei propri consumi e, in un'ottica più pratica, delle proprie spese in materia di energia. Questo si prevede determini un cambio comportamentale per una riduzione di consumi ed una gestione più oculata del proprio fabbisogno energetico.

A fondamento delle comunità energetiche autonome vi è sicuramente un forte coinvolgimento della collettività. In un clima di forte cooperazione, che è il caposaldo di tali strutture energetiche, si attua un cambio di prospettiva, passando dall'individuo alla collettività. Le comunità energetiche si prefiggono infatti un sistema di tipo partecipato e collettivo. In questo senso SCORE lavora per includere nelle strutture energetiche sopra citate i segmenti più deboli della popolazione. In generale infatti i soggetti maggiormente rappresentati risultano essere uomini appartenenti a una fascia di età media e ad alto reddito; a discapito di soggetti quali, donne, anziani e gruppi sociali più vulnerabili (ci si riferisce nello specifico a persone soggette a povertà economica ed energetica). Parallelamente SCORE, per la stessa motivazione, si propone di favorire le microimprese che lavorano a livello locale.

Altro intento di rilevanza centrale all'interno del progetto SCORE è quello di favorire meccanismi che portino ad orientare il mercato verso investimenti energetici di tipo rinnovabile; comportando un progressivo tentativo di emancipazione dalle fonti fossili. Tale obiettivo è strettamente legato ad un discorso, non solo di approvvigionamento, ma anche di efficientamento energetico. In maniera più precisa, si intende rendere gli edifici più efficienti lavorando su isolamento ed involucro edilizio, oltre che installando impianti energetici rinnovabili.

Un obiettivo molto importante al fine della realizzazione del progetto è quello di comprendere come gli interventi, identificati all'interno del progetto SCORE, possano essere finanziati. In questo caso si riprende il concetto di prosumer in chiave economica, attraverso lo strumento dell'amministrazione fiduciaria (Gazzetta Ufficiale, 2011).

Tale tipologia di amministrazione rappresenta un sistema finanziario in cui, tutti i soggetti partecipanti, contribuiscono economicamente all'amministrazione del progetto: in questo modo è possibile vantare dei diritti anche in materia di gestione dello stesso. Con questa procedura si intende conferire un ruolo attivo ai cittadini che intendono prendere parte alla comunità energetica.

Al fine di rendere questi concetti facilmente realizzabili nei casi studio di SCORE verranno incluse nei progetti anche le amministrazioni locali, con funzione, per i cittadini, prevalentemente dimostrativa degli impatti positivi delle comunità energetiche.

In ultimo, il progetto SCORE ha come obiettivo la valutazione delle normative relative alle comunità energetiche dei singoli stati e, se necessario, fornire ampliamento e supporto di tipo legislativo al fine di favorire il passaggio da consumatori a prosumer.

Tutti gli obiettivi appena descritti verranno valutati grazie allo studio svolto in sinergia con i team di ricerca provenienti dai differenti paesi che partecipano al progetto. Dei casi studio pratici di SCORE saranno realizzati in Italia, Polonia e Repubblica Ceca, in modo da individuare vantaggi e criticità nella realizzazione dei progetti. Parte fondamentale di SCORE sarà la comunicazione ed il lavoro

fatto tra i vari team, al fine di evidenziare non solo gli aspetti rilevanti del progetto in sé, ma anche le eventuali differenze che possono emergere a seconda dei paesi di installazione[12].

3.2 Il caso studio italiano

Il progetto SCORE intende indagare vantaggi ed eventuali svantaggi della realizzazione delle comunità energetiche autonome, con l'intenzione di intervenire sugli aspetti critici e fornire appropriate soluzioni. In questo modo sarà possibile incentivare l'innovativa tipologia di approccio alla "materia energia" introdotta dalle comunità energetiche.
Tuttavia, al fine di valutare vantaggi e criticità reali, occorre implementare il progetto delle suddette comunità in modo concreto. A tale scopo SCORE si propone di realizzare dei casi studio pratici in Italia, Polonia e Repubblica Ceca.

In Italia la zona prescelta per l'indagine è la Valle di Susa, la quale si estende per circa 80 km in provincia di Torino. Si tratta di una zona alpina nel Piemonte occidentale. È la valle più estesa e popolosa del Piemonte e conta circa 90.000 abitanti. In questo luogo saranno localizzati i diversi progetti dei casi studio proposti per la realizzazione, i quali verranno approfonditi nel paragrafo successivo (*3.3 I casi studio identificati*).

Per quanto riguarda la composizione del team italiano, si riporta di seguito una breve descrizione dei partecipanti, affiancata al ruolo che l'ente riveste all'interno del progetto (Grant Agreement, 2018):

- Politecnico di Torino, in qualità di università tecnico-scientifica ed ente di ricerca. Grazie alla sua eccellenza tecnologica offre ai fini del progetto SCORE, un supporto sia teorico che applicativo, oltre alle capacità organizzative e di gestione dei processi produttivi.
- La Foresta Società Cooperativa, fondata nel 1996 che si occupa di lavori in ambito forestale. La società si presenta come fortemente esperta nel taglio di biomassa nelle regioni alpine, trasporto della materia prima, essicazione del legno e generazione di cippato. Negli ultimi anni la compagnia si è specializzata nell'installazione e manutenzione di piccoli e medi impianti per la produzione di calore (20-300 kW). Nel 2012 ha inoltre ottenuto la certificazione PEFC[13] per legno e cippato. All'interno del gruppo di lavoro per il progetto SCORE riveste il ruolo di soggetto qualificato in consulenza impiantistica e progettuale.
- Consorzio Forestale Alta Valle di Susa, fondato nel 1953 è un consorzio che comprende 14 comuni dell'Alta Val di Susa. La società ha come scopo principale la gestione forestale e fluviale della valle in questione, attraverso la disposizione di progetti di lavori pubblici e forestali per i comuni interessati. All'interno del progetto SCORE, il consorzio si occupa in particolare di fornire un supporto in campo tecnico ed amministrativo.
- Amico s.c.s. Società Cooperativa Sociale, fondata nel 1999, ma attiva fin dal 1990 nella zona della Valle di Susa. È una società cooperativa no profit che si preoccupa di reintegrare

[12] Per maggiori dettagli sul progetto SCORE è possibile consultare il sito: https://cordis.europa.eu/project/rcn/213562/factsheet/en
[13] PEFC è l'acronimo inglese di "Programme for Endorsement of Forest Certification schemes", ovvero un programma di certificazione per la gestione sostenibile delle foreste.

attraverso l'ambito lavorativo soggetti svantaggiati o marginalizzati. Affidandosi anche al supporto del gruppo Caritas, si occupa di persone diversamente abili, disoccupate da lungo tempo, ex detenuti eccetera. Nello specifico il campo di lavoro favorito per la riabilitazione risulta essere l'ambiente agricolo e forestale. Ai fini del progetto SCORE, la società sarà responsabile della reintegrazione di persone marginalizzate, rivestendo il ruolo di intermediario per raggiungere le fasce deboli della popolazione.

3.3 I casi studio identificati

I progetti che sono stati inizialmente identificati si prefiggono, in generale, di sostituire gli impianti esistenti, con basso rendimento e parecchio inquinanti, con sistemi più efficienti alimentati attraverso la fonte di tipo rinnovabile da biomassa.

Nella fattispecie, si è operata questa scelta in quanto nella zona della Valle di Susa, la biomassa legnosa, risulta essere una risorsa lautamente presente.

Inoltre, si intende sfruttare tale risorsa in un'ottica di amministrazione forestale sostenibile, attraverso la filiera controllata del legno. In generale infatti, la certificazione forestale, permette al consumatore di disporre di un prodotto a base legnosa, proveniente da boschi gestiti in modo economicamente, ecologicamente e socialmente sostenibile. Nello specifico ci si affida alla certificazione PEFC[14], dall'acronimo inglese "Programme for Endorsement of Forest Certification schemes", ovvero "Programma di Valutazione degli schemi di certificazione forestale".

PEFC™

PEFC/18-01-01

Figura 12. Logo della certificazione PEFC.

Nella zona interessata dai casi studio, tale procedura di verifica è fornita dall'organo di governo nazionale PEFC Italia. Quest'ultima è un'associazione senza fini di lucro che attesta la conformità della gestione boschiva ai requisiti richiesti di sostenibilità. La PEFC garantisce: la tutela della biodiversità, la conservazione del bosco come habitat naturale, il mantenimento della funzione

[14] La certificazione è stata preferita in alternativa alla FSC ("Forest Stewardship Council") in quanto maggiormente conforme nel caso di proprietà forestali di piccole dimensioni.

protettiva di clima e suolo fornita dalla foresta, il taglio delle piante secondo il loro ritmo di crescita naturale, la rigenerazione o il rimboschimento delle aree soggette al taglio e l'origine delle materie prime. Inoltre, sono tenuti in considerazione anche aspetti sociali quali la tutela di diritti e salute del lavoratore e della popolazione indigena, anche attraverso la predilezione delle filiere corte.
Questa certificazione è mantenuta nelle lavorazioni successive solo se le imprese operano nell'ambito della catena di rintracciabilità detta CoC[15] di PEFC, di fatto rendendo tracciabili tutti i passaggi intermedi ed impegnandosi a rispettare le regole fiscali e di legalità del lavoro. PEFC Italia si propone per di più di controllare periodicamente che i canoni di sostenibilità previsti dalla certificazione siano rispettati in ogni momento (PEFC, 2015), (www.pefc.it).

Inoltre, la risorsa biomassa è stata selezionata in base all'affidabilità della tecnologia, che risulta essere ormai matura ed attendibile.

In ultimo, non è da sottovalutare che la biomassa è una risorsa rinnovabile di tipo programmabile, ovvero che può essere sfruttata all'occorrenza. Altre fonti rinnovabili come ad esempio l'eolico ed il fotovoltaico sono di tipo discontinuo e spesso non coincidono con il fabbisogno energetico dell'utenza.

Per questo motivo nella fase preliminare della delineazione dei casi studio si è deciso di avvalersi, in prima battuta, della risorsa legnosa: al fine di conferire ai sistemi una sorta di stabilità energetica. Dopo che saranno decretati i casi studio più interessanti, si procederà con la proposta di differenti scenari, per ogni progetto identificato, che prevederanno l'integrazione della risorsa biomassa con altre fonti di tipo rinnovabile.

In sintesi, si è valutato di sfruttare la risorsa energetica della biomassa per differenti motivi:

- Si tratta di una risorsa annoverata tra le fonti energetiche rinnovabili.
- Risulta essere largamente disponibile nella zona prescelta al fine della realizzazione del caso studio italiano per il progetto SCORE.
- Ha come scopo il promuovere un discorso di filiera certificata e controllata, in linea con i principi di sviluppo sostenibile.
- Risulta essere una fonte di energia primaria oramai ampiamente indagata ed affidabile. Si presenta perciò come buon punto di partenza per la creazione di comunità energetiche, in quanto è annoverata tra gli investimenti a basso rischio.
- Permette una generazione di energia programmabile, a differenza di altre rinnovabili che sono fonti di energia non programmabili e discontinue.

Gli impianti sono prevalentemente legati al riscaldamento di soggetti privati e pubblici. Il team italiano con i vari progetti identificati sul territorio, si prefigge di raggiungere circa 1.800 famiglie in modo diretto, ed interessarne oltre 30.000 in modo indiretto attraverso l'inclusione di edifici pubblici. Quest'ultima tipologia di edificio agevola la realizzazione pratica dei casi studio: includendo le amministrazioni locali infatti, si conferisce al progetto un maggior consenso, oltre che una funzionalità dimostrativa degli impatti positivi delle comunità energetiche.

Di seguito si fornisce la lista dei progetti individuati e degli edifici interessati (*Tabella 2*).

[15] CoC è l'acronimo inglese di "Chain of Custody".

Comune	Edificio
Oulx	Municipio
	Ufficio turistico
	Scuola media ed elementare
	Asilo nido
	Auditorium
Oulx	Istituto superiore
Novalesa	Abbazia
	Edifici residenziali
Salbertrand	Parco Alpi Cozie
Bardonecchia	Piscina
Susa	Area sportiva
	Uffici
Susa	Casa di riposo
Bussoleno	Polo scolastico
	Asilo nido
	Municipio
Chianocco	Municipio
Bruzolo	Municipio
Buttigliera Alta	Convitto
Sant'Ambrogio di Torino	Sacra di San Michele

Comune	Edificio
Giaveno	Casa di carità arte e mestieri
	Municipio
	Liceo
Torre Pellice	Polo scolastico
	Municipio
Perosa Argentina	Edifici residenziali
	Municipio
	Scuola
	Piscina
Ceres	Scuola media
	Stazione carabinieri
Ala di Stura	Municipio
	Scuola
Rueglio	Municipio
	Residenza sanitaria per anziani
Almese	Palestra
	Campo sportivo
	Auditorium
	Scuola elementare
	Scuola media
Condove	Casa-famiglia

Tabella 2. Elenco casi studio ipotetici.

Gli interventi inizialmente ipotizzati erano 20, distribuiti sul territorio della Valle di Susa come nella figura successiva (*Figura 13*).

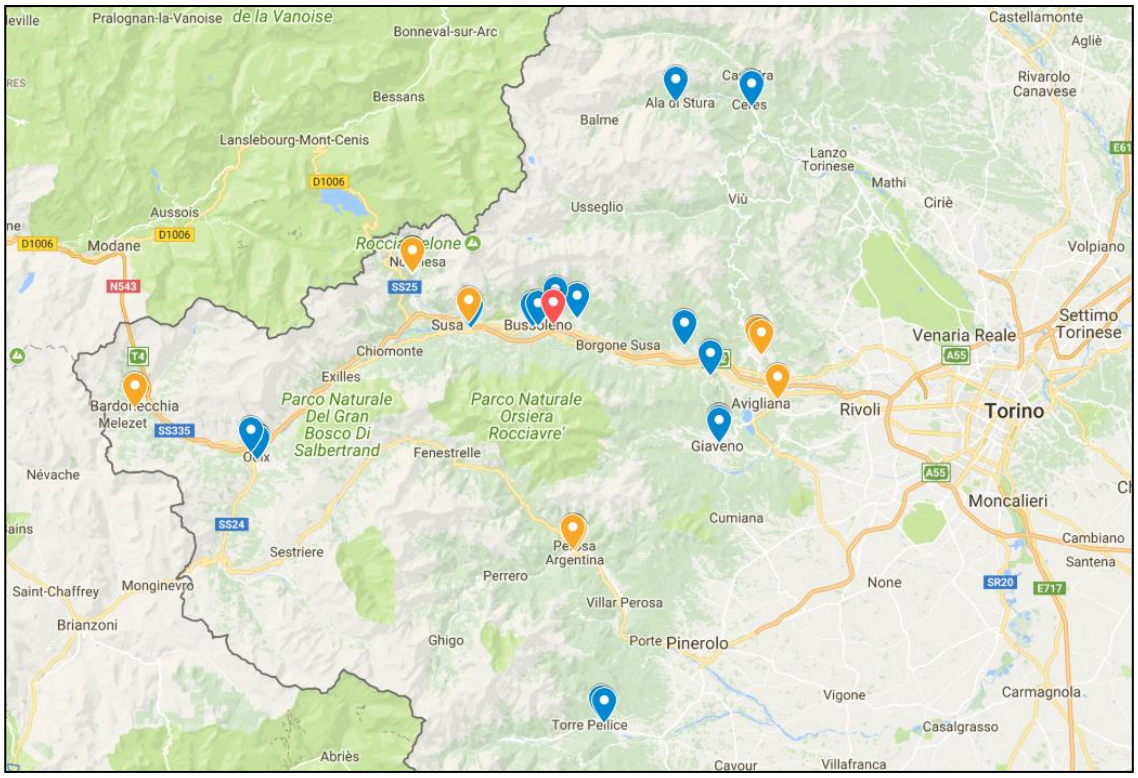

Figura 13.Localizzazione dei progetti individuati.

Tuttavia, a seguito di numerosi sopralluoghi e confronti con le amministrazioni locali ed i soggetti privati interessati dai progetti ipotetici, la lista dei possibili casi studio si è ridotta. Le ragioni di tale ridimensionamento risiedono o nello scarso interesse al progetto riscontrato nei proprietari degli immobili, o nella scarsa disposizione a fornire i dati necessari, o in modo congiunto in entrambe le motivazioni.

Perciò la lista finale dei casi studio individuati è composta come segue (*Tabella 3*).

N° intervento		Comune	Intervento proposto	Tipologia di edificio	Impianto attuale	Proprietà
1	1a	**OULX**	Centrale termica a cippato di legno e riqualificazione energetica dell'involucro della scuola	Municipio	Caldaia a gas naturale	Pubblico
	1b			Ufficio turistico	Caldaia a gas naturale	Pubblico
	1c			Scuola media	Caldaia a gasolio	Pubblico
	1d			Baby parking	Caldaia a gasolio	Pubblico
	1e			Casa delle Culture	Caldaia a gas naturale	Pubblico
2	2a	**NOVALESA**	Centrale termica a cippato di legno	Abbazia	Caldaia a gasolio	Pubblico
	2b			Edificio residenziale interno all'abbazia	Caldaia a GPL	Privato
	2c			Edificio residenziale ed agriturismo	Caldaia a GPL	Privato
3	3a	**SALBERTRAND**	Centrale termica a cippato di legno	Parco Regione Piemonte	Caldaia a GPL	Pubblico
4	4a	**BRUZOLO**	Centrale termica a cippato, con potenziale riqualificazione involucro	Municipio	Caldaia a gas naturale	Pubblico

La tabella prosegue nella pagina successiva.

N° intervento		Comune	Intervento proposto	Tipologia di edificio	Impianto attuale	Proprietà
5	5a	ALMESE	Piccola rete di teleriscaldamento con centrale termica a biomassa	Palestra	Caldaia a gas naturale	Privato
	5b			Campo da calcio	Caldaia a gas naturale	Privato
	5c			Auditorium	Caldaia a gas naturale	Privato
	5d			Scuola elementare	Caldaia a gas naturale	Pubblico
	5e			Scuola media	Caldaia a gas naturale	Pubblico
6	6a	PEROSA ARGENTINA	Piccola rete di teleriscaldamento con centrale termica a biomassa	Edifici residenziali privati	Caldaia a gas naturale	Privato
	6b			Municipio	Caldaia a gas naturale	Pubblico
	6c			Scuola materna ed elementare	Caldaia a gas naturale	Pubblico
	6d			Scuola media	Caldaia a gas naturale	Pubblico
7	7a	ALA DI STURA	Piccola rete di teleriscaldamento con centrale termica a biomassa	Municipio	Caldaia a gasolio	Pubblico
	7b			Scuola elementare	Caldaia a gasolio	Pubblico
8	8a	RUEGLIO	Centrale termica a biomassa	Municipio	Caldaia a gasolio	Pubblico
	8b			R.S.A. (residenza sanitaria per anziani)	Caldaia a gasolio	Pubblico

Tabella 3. Elenco finale dei possibili casi studio.

All'elenco finale si aggiungeranno anche due progetti che sono attualmente in fase di valutazione. Nella fattispecie ci si riferisce ad un progetto riguardante una casa-famiglia nel comune di Caprie e ad un secondo progetto relativo ad un'utenza scolastica e ad un complesso sportivo, entrambi appartenenti al comune di Villardora.

In generale man mano che il progetto SCORE viene conosciuto dalle popolazioni locali, si ricevono richieste di inclusione in esso. Questo è un aspetto molto positivo se lo si legge in una chiave di sviluppo delle comunità energetiche, il cui processo prevede un avvio autonomo da parte dei cittadini stessi.

3.4 La ricerca dei dati

Al fine di identificare tutti i progetti elencati nel paragrafo precedente (*3.3 I casi studio identificati*), è stata svolta un'importante raccolta dati; in modo tale da poter valutare, in seguito, i casi studio in modo completo.

Per far conoscere in via preliminare il progetto SCORE, il team italiano ha sfruttato l'evento BOSTER ("Bosco e Territorio"), tenutosi dal 14 al 16 settembre 2018 a Beaulard di Oulx (TO). Si sono presi i contatti in modo da poter tenere una conferenza all'interno dell'evento. Si è elaborata una presentazione al fine di mostrare e promuovere il progetto in questione, con l'obiettivo di sondare il coinvolgimento ed ottenere i contatti dei cittadini interessati. Inoltre, allo scopo di rendere la conferenza più interattiva possibile, si è creato un codice QR; il quale, una volta scansionato, permettesse di accedere ad un modulo in cui inserire i propri dati nel caso si fosse interessati a prendere parte al progetto o semplicemente a seguirne gli sviluppi.

Figura 14. Logo dell'evento BOSTER.

La raccolta dati è stata effettuata attraverso un numero considerevole di sopralluoghi nei comuni considerati; per molte amministrazioni si sono presi contatti e si è continuata la ricerca per via telematica, con e-mail o telefonicamente.

Per ogni caso studio identificato la raccolta dati è avvenuta attraverso la somministrazione di due questionari predefiniti, proposti dai membri dei team di SCORE.

Il primo, di natura più tecnica, è servito ad individuare le informazioni relative allo stato attuale del sistema energetico ed all'investimento preventivato. Si tratta di un questionario composto di cinque suddivise come segue:

1. Nella prima parte si richiedono i dati riguardanti l'edificio in oggetto. Nello specifico occorreva inserire: la localizzazione dello stabile, la proprietà (pubblica o privata), la destinazione d'uso, l'anno di costruzione, la data dell'ultimo intervento attuato, la società di distribuzione di gas, elettricità e calore, la spesa media annuale di gas, elettricità, calore e acqua calda sanitaria [€/anno], il numero di ambienti, il numero di fruitori, l'area calpestabile totale [m²] e l'area totale del tetto [m²].
2. La seconda sezione comprende le informazioni relative all'attuale impianto energetico convenzionale. Era necessaria l'identificazione del tipo di impianto e la taglia [kW] e l'eventuale quota di potenza coperta dalla rete locale [kW]. Tali dati dovevano essere riportati per la risorsa energetica primaria e, laddove applicabile, anche per quelle secondarie.
3. La terza parte riguarda le eventuali fonti rinnovabili preesistenti collegate all'utenza. Da compilare specificando: la fonte, la potenza installata [kW] e, nel caso di fotovoltaico o solare termico, la superficie attiva [m²].
4. Nella quarta sezione si fa riferimento alla risorsa rinnovabile che si intende inserire ai fini del progetto SCORE. Per questa parte i dati richiesti da compilare erano i medesimi di quelli indicati nel punto 3.
5. Nell'ultima sezione è analizzato invece l'aspetto economico del sistema energetico che si intende realizzare. Nella fattispecie erano richiesti per le varie risorse preventivate: il costo stimato di investimento [€], la percentuale di costi coperta da eventuali finanziamenti [%] e il tipo di struttura finanziaria.

Il secondo questionario proposto invece, ha carattere prettamente economico. In esso venivano richieste le tariffe, in materia di energia, applicate dalle varie società di distribuzione di gas, elettricità e riscaldamento. Per ogni società e per ogni intervento identificato occorreva inserire: il consumo medio annuo dell'utenza [GJ], le tariffe applicate [€/GJ] per le serie storiche dal 2013 al 2017 e i costi fissi espressi in [€/mese].

I dati raccolti sono stati utili per delineare le specificità dei possibili casi studio individuati, e sono stati elaborati ed utilizzati al fine di condurre le analisi successive e assemblare la matrice valutativa che verrà analizzata nel corso del capitolo successivo (*Capitolo 4, Metodologia*).

Capitolo 4

Metodologia di valutazione

4.1 Introduzione alla metodologia

Questo capitolo si prefigge di valutare quale delle proposte di progetto presentate in precedenza (*Tabella 3*) si presenti come la più fattibile sotto differenti punti di vista, in particolare verranno considerati aspetti sociali, ambientali, economici, tecnologici ed amministrativi.

Il problema fondamentale che si presenta nel momento in cui ci si trova ad analizzare e confrontare numerosi progetti, risiede nella difficoltà di valutare e raffrontare tra di loro differenti aspetti e sfaccettature degli stessi. Essendo presenti una quantità considerevole di parametri, determinati dalla natura complessa dei progetti, difficilmente il soggetto che si trova a dover prendere delle decisioni in merito (detto dall'inglese decision maker[16]) è in grado di tenerli in considerazione tutti allo stesso tempo.

Tale problematica è stata analizzata anche da Kumar (Kumar *et al.*, 2017); in particolare è da evidenziare come, in materia di sistemi energetici, complice anche l'avvento delle energie rinnovabili, si sia verificata una variazione di intenti. Mentre in precedenza si tendeva a procedere in un'ottica tradizionale, valutando cioè un solo grande obiettivo, ora si riscontra un cambio di tendenza, annoverando tra le intenzionalità numerosi propositi, adottando cioè una metodologia ad obiettivi multipli. La tipologia di sistemi analizzati infatti, in cui lo scopo generale si può identificare come la "sostenibilità energetica", ha ingerenze e ricadute in numerosi ambiti. Perciò la metodologia da applicare non può tenere in considerazione solamente un obiettivo, ma deve essere

[16] Spesso nella letteratura si incontra la dicitura DM, abbreviazione generata dall'acronimo di decision maker.

in grado di valutare i progetti rispetto a problematiche ambientali, socio-economiche, tecniche ed istituzionali.

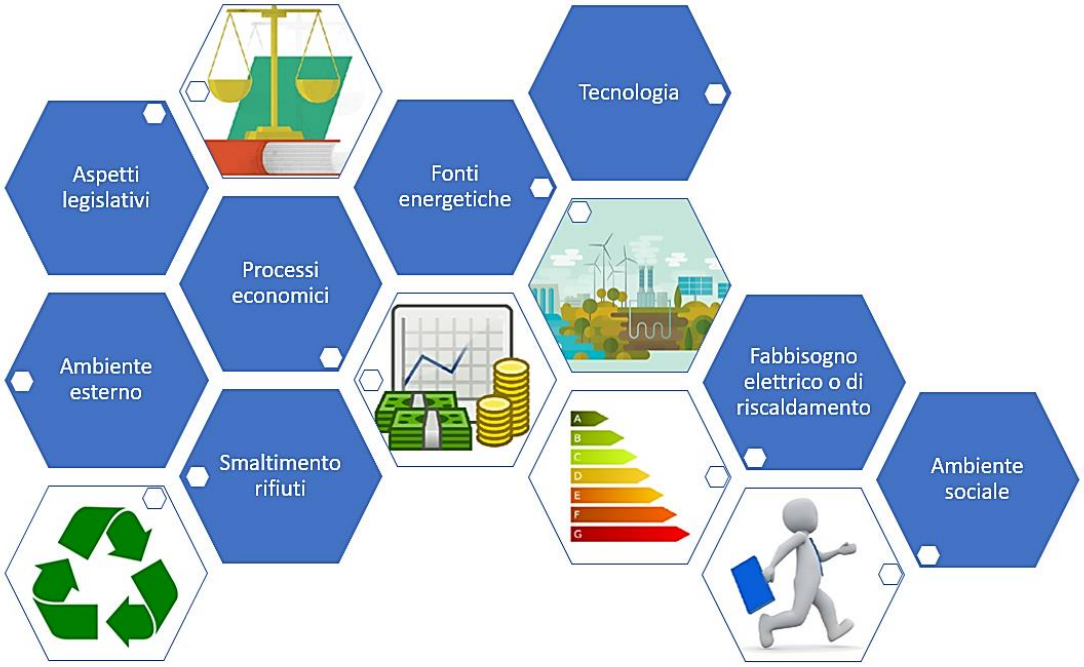

Figura 15. L'immagine illustra la natura complessa delle interazioni dei sistemi energetici.

In risposta a tale problematica si possono effettuare delle analisi multi-criteriali[17], che nascono proprio con l'obiettivo di fornire un supporto nell'analisi di sistemi complessi che presentino un gran numero di parametri da valutare. Tale tipo di analisi, proprio per la sua struttura multidimensionale, risulta essere particolarmente utile nel campo dell'energia sostenibile, nel quale trova largo impiego (Kumar *et al.*, 2017), (Wątróbski *et al.*, 2018).

In generale le analisi multi-criteriali prevedono innanzitutto l'individuazione dei differenti sistemi da valutare: questo può avvenire definendo differenti scenari possibili su di un medesimo intervento o, come nel caso qui esaminato, proponendo differenti progetti di intervento localizzati in diversi luoghi al fine di determinare il più sostenibile sotto differenti aspetti.

Successivamente occorre valutare quali siano i criteri necessari alla valutazione dei vari aspetti dei progetti. In questa trattazione ciò verrà realizzato attraverso: una preselezione dei criteri tramite letteratura, una conseguente selezione attraverso il confronto con i componenti del team italiano, ed in ultimo una selezione finale mediante il confronto con esperti provenienti da diversi campi di studio.

In seguito, è necessaria una valutazione relativa tra i differenti criteri selezionati. Infatti, è possibile che tra i criteri individuati, ve ne siano di diversa importanza: ovvero è plausibile che alcuni siano più influenti di altri ai fini della valutazione finale. Occorre quindi che questi ricevano un peso dissimile a seconda della rilevanza. Questo passaggio verrà effettuato tramite il sussidio di un

[17] In inglese "multicriteria decision analysis", si trova in letteratura anche l'acronimo "MCDA".

“Working Group”, organizzato a questo proposito. Il gruppo di lavoro sarà effettuato riunendo molteplici soggetti con background differenti, come verrà specificato meglio in seguito.

Una volta proceduto in questo senso, si è in grado di delineare quale intervento, analizzato attraverso le ingerenze nei molteplici ambiti citati in precedenza, risulterà essere il migliore in un’ottica di sostenibilità al fine della creazione di una comunità energetica autonoma.

Figura 16. Procedura attuata per l'applicazione della metodologia multi-criteriale.

Lo schema della metodologia attuata, nonché lo schema di svolgimento del capitolo, è riportato nel diagramma in alto.

La metodologia scelta per l’analisi presenta numerosi vantaggi, i più rilevanti sono legati, non solo all’analisi simultanea di numerosi criteri, che spesso sono rappresentati da dati di natura differente, ma anche alla capacità di fronteggiare l’incertezza intrinseca di determinati parametri ed al trovare un punto di congiunzione tra interessi e visioni differenti (Wang *et al.*, 2009).

4.2 Definizione dei sistemi in esame

L’analisi di tipo multi-criteriale attraverso il suo metodo integrato, analitico e di soluzione efficace, risulta essere particolarmente interessante per il soggetto che si trovi a dover prendere una decisione con un target ad obiettivi multipli. In particolare questa analisi ha notevoli vantaggi: riesce a fronteggiare la complessità di sistemi che hanno ingerenze in diversi ambiti, è in grado di proporre soluzioni per far fronte ad obiettivi che a volte possono essere di natura conflittuale, risulta efficace nell’aggregare differenti informazioni e gestire, se necessario, incertezze sui dati.

In chiave generica la definizione del problema multi-criteriale risiede nella creazione e conseguente risoluzione della seguente matrice (Wang *et al.*, 2009):

Equazione 1

$$criteri \quad C = [C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n]$$

Equazione 2

$$pesi \quad W = [\, w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_n]$$

Equazione 3

$$alternative$$
$$X = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix}$$

Equazione 4

$$matrice\ m \times n$$
$$\begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \dots & x_{m,n} \end{pmatrix}$$

Nella definizione generale del problema si hanno in colonna nel vettore X(*Equazione 3*) le proposte delle varie alternative, numerate da 1 a m. Le alternative saranno valutate in base ai diversi criteri enumerati nel vettore riga C, da 1 a n (*Equazione 1*). Nella matrice $m \times n$ invece sono presenti i valori $x_{i,j}$ dove si ha la prestazione dell'alternativa generica, identificata con il pedice i, rispetto al criterio generico j (*Equazione 4*). Si hanno infine in riga all'interno del vettore W i pesi dei differenti criteri (*Equazione 2*). I pesi vengono assegnati ai criteri in modo da definire tra questi ultimi una scala di importanza relativa. Vi sono numerosi metodi per pesare i criteri, ma osservando il problema dal punto di vista macroscopico, si hanno due modi fondamentali: assegnare a ciascun criterio il medesimo peso, equivale a dire che tutti hanno la medesima importanza, oppure affidare ai criteri un valore disomogeneo di peso, basandosi sulla classificazione di rilevanza ottenuta.

l primo passo da effettuare in un'analisi di tipo multi-criteriale è la definizione dei casi studio da prendere in esame. In questo caso, tale definizione, prende in esame le differenti comunità energetiche che si possono andare a creare. Nel capitolo 3.3 I casi studio identificati, è già stata fornita la lista dei progetti identificati.

Per tali progetti è stata fatta una raccolta dati importante ed è stata creata una matrice in cui inglobare tutti i dati raccolti. Il macro-obiettivo in base al quale sono stati raccolti i dati è sicuramente quello di valutare la fattibilità e la creazione di comunità energetiche autonome. Come fine ultimo si ha dunque la sostenibilità del progetto, declinata nei vari ambiti di interesse.

Nella matrice che raccoglie i dati dei vari progetti ipotetici, la quale verrà identificata come "matrice valutativa", sono stati definiti diversi ambiti, ritenuti rilevanti per la creazione di comunità energetiche autonome. I campi che sono stati individuati sono di tipo: sociale, tecnico, economico, ambientale ed amministrativo.

Figura 17. Ambiti individuati per la matrice valutativa.

4.3 Criteri dell'analisi

Una volta definiti i progetti e reperiti i dati, occorre valutare quali siano i criteri più adatti in base ai quali discernere i vari progetti. Occorre dunque scegliere e valutare differenti criteri, in base alla loro pertinenza con i sistemi a cui si sta facendo riferimento e valutare l'attinenza degli stessi rispetto agli obiettivi che sono stati fissati dal soggetto decisionale.

Al fine di delineare i criteri che meglio si confanno al caso studiato, si procederà attraverso tre fasi distinte: una prima fase di "preselezione", una di "selezione" ed un'ultima di "selezione finale".

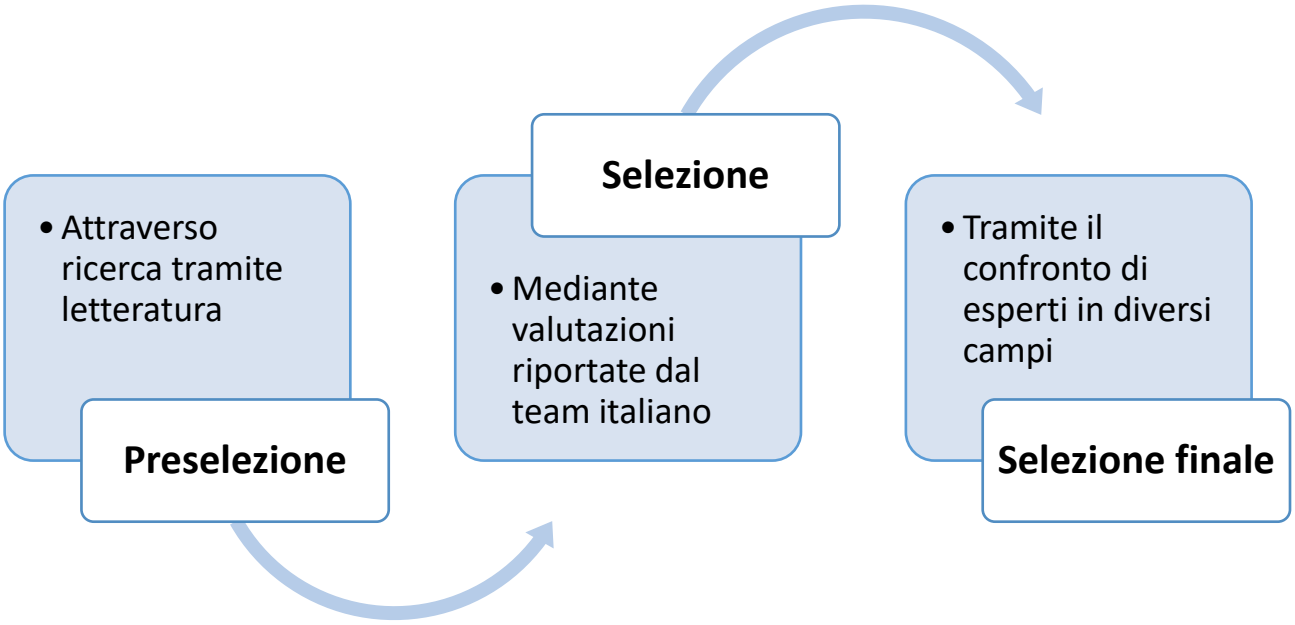

Figura 18.Lo schema illustra le tre fasi seguite per la formulazione dei criteri.

Come si può notare dallo schema precedente, la prima fase di selezione iniziale, prevede una ricerca tramite letteratura dei criteri che possono essere utili allo studio in questione.

Successivamente è prevista la fase di selezione dei criteri nella quale, tramite il confronto ed il dibattito con i componenti del team italiano del progetto, si deciderà quali criteri siano da mantenere in base alla pertinenza con i progetti in questione. In questa fase inoltre verrà valutato se ampliare il panorama dei criteri, aggiungendone laddove sia necessario, al fine di sviluppare al meglio lo studio.

Infine, si avrà la selezione finale dei criteri per mezzo di un confronto con esperti in vari ambiti. A questo proposito è stato creato un working group[18] con soggetti provenienti da differenti background quali: esperti energetici, esperti impiantisti, esperti nel campo economico e dell'ambiente costruito, esperti in retrofitting energetico a livello urbano ed esperti in analisi socio-energetici a livello urbano.

4.3.1 Preselezione dei criteri

Al fine di ottenere una preselezione dei criteri, rilevanti per i tipi di sistemi energetici che si stanno considerando in questa esposizione, è stata fatta una estesa ricerca in letteratura.

Questa fase di analisi mediante bibliografia è importante per due motivazioni principali.

[18] Si parlerà più lungamente ed in maniera più approfondita nel paragrafo (4.3.3 Selezione finale dei criteri) e (4.4 Pesi dei criteri).

La prima riguarda la valutazione del panorama attuale in questo campo di studio; questo è utile per comprendere al meglio lo scenario in cui si inserisce la trattazione ed allo stesso tempo valutare i differenti approcci che sono stati adottati per la risoluzione di una problematica comune.

La seconda, più volgare, è legata al non commettere dimenticanze di sorta; valutando come altri decisori si sono posti in merito all'analisi dei criteri, si può cercare di evitare di omettere quei criteri che potrebbero essere di apprezzabile importanza.

Dopo un attento studio della letteratura e dopo aver effettuato consultazioni a più riprese con il team del progetto italiano, i criteri rilevanti che sono emersi sono indicati di seguito nelle tabelle. Essi sono stati raggruppati in base all'ambito di appartenenza: sociale, tecnico, economico, ambientale ed amministrativo. In ogni tabella inoltre vengono riportati i principali testi da cui i numerosi criteri sono stati tratti, a cui è possibile fare riferimento per informazioni più approfondite. Ad ogni tabella seguirà la spiegazione specifica relativa a ciascun criterio, la quale alla fine sarà accompagnata dall'unità di misura indicata tra parentesi quadre.

Per quanto riguarda i criteri sociali si hanno:

Criteri Sociali	**Principali riferimenti in letteratura**
Età abitanti/fruitori	(Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Delmastro *et al.*, 2015) , (Dall'O' *et al.*, 2013)
Numero utenti	(Dall'O' *et al.*, 2013) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)
Genere	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016)
Fascia di reddito	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Dall'O' *et al.*, 2013)
Livello di istruzione	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016)
Proprietà pubblica o privata	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016)
Composizione familiare	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)
Occupazione/disoccupazione	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Zhang, 2016)
Famiglie dipendenti da Caritas	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Zhang, 2016)

Accettazione sociale	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Lara *et al.*, 2004) , (Rahmanpour and Osanloo, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Impatto architettonico	(Dall'O' *et al.*, 2013) , (Kumar *et al.*, 2017)

Tabella 4.Criteri sociali emersi dalla preselezione.

Di seguito si fornisce la spiegazione dei criteri riguardanti l'ambito sociale che sono emersi:

- Età degli abitanti o dei fruitori: a seconda che l'edificio in questione sia di destinazione abitativa, ricreativa o ad uso lavorativo, si è interessati a indagare la fascia di età degli inquilini, dei fruitori o degli impiegati presenti. A questo proposito si ha che in media nella fascia tra i 25 e i 45 anni sono presenti cittadini più attivi ed inclini ad accettare cambiamenti e proposte innovative [/][19].
- Numero degli utenti: si intende il numero di fruitori che la struttura contiene mediamente. Si utilizza tale parametro per valutare la risonanza, dal punto di vista sociale, che un eventuale intervento potrebbe avere, interessando un numero più o meno elevato di cittadini [/].
- Genere: secondo alcuni studi il genere maschile o femminile potrebbe essere influente nel momento in cui si debba accogliere o meno una proposta importante [/][20].
- Fascia di reddito: fascia economica retributiva del soggetto interessato. Questo parametro può determinare la decisione positiva o negativa di intraprendere un investimento [/].
- Livello di istruzione: tipicamente un livello di istruzione basso coincide con una scarsa attitudine al cambiamento [/].
- Proprietà pubblica o privata: si riferisce alla proprietà dell'immobile. A seconda della tipologia può essere più o meno facile ottenere il consenso per procedere ai lavori. Generalmente se l'intervento è di tipo pubblico, incontrerà meno opposizioni nella realizzazione [/].
- Composizione familiare: fa riferimento al numero di componenti del nucleo familiare ed alle relative età [/].
- Occupazione o disoccupazione: a seconda del fatto che il soggetto abbia o meno un impiego, il progetto può avere esito positivo o negativo. Tipicamente nel caso di soggetti disoccupati, risulta essere molto raro un investimento in un nuovo progetto [/].
- Famiglie dipendenti da Caritas: questo criterio nella letteratura riguarda la situazione sociale generale, è stato qui reinterpretato per valutare se vi siano soggetti in difficoltà ai quali un progetto di questo tipo potrebbe apportare dei vantaggi[21] [/].

[19] L'unità di misura in questo caso non è contemplata, essendo l'indicatore un numero. La nota non verrà ripetuta ma sarà valida anche per i criteri successivi, ove applicabile.
[20] In questo caso il dato è qualitativo e non quantitativo, perciò non è consistente aggiungere un'unità di misura. La nota non verrà ripetuta ma sarà valida anche per i criteri successivi, ove applicabile.
[21] Partner del progetto SCORE per quanto riguarda il caso studio italiano è la Società Cooperativa Sociale Amico (Amico s.c.s.), con sede ad Almese, Italia.

- Accettazione sociale: questo parametro qualitativo serve a misurare il desiderio o l'avversione da parte dei cittadini circa un'opera di questo tipo. In questo criterio sono da valutare anche gli ingombri e i disagi apportati alla popolazione durante tutte le fasi della vita dell'impianto [/].
- Impatto architettonico: con questo criterio si ha un indice dell'impatto visivo dell'impianto rispetto al contesto in cui è inserito [/].

Per quanto riguarda l'ambito tecnico degli interventi proposti si hanno:

Criteri Tecnici	Principali riferimenti in letteratura
Potenza attuale	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Dall'O' *et al.*, 2013) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Potenza prevista	(Dall'O' *et al.*, 2013) , (Kumar *et al.*, 2017)
Riduzione di potenza installata totale	(Dall'O' *et al.*, 2013) , (Kumar *et al.*, 2017)
Efficienza attuale	(Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Efficienza prevista	(Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Incremento di efficienza	(Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Vita tecnica dell'impianto	(Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Difficoltà operativa di installazione	(Rahmanpour and Osanloo, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017)
Importanza dei lavori	(Kumar *et al.*, 2017)

Tabella 5.Criteri tecnici emersi dalla preselezione.

Per quanto riguarda i criteri tecnici sono stati individuati:

- Potenza attuale: potenza installata dell'impianto preesistente [kW].
- Potenza prevista: potenza che si prevede di installare con il nuovo progetto ipotetico [kW].
- Riduzione di potenza installata totale: riduzione della potenza installata, può essere dovuta a minori consumi previsti con il nuovo impianto, ad esempio attraverso interventi di isolamento, oppure data dall'installazione di un impianto più efficiente [kW].
- Efficienza attuale: efficienza attuale dell'impianto, si considera sia l'efficienza dell'impianto sia quella di distribuzione della rete [%].
- Efficienza prevista: considera, come la precedente, sia l'efficienza dell'impianto sia quella del sistema di distribuzione, ma si riferisce all'impianto da realizzare [%].

- Incremento dell'efficienza: incremento dell'efficienza dell'impianto previsto rispetto a quello preesistente. Considera anch'essa sia l'efficienza dell'impianto, sia quella di distribuzione [%].
- Vita tecnica dell'impianto: si riferisce all'installazione prevista dal nuovo progetto ed è indice della vita media dell'impianto [anni].
- Difficoltà operativa di installazione: si riferisce alla presenza di vincoli o impedimenti fisici che rendono difficoltosa l'installazione dell'impianto [/].
- Importanza dei lavori: questo parametro tiene conto di difficoltà legate all'ingombro dei componenti o di particolari lavori per la messa in opera dell'installazione (ad esempio per la realizzazione di impianto interrato o altro) [/].

Successivamente si è proceduto all'individuazione dei criteri riguardanti la sfera economica dei progetti in fase di valutazione:

Criteri Economici	**Principali riferimenti in letteratura**
Costo iniziale di investimento	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Dall'O' *et al.*, 2013) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Incentivi pubblici	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017)
Risparmio sul costo di investimento iniziale	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Zhang, 2016)
Spese con impianto attuale	(Dall'O' *et al.*, 2013), (Kumar *et al.*, 2017)
Spese con impianto previsto	(Dall'O' *et al.*, 2013), (Kumar *et al.*, 2017)
Risparmio sulle spese	(Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009) , (Zhang, 2016) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)
Affidabilità	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Tempo di ritorno dell'investimento	(Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)
Ricaduta economica dell'installazione	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017)
Ricaduta economica esercizio e manutenzione	(Dirutigliano, Delmastro and Moghadam, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)
Risparmio sul costo totale dell'investimento	(Kumar *et al.*, 2017) , (Allan, Mcgregor and Swales, 2011)

Tabella 6. Criteri economici emersi dalla preselezione.

Si specifica di seguito la spiegazione dei criteri economici selezionati:

- Costo iniziale di investimento: spesa iniziale per la realizzazione ed installazione dell'impianto [€].
- Incentivi pubblici: quota di investimento iniziale coperta da incentivi pubblici [€].
- Risparmio sul costo di investimento iniziale: risparmio percentuale legato alla quota di costo di investimento coperta da incentivi pubblici [%].
- Spese con impianto attuale: spese annue con l'impianto attualmente installato [€/anno].
- Spese con impianto previsto: stima delle spese annue con l'impianto previsto dal progetto [€/anno].
- Risparmio sulle spese: risparmio sulle spese annuali con l'installazione dell'impianto di progetto rispetto a quello preesistente [€/anno].
- Affidabilità: si riferisce all'impianto in fase di progetto; ne indica la capacità di svolgere la propria funzione in modo continuativo nel tempo[22] [/].
- Tempo di ritorno dell'investimento: detto anche Pay Back Time[23] dall'inglese, misura il tempo in cui i flussi di cassa negativi e positivi si eguagliano. Rappresenta dopo quanto tempo le spese vengono ammortizzate e si ha il guadagno effettivo [/].
- Ricaduta economica dell'installazione: denaro che rimane sul territorio sotto forma di installazione [€].
- Ricaduta economica esercizio e manutenzione: denaro che ricade sul territorio dovuto a esercizio e manutenzione dell'impianto[24]. Nella fase di esercizio si comprende sia la manodopera, sia i ricambi, sia i costi per la gestione del combustibile. Può essere valutato anche come criterio sociale se si valuta sotto il punto di vista della creazione di posti di lavoro [€/anno].
- Risparmio sul costo totale dell'investimento: risparmio totale che si otterrebbe con il nuovo impianto rispetto a quello attuale. Comprende sia il risparmio sulle spese annuali sia quello dettato da eventuali incentivi [€].

A questo punto sono stati elencati i criteri ambientali emersi dalla preselezione:

[22] In inglese è definito come "reliability", indica la probabilità che l'impianto funzioni ad un dato tempo.
[23] Spesso viene indicato con l'acronimo PBT.
[24] Spesso si trova indicato come O&M, dall'inglese "Operations and Maintenance".

Criteri Ambientali	Principali riferimenti in letteratura
Risparmio di energia primaria	(Dall'O' *et al.*, 2013) , (Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Riduzione globale emissioni di CO_2	(Lara *et al.*, 2004) , (Rahmanpour and Osanloo, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009) , (Zhang, 2016)
Riduzione locale emissioni	(Lara *et al.*, 2004) , (Rahmanpour and Osanloo, 2017) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009) , (Zhang, 2016)
Utilizzo del suolo	(Delmastro *et al.*, 2015) , (Delmastro, Mutani and Corgnati, 2016) , (Lara *et al.*, 2004) , (Kumar *et al.*, 2017) , (Wang *et al.*, 2009)
Vincoli ambientali	(Lara *et al.*, 2004) , (Rahmanpour and Osanloo, 2017) , (Zhang, 2016)

Tabella 7. Criteri ambientali emersi dalla preselezione.

Specificando i criteri otteniamo:

- Risparmio di energia primaria: energia primaria che si risparmierebbe se si realizzasse il nuovo impianto. È legata sia alla natura rinnovabile dell'investimento sia agli interventi sull'involucro edilizio [kWh energia primaria].
- Riduzione globale emissioni di CO_2: riduzione delle emissioni di CO_2 garantita dall'impianto previsto rispetto a quello attuale [kg].
- Riduzione locale delle emissioni: riduzione delle emissioni garantita dall'impianto previsto rispetto a quello attuale (NO_x PM10…) [kg].
- Utilizzo del suolo: superficie occupata dall'impianto previsto dal progetto [/].
- Vincoli ambientali: rientrano in questa categoria le restrizioni di tipo ambientale (nel senso di parchi o zone protette) e di tipo idrogeologiche, sismiche eccetera [/].

Infine, vengono qui specificati i criteri di tipo amministrativo individuati:

Criteri Amministrativi	Principali riferimenti in letteratura
Interesse dell'amministrazione pubblica	(Lara *et al.*, 2004) , (Zhang, 2016)
Opportunità amministrative	(Lara *et al.*, 2004) , (Zhang, 2016)

Tabella 8. Criteri amministrativi emersi dalla preselezione.

Per meglio chiarificare i concetti della tabella si ha:

- Interesse dell'amministrazione pubblica: livello di interesse riscontrato per il progetto e desiderio di partecipazione allo stesso [/].

- Opportunità amministrative: opportunità dell'amministrazione legate ad esempio alla prossimità delle elezioni, alla situazione storica, all'interesse dei cittadini eccetera [/].

È interessante notare che i criteri emersi dalla preselezione tramite letteratura, sono di natura mista: ovvero sia di tipo quantitativo sia di natura qualitativa. Tuttavia, uno dei vantaggi dell'analisi multi-criteriale consiste proprio nel fatto che queste tipologie di dati possono essere aggregate senza comportare un problema.

4.3.2 Selezione dei criteri

La proporzionalità diretta tra il numero dei criteri e l'effettiva utilità degli stessi non è confermata. In generale al contrario, non è detto che maggiore sia il numero dei criteri e migliore sia l'analisi svolta. Spesso infatti, avere a disposizione un numero ridotto di criteri, ma che copra tutti i punti di importanza nevralgica per effettuare in modo completo le considerazioni del caso, comporta un'analisi migliore. Disporre infatti di una moltitudine di criteri, caratterizzati però da una scarsa rilevanza, sovente rischia di rendere solamente la valutazione più caotica, senza apportare vantaggi significativi.

Una volta ottenuti i criteri dalla preselezione si procede quindi alla selezione degli stessi.

Per selezionare i criteri più consistenti ci si può avvalere di principi generalmente validi; in particolare si hanno:

1. Principio sistemico: afferma che tutti i criteri devono rispecchiare le caratteristiche essenziali a delineare la funzione del sistema, e devono inoltre riportarne le caratteristiche delle prestazioni globali.
2. Principio di indipendenza: non devono intercorrere relazioni tra i criteri. Un criterio non può essere cioè parzialmente o totalmente incluso in un altro, i due non possono essere sovrapponibili. In altre parole, tutti i criteri devono essere slegati tra di loro.
3. Principio di comparazione: i criteri devono essere formulati in modo tale da essere comparabili, ovvero occorre che siano normalizzati per poter valutare i differenti risultati. Devono essere cioè operativamente pronti per l'utilizzo.
4. Principio di consistenza: i criteri selezionati devono essere coerenti con gli obiettivi (possono essere uno o più) che sono stati delineati al fine di valutare i progetti.
5. Principio di misurabilità: i criteri devono essere misurabili per essere comparati. Possono tuttavia essere di tipo quantitativo o possono essere espressi in modo qualitativo indifferentemente.

La selezione dei criteri è stata dunque effettuata sia tramite l'applicazione dei principi sopra descritti, sia attraverso il confronto ed il dialogo con il team italiano del progetto.

Poiché i criteri che seguono saranno la base da cui partire con le valutazioni del working group, alla fine del quale verrà proposta la selezione finale, essi sono individuati tramite raggruppamento per

ambiti e verranno preceduti da un codice identificativo. Nello specifico: per i criteri sociali il codice è identificato da “S” seguito dal numero, per quelli tecnici da “T” ed il numero, per gli economici da “E” ed il numero, per gli ambientali “AMB” ed il numero e per gli amministrativi “AMM” ed il numero.

Di seguito sono riportati i criteri che sono stati mantenuti in seguito alla selezione.

Sociali	
S1- Numero utenti	Numero medio di persone che usufruiscono della struttura [/].
S2-Impatto architettonico	Impatto visivo dell’impianto rispetto al contesto in cui è inserito [/].
S3-Proprietà pubblica o privata	La proprietà dell’edificio può essere pubblica, privata o mista. A seconda della tipologia può essere più o meno facile ottenere il consenso per procedere ai lavori [/].

Tabella 9. Criteri sociali alla fine della selezione.

Tecnici	
T1-Incremento efficienza impianto	Incremento dell’efficienza dell’impianto previsto rispetto a quello esistente [%].
T2-Difficoltà operativa di installazione	Presenza di vincoli o impedimenti fisici che rendono difficoltosa l’installazione dell’impianto. Tiene anche conto di difficoltà legate all’ingombro dei componenti o di particolari lavori per impianto interrato eccetera [/].

Tabella 10. Criteri tecnici alla fine della selezione.

Economici	
E1-Costo iniziale dell'investimento	Spesa iniziale per la realizzazione ed installazione dell'impianto [€].
E2-Incentivi pubblici	Risparmio percentuale legato alla quota di costo di investimento coperta da incentivi amministrativi [%].
E3-Risparmio sulle spese	Risparmio sulle spese annuali [€/anno].
E4-Tempo di ritorno dell'investimento	Detto anche Pay Back Time (PBT), misura il tempo in cui i flussi di cassa negativi e positivi si eguagliano. Rappresenta dopo quanto tempo le spese vengono ammortizzate e si ha il guadagno effettivo [anni].
E5-Ricaduta economica installazione	Denaro che rimane sul territorio sotto forma di installazione [€].
E6-Ricaduta economica esercizio e manutenzione	Denaro che ricade sul territorio dovuto a esercizio e manutenzione (O&M) dell'impianto [€/anno].

Tabella 11. Criteri economici alla fine della selezione.

Ambientali	
AMB1-Vincoli ambientali	Rientrano in questa categoria le restrizioni di tipo ambientale (nel senso di parchi o zone protette) e di tipo idrogeologiche, sismiche eccetera [/].
AMB2-Utilizzo del suolo	Superficie occupata dall'impianto previsto dal progetto [/].
AMB3-Risparmio di energia primaria	Energia primaria che si risparmierebbe se si realizzasse il nuovo impianto. È legata sia alla natura rinnovabile dell'investimento sia agli interventi sull'involucro edilizio [kWh energia primaria].
AMB4-Riduzione globale delle emissioni di CO_2	Riduzione delle emissioni di CO_2 garantita dall'impianto previsto rispetto a quello attuale [kg].
AMB5-Riduzione locale delle emissioni	Riduzione delle emissioni garantita dall'impianto previsto rispetto a quello attuale (NO_x PM10…) [kg].

Tabella 12. Criteri ambientali alla fine della selezione.

Amministrativi	
AMM1- Interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità	Livello di interesse riscontrato per il progetto e partecipazione allo stesso. Le opportunità sono legate a prossimità delle elezioni, situazione storica, interesse dei cittadini eccetera [/].

Tabella 13. Criteri amministrativi alla fine della selezione.

Durante questa fase di selezione alcuni dei criteri stabiliti inizialmente sono stati rimossi; per tale decisione sono state eseguite le successive riflessioni.

Durante la fase di raccolta dati si è appurato che la maggior parte degli edifici individuati è di natura pubblica. Per questo motivo si è riscontrato che criteri indirizzati prettamente all'analisi degli inquilini, come *l'età degli abitanti*, il *genere*, la *fascia di reddito*, il *livello di istruzione*, la *composizione familiare* ed il *tasso di occupazione*, risultano essere inadatti ad una valutazione. Solo due dei ventitré edifici di questa trattazione sono di natura abitativa, perciò a tali criteri non è applicabile il principio di comparabilità: queste tipologie di dati infatti, se valutati sui rimanenti edifici risultano essere inconcludenti. Non essendo quindi rappresentativi del sistema delineato, generano un conflitto anche con il principio di consistenza, dunque vengono rimossi dalla lista dei criteri.

Un differente discorso è stato fatto per il criterio riguardante le *famiglie che dipendono da Caritas*. Quest'ultimo infatti è stato eliminato in questa esposizione, in quanto nessuno degli edifici, ad oggi, rientra in tale categoria; tuttavia non è stato rimosso dal progetto SCORE, in quanto si sta lavorando per includere in esso più famiglie che si appoggiano a tale realtà.

Per ciò che concerne invece il concetto di *accettazione sociale*, questo è stato parzialmente incluso all'interno del criterio proprietà pubblica o privata (S3), sono perciò stati accorpati secondo il principio di indipendenza. Infatti, non essendo previsti interventi particolarmente ingombranti per l'installazione degli impianti, non sono attese avversioni di sorta da parte dei cittadini, perciò l'analisi di questo criterio è da ricondurre al tipo di intervento pubblico o privato. Inoltre, non è da sottovalutare che, per la natura stessa delle comunità energetiche, la quale si basa sulla libera adesione e partecipazione dei cittadini, il problema della natura dell'edificio non è particolarmente ingente.

Per quanto concerne i criteri di tipo tecnico, in accordo con il principio sistemico che ne asserisce la natura globale, sono stati mantenuti quello riguardante l'*incremento dell'efficienza* dell'impianto e quello relativo alla *difficoltà operativa di installazione*.

Per il principio di indipendenza si ha che la *potenza attuale* e la *potenza previst*a erano inclusi nella *riduzione di potenza installata total*e. Quest'ultimo tuttavia non è risultato a sua volta necessario, in quanto rispecchiato nell'*incremento dell'efficienza* e nella *riduzione delle emissioni*.

Per il medesimo principio anche l'*efficienza attuale* e l'*efficienza prevista* dell'impianto sono state eliminate dalla lista in favore del criterio unico sull'*incremento dell'efficienza* dello stesso (T1).

Per quanto riguarda la *vita tecnica* dell'impianto invece, questa è stata ritenuta irrilevante in quanto inclusa in modo implicito all'interno del criterio economico del *tempo di ritorno dell'investimento*[25]. Inoltre, essendo la tipologia di impianto che si prevede installare, all'incirca la stessa per tutti gli interventi, la vita tecnica prevista per gli impianti risulta essere per tutti attorno ai 30 anni.

Come ultimo criterio annoverato nell'ambito tecnico abbiamo *l'importanza dei lavori* che, per il principio enumerato come secondo dall'ordine fornito, è stato inglobato all'interno del criterio *difficoltà operativa e di installazione* (T2).

Passando ora all'analisi dei criteri economici si ha che il *risparmio sul costo di investimento iniziale*, è risultato essere sovrapponibile in modo completo con il criterio degli *incentivi pubblici* (E2), e perciò eliminato secondo il principio di indipendenza.

Per il medesimo principio sono stati rimossi i criteri *spese con impianto attuale* e *spese con impianto previsto*, in quanto sono utilizzati in modo implicito per calcolare il *risparmio sulle spese* (E3).

Un discorso di natura differente è stato fatto per quanto concerne il criterio di *affidabilità*. Infatti, nei progetti ipotetici che sono stati delineati in precedenza, è stato deciso di inserire di base un impianto a biomassa; tali tipologie di installazioni sono sul mercato da molto tempo, e risultano ormai essere tecnologie consolidate. Questo parametro perciò, risulta essere del tutto ininfluente al fine della valutazione dei progetti, e quindi, secondo il principio di consistenza, eliminabile. Senza contare inoltre che, essendo i progetti basati sulla medesima tipologia di impianti, viene meno il principio di comparabilità del criterio.

Per ciò che riguarda il criterio *risparmio sul costo totale dell'investimento*, dal team italiano è stato reputato più utile mantenerlo diviso nei due criteri *incentivi pubblici* (E2) e *risparmio sulle spese* (E3) in modo da avere un'idea diretta sulla tipologia di dato in analisi.

Esaminando invece i criteri ambientali, sono stati ritenuti dal team italiano tutti pertinenti per i sistemi energetici studiati e molto importanti al fine della decisione: sono perciò stati interamente mantenuti.

In ultimo, per quanto riguarda i criteri di tipo amministrativo si è deciso di accorpare i due criteri *interesse dell'amministrazione pubblica* ed *opportunità amministrative* in un unico criterio detto *interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità* (AMM1). In questo criterio rientrano sia eventuali opportunità (come elezioni, consenso popolare eccetera) sia il grado di interesse della pubblica amministrazione nei confronti del progetto proposto.

Alla fine di queste considerazioni è da sottolineare che numerosi criteri sono stati accorpati o eliminati rispetto alla lista della preselezione; tuttavia si sono rilevati utili per calcolare o valutare gli altri criteri, perciò anche se non sono annoverati nella lista finale, sono stati comunque valutati e tenuti in considerazione.

[25] Si veda nuovamente il secondo principio nell'ordine fornito, principio di indipendenza.

4.3.3 Selezione finale dei criteri

La terza ed ultima fase per la selezione dei criteri è la selezione finale. Per questa fase è stato istituito un gruppo di lavoro con soggetti provenienti da diversi settori, per meglio amalgamare le conoscenze.

Ho organizzato personalmente il gruppo di lavoro tenutosi in data martedì 29 Gennaio 2019 presso la sala Giunta del Rettorato, Politecnico di Torino, prendendo accordi con i partecipanti. Il titolo dell'incontro è stato "SCORE project: Analisi multicriteria all'interno del progetto SCORE, Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies". Hanno partecipato al gruppo di lavoro, oltre ai membri del team italiano di SCORE, esperti di diversi settori, in particolare: esperti energetici, esperti in analisi socio-energetica a livello urbano, esperti impiantisti, esperti nel campo economico e dell'ambiente costruito ed esperti in retrofitting energetico a livello urbano. Sono state scelte persone provenienti da differenti campi di studio al fine di creare un gruppo di lavoro quanto più eterogeneo possibile, in modo da ottenere un confronto costruttivo derivante da punti di vista differenti. Il gruppo di lavoro è stato costituito con due obiettivi fondamentali: quello di fornire la selezione finale dei criteri e quello di definire il peso relativo tra di essi, ma di questo si parlerà nel paragrafo successivo in modo più approfondito (*4.4.2 Playing cards*).

Un primo contatto con i partecipanti è avvenuto in maniera personale tramite e-mail, in cui è stata fornita una presentazione iniziale del progetto SCORE (*Appendice 2*) ed è stato introdotto lo scopo del working group, esplicitando chiaramente il compito che i partecipanti avrebbero rivestito all'interno del gruppo di lavoro.

Nel giorno dell'incontro, dopo il saluto iniziale della professoressa Patrizia Lombardi in qualità di responsabile del progetto, ho tenuto una presentazione riguardante il progetto SCORE e successivamente circa il gruppo di lavoro costituito, presentandone gli obiettivi ed i passi operativi. A seguire è iniziato il dibattito in cui ho fatto da mediatore assieme ai membri del team italiano.

La selezione finale dei criteri è stata operata mediante il metodo del "playing cards" di cui si parlerà più approfonditamente nel paragrafo (*4.4.2 Playing cards*).

Figura 19. Immagine scattata durante la presentazione del gruppo di lavoro il 29 gennaio 2019.

Al fine di raggiungere la selezione finale i partecipanti al working group sono stati suddivisi in due gruppi di lavoro, ottenendo in questo modo due liste distinte di criteri.

I due gruppi, che chiameremo per convenzione gruppo A e gruppo B, sono stati costituiti in modo da rispecchiare due punti di vista, il gruppo A il punto di vista dell'investitore esperto che si trovi a voler valutare un progetto di questo tipo, ed il gruppo B di carattere più energetico.

Per quanto riguarda il gruppo A, nella selezione finale ha ritenuto di non dover aggiungere criteri, ma ha piuttosto deciso di eliminarne due. In particolare, non è stato ritenuto utile il criterio riguardante il *numero degli utenti* (S1), con la motivazione di includerlo nel criterio *interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità* (AMM1). Ha reputato infatti che l'estensione del sistema, inteso come numero di persone interessate dall'intervento, venga valutato all'interno dell'amministrazione pubblica, la quale riceverebbe un maggior beneficio nel raggiungere un bacino maggiore di persone nel momento in cui debba discernere tra due differenti interventi.

Il secondo criterio che è stato reputato non necessario è quello legato all'*incremento di efficienza dell'impianto* (T1). Quest'ultimo infatti è stato ritenuto superfluo rispetto al *risparmio di energia primaria*. La giustificazione fornita è stata che il secondo è di maggior rilevanza, in quanto si potrebbe avere un grande incremento di efficienza, ma allo stesso tempo un elevato consumo di energia primaria per ottenerlo, portando così ad uno svantaggio effettivo.

Passando ad analizzare l'operato del gruppo B, che ha agito come un investitore di ambito tecnico ed economico, non è stato ritenuto doveroso eliminare nessun criterio, ma ne sono stati trovati due aggiuntivi.

Il primo criterio che è stato ritenuto necessario aggiungere è stato annoverato tra i criteri tecnici ed è stato nominato come "*disponibilità risorsa primaria*" (T3), quindi nei casi di progetto di parla della

biomassa, da valutare in base alla durata della concessione forestale ed al rapporto tra quantità disponibile e quantità necessaria[26].

Il secondo criterio addizionale invece è stato classificato all'interno di quelli economici. Si tratta della "*durata della concessione*" (E6), ovvero la durata del contratto di intervento.

Si è optato per mantenere le due selezioni finali di criteri separate; in quanto è stato reputato che, aggregando i due risultati, le valutazioni fatte avrebbero perso di significato. È stato perciò deciso che, conservare i due punti di vista separati, sarebbe stato di maggiore interesse.

In conclusione, attraverso il lavoro con il gruppo di lavoro tenutosi il 29 gennaio 2019 si sono ottenute due selezioni finali dei criteri differenti, una più snella per quanto concerne il gruppo A ed una più dettagliata fornita dal gruppo B.

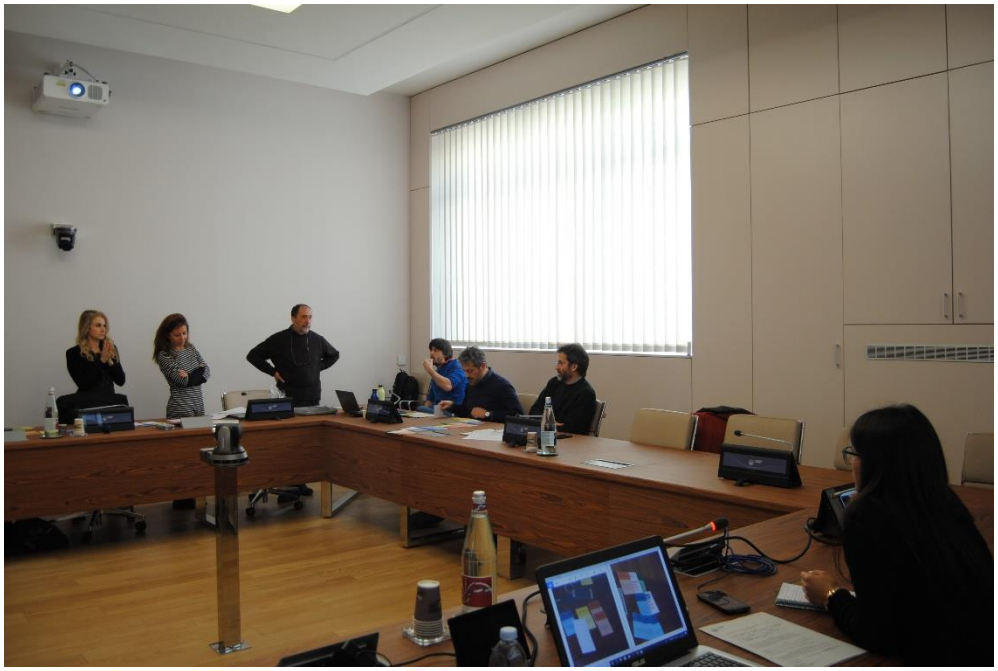

Figura 20. Esposizione dei risultati ottenuti dalla selezione finale.

4.4 Pesi dei criteri

4.4.1 Introduzione ai metodi di peso

In un'analisi di tipo multi-criteriale, una volta individuati tutti i criteri necessari a descrivere il sistema in esame, occorre valutare i rapporti che intercorrono tra i criteri stessi: in particolare, è necessario determinare l'importanza relativa che sussiste tra di essi. Occorre in sostanza attribuire a ciascun

[26] La quantità necessaria è da calcolare in base al fabbisogno energetico dell'utenza, che ne detta i consumi.

criterio un peso, in base alla rilevanza che riveste all'interno dell'analisi. Tali pesi rivestono una grande importanza, in quanto influenzano direttamente il risultato dell'analisi multi-criteriale.

Come definito anche da Wang (Wang *et al.*, 2009), esistono diversi metodi di possibile adozione, come rappresentato nello schema successivo.

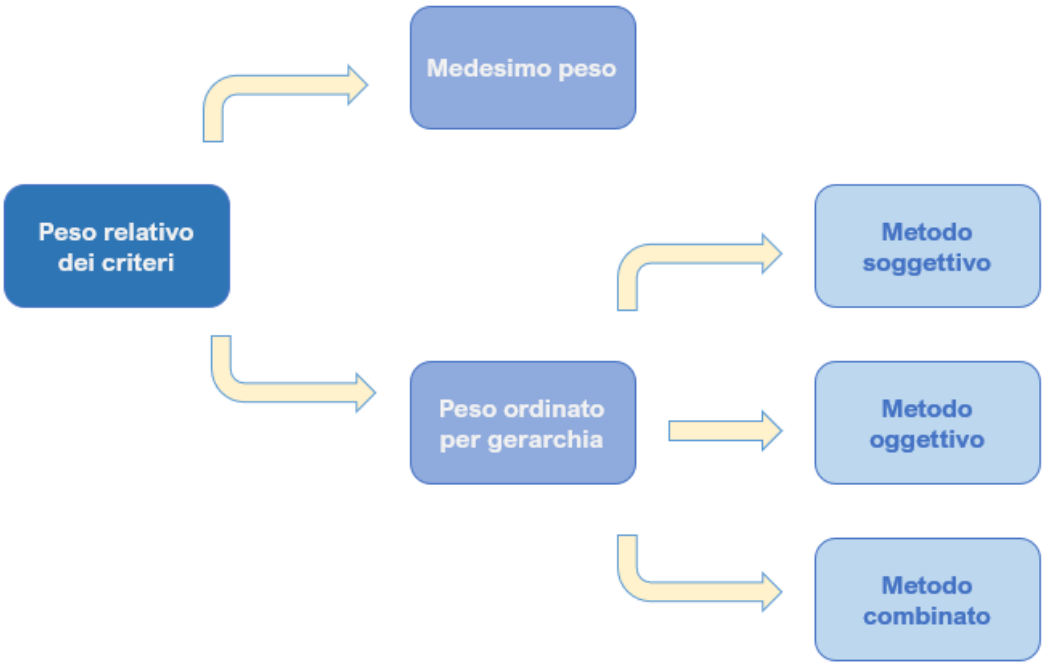

Figura 21. Metodi possibili per attribuzione dei pesi ai criteri.

Nello specifico è possibile avvalersi di due macro-famiglie: la prima permette di affidare ad ogni criterio il medesimo peso (1), la seconda impone di ordinare i criteri per importanza (2). I due metodi verranno analizzati più specificatamente di seguito.

1. Utilizzare lo stesso peso per tutti i criteri (equal weights method[27]) significa attribuire a tutti i criteri selezionati la medesima importanza. Questo metodo è molto utile perché permette di riuscire ad effettuare una scelta, applicando l'analisi multicriteria, inserendo una quantità minima di dati in ingresso e permettendo di ottenere dei risultati apprezzabili anche se non si hanno conoscenze approfondite circa le priorità del decisore.
   Valutando il vettore dei pesi (si veda *Equazione 2*) si ha che tutti i pesi dei criteri da 1 a n saranno identici come indicato in *Equazione 5* da cui scaturisce di conseguenza *Equazione 6*.

Equazione 5

$$w_i = \frac{1}{n}, \qquad i = 1,2,\dots,n$$

[27] Come viene definito in letteratura (Wang *et al.*, 2009).

Equazione 6

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

2. Per quanto riguarda la seconda famiglia di metodi (rank-order weighting method[28]), questa nasce per fornire una soluzione alla problematica di affidare un peso relativo a ciascun criterio. Secondo questo metodo infatti i criteri vengono ordinati per importanza secondo l'*Equazione 7* affidando così ad ogni criterio un suo peso specifico.

Equazione 7

$$w_1 \geq w_2 \geq \cdots \geq w_n \geq 0$$

Anche per questo metodo risulta valida l'*Equazione 6* che non verrà riproposta per evitare ridondanze.
Tale famiglia di metodi si può distinguere a sua volta per l'applicazione di un metodo soggettivo, oggettivo o combinato.

A. Il metodo soggettivo (subjective weighting method) affida un peso ad ogni criterio basandosi solamente sulle priorità del decisore, senza tenere conto dei dati raccolti relativi al sistema. Tale metodo è in grado di fornire una giustificazione per la scelta dei pesi che si intende attuare.
B. Il metodo oggettivo (objective weighting method) al contrario si basa solamente sui dati raccolti dall'analisi dei progetti, senza inserire considerazioni di sorta da parte del decisore. Risulta dunque essere un'analisi più debole rispetto alla precedente, ma basandosi solamente su metodi matematici riesce ad ovviare ad eventuali errori di valutazione del decisore.
C. In ultimo ci si può servire un metodo combinato (combination weighting method) che sottopone a valutazione sia le considerazioni soggettive fatte dal decisore, sia quelle oggettive matematiche, aggregandole.

In letteratura sono presenti innumerevoli metodi, classificabili all'interno delle categorie sopra elencate, tra cui poter scegliere. In questa trattazione verrà applicato il metodo gerarchico combinato per meglio definire, rendendoli eterogenei, i rapporti relativi che intercorrono tra i differenti criteri che sono stati selezionati. Verrà utilizzato nello specifico l'approccio proposto da Simos (Simos, 1990), che consiste nel servirsi del metodo "playing card" che verrà ampiamente spiegato nel paragrafo successivo (*4.4.2 Playing cards*). Tale metodologia è stata messa in atto attraverso la convocazione di un gruppo di lavoro.

[28] Come viene definito in letteratura (Wang *et al.*, 2009).

4.4.2 Playing cards

Al fine di definire in modo efficace un metodo per assegnare a ciascun criterio il peso appropriato è stato convocato un working group, come già riportato (*4.3.3 Selezione finale dei criteri*), in data 29 gennaio 2019.

Il gruppo di lavoro riunito ha avuto la duplice funzione di fornire la selezione finale dei criteri ed ottenere una classificazione degli stessi in base alla loro importanza, in modo da potervi assegnare i pesi relativi.

Il gruppo dei partecipanti è stato scelto in modo eterogeneo al fine di agevolare lo scambio di idee ed il conseguente confronto sulle stesse. Oltre al team italiano del progetto, i partecipanti rappresentavano vari background in quanto: esperti energetici, esperti nel campo economico e dell'ambiente costruito, esperti in analisi socio-energetica a livello urbano, esperti impiantisti ed esperti in retrofitting energetico a livello urbano.

La metodologia che è stata scelta per l'attribuzione dei pesi relativi è il "playing card method", un metodo semi-strutturato di natura partecipativa. Questo metodo presenta molti vantaggi tra i quali sicuramente quello di stimolare il dialogo ed il confronto tra i soggetti partecipanti. Ciò comporta un notevole beneficio, ovvero quello di facilitare lo scambio di opinioni e di punti di vista su di un medesimo argomento; infatti, i partecipanti al gruppo di lavoro possono esprimere il proprio pensiero, influenzato sicuramente dal fatto di provenire da un differente campo di studi (Lombardi *et al.*, 2017).

Nel metodo del playing cards sono rimarcabili inoltre l'immediatezza e la tangibilità, che rendono la procedura di facile applicazione.

La metodologia è molto intuitiva; viene fornito ai partecipanti un mazzo di carte, ognuna delle quali rappresentativa di un criterio. Su ciascuna è riportato il nome del criterio e una breve spiegazione dello stesso. Ai partecipanti è richiesto, in prima battuta, di ordinare le carte con i criteri in ordine di interesse ed importanza ai fini della sostenibilità di un generico sistema energetico.

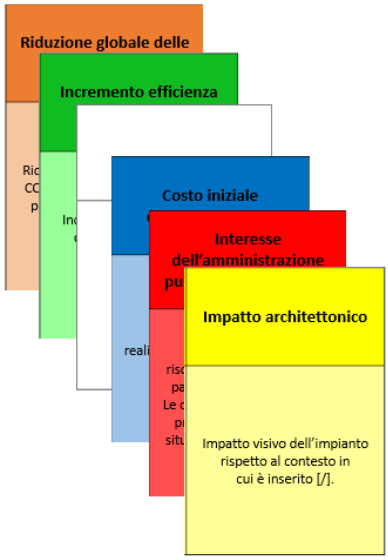

Figura 22. Ipotetico ordinamento delle carte.

In secondo luogo, viene fornito un mazzo di carte bianche, al fine di sottolineare il giusto livello di rilevanza dei vari criteri. Nello specifico, all'occorrenza, le carte bianche devono essere inserite tra due successivi criteri in numero tanto più alto, quanto maggiore è il divario in termini di importanza tra i due. La tabella successiva ha valore esemplificativo (*Tabella 14*).

N° di carte bianche frapposte	Relazione tra i criteri successivi	Importanza
0	1 volta più importante	Importanza debole
1	2 volte più importante	Importanza moderata
2	3 volte più importante	Importanza forte
3	4 volte più importante	Importanza molto forte
4	5 volte più importante	Importanza estrema
n	n+1 volte più importante	Importanza più che estrema

Tabella 14. Impiego delle carte bianche nel playing card method.

Inoltre, nel caso in cui si reputi che due criteri abbiano la medesima rilevanza, si deve costruire un sottosistema di due o più carte da attaccare assieme.

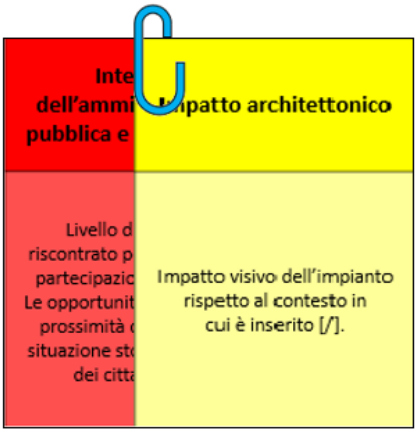

Figura 23. Ipotetico sottosistema di carte.

Al fine di favorire l'immediatezza, le carte con i criteri appartenenti al medesimo ambito sono state stampate con lo stesso colore. In particolare, si è utilizzato il giallo per l'ambito sociale, il verde per quello tecnico, il blu per l'economico, l'arancione per l'ambientale ed il rosso per quello amministrativo.

Tale metodologia è stata illustrata al gruppo di lavoro, ottenendo due ordini completi di criteri, in accordo con la divisione del gruppo in due sottogruppi. I due sottogruppi, chiamati convenzionalmente A e B[29], si sono formati spontaneamente in base alle conoscenze pregresse ed agli interessi.

Figura 24. Mediazione tra i componenti del gruppo A.

[29] Si veda il paragrafo 4.3.3.

Oltre a presentare e spiegare la metodologia del playing cards method; durante il dibattito, finalizzato a fornire l'ordine completo dei criteri, ho avuto il compito di fare da mediatore all'interno dei due gruppi formatisi, rimanendo a disposizione di entrambi per eventuali delucidazioni, e rivestendo tuttavia sempre un ruolo imparziale.

È da sottolineare che essenzialmente si sono seguite due linee di ragionamento. Il gruppo A ha fornito un ordine dettato da esperti in valutazione, che rispecchia le scelte di un ipotetico decisore che si trovi a dover scegliere nel progetto in cui investire. Il gruppo B invece, composto a grandi linee da esperti energetici, ha ragionato principalmente in un'ottica di processo. Hanno cioè proceduto per gradi di fattibilità, partendo nell'ordine dalle caratteristiche necessarie del progetto al fine della sua realizzazione.

Gli esiti ottenuti sono stati mantenuti separati allo scopo di non svalutare i ragionamenti fatti nella sede del working group.

Una volta ottenuti i risultati dell'ordine dei criteri è stato applicato l'algoritmo proposto da Simos (Simos, 1990) ottenendo i dati elencati di seguito.

ordine	criteri	n° carte	Posizione	peso non normalizzato	peso normalizzato	totale
1	Utilizzo del suolo (AMB2) Vincoli ambientali (AMB1)	2	1,2	1,5	0,84	1,68
2	Impatto architettonico (S2)	1	3	3	1,68	1,68
3	Carta bianca	2	[4,5]	0	0	0
4	Ricaduta economica installazione (E5)	1	6	6	3,35	3,35
5	Difficoltà operativa di installazione (T2)	1	7	7	3,91	3,91
6	Carta bianca	1	[8]	0	0	0
7	Costo iniziale dell'investimento (E1)	1	9	9	5,03	5,03
8	Ricaduta economica esercizio e manutenzione (E6)	1	10	10	5,59	5,59
9	Risparmio sulle spese (E3)	1	11	11	6,15	6,15
10	Carta bianca	2	[12,13]	0	0	0
11	Tempo di ritorno dell'investimento (E4) Incentivi pubblici (E2)	2	14,15	14,5	8,10	16,20
12	Carta bianca	1	[16]	0	0	0
13	Proprietà pubblica o privata (S3)	1	17	17	9,50	9,50
14	Interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità (AMM1)	1	18	18	10,06	10,06
15	Carta bianca	2	[19,2]	0	0	0
16	Risparmio di energia primaria (AMB3)	1	21	21	11,73	11,73
17	Riduzione globale delle emissioni di CO_2 (AMB4) Riduzione locale emissioni (AMB5)	2	22,23	22,5	12,57	25,14
	Totale	**23**	**179**			**100,00**

Tabella 15. Risultati relativi al gruppo A.

ordine	criteri	n° carte	Posizione	peso non normalizzato	peso normalizzato	totale
1	Utilizzo del suolo (AMB2) Impatto architettonico (S2) Numero utenti (S1)	3	1,2,3	2	0,97	2,91
2	Carta bianca	1	[4]	0	0	0
3	Ricaduta economica esercizio e manutenzione (E6) Ricaduta economica installazione (E5)	2	5,6	5,5	2,67	5,34
4	Riduzione locale emissioni (AMB5) Riduzione globale delle emissioni di CO_2 (AMB4) Risparmio di energia primaria (AMB3) Incremento efficienza impianto (T1)	4	7,8,9,10	8,5	4,13	16,50
5	Interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità (AMM1) Proprietà pubblica o privata (S3)	2	11,12	11,5	5,58	11,17
6	Costo iniziale dell'investimento (E1) Incentivi pubblici (E2) Risparmio sulle spese (E3)	3	13,14,15	14	6,80	20,39
7	Tempo di ritorno dell'investimento (E4) Durata della concessione (E7)	2	16,17	16,5	8,01	16,02
8	Vincoli ambientali (AMB1) Difficoltà operativa di installazione (T2) Disponibilità risorsa primaria (T3)	3	18,19,20	19	9,22	27,67
	Totale	**20**	**206**			**100,00**

Tabella 16. Risultati relativi al gruppo B.

Nelle tabelle i criteri sono riportati in ordine crescente di importanza (dal meno importante al più rilevante[30]), laddove sono presenti più di un criterio per ordine significa che i partecipanti hanno ritenuto opportuno inserire un sottosistema di carte. Nella terza colonna è indicato il numero di carte per ogni sottosistema. Scorrendo le colonne abbiamo che nella quarta sono indicate le posizioni occupate dalle carte nel mazzo ordinato. Al fondo di tale colonna è indicato il totale ottenuto sommando le posizioni dei criteri senza tener conto delle posizioni delle carte bianche[31]. Segue il peso non normalizzato dei criteri (anche indicato come "peso medio"): nel caso vi sia un solo criterio è uguale alla posizione dello stesso nel mazzo, altrimenti è calcolato come la media delle posizioni dei criteri del sottosistema. Successivamente si ha il peso normalizzato (detto anche "peso relativo") dei criteri calcolato come segue:

[30] Il criterio meno importante è indicato con il numero 1.
[31] Indicate tra parentesi quadre nelle tabelle.

Equazione 8

$$peso\ normalizzato_i = \frac{peso\ non\ normalizzato_i}{totale\ posizioni} \times 100 \qquad i = 1, 2, \dots, n$$

Nell'ultima colonna si hanno invece i pesi totali dei sottosistemi dei vari criteri. Questi sono ottenuti moltiplicando i pesi calcolati per ciascun criterio per il numero di carte del sottosistema; in questo modo si ottiene che il totale dato dalla somma dei pesi dei criteri è pari al 100% (Figueira and Roy, 2002).

Per quanto riguarda i risultati ottenuti bisogna innanzitutto specificare che sono coerenti con le scelte espresse da entrambi i gruppi sulla selezione finale dei criteri. In particolare, il gruppo A ha eliminato due criteri *numero degli utenti* (S1) ed *efficienza dell'impianto* (T1) mentre il gruppo B ha aggiunto, rispetto alla lista della selezione *disponibilità risorsa primaria* (T3) e *durata della concessione* (E7). Tuttavia, valutando il numero totale di carte impiegate nel mazzo ordinato, si nota che per il gruppo A se ne hanno 23 mentre per il gruppo B solamente 20, questo è dovuto ad un maggior numero di carte bianche inserite dal primo gruppo[32].

Da un punto di vista strettamente riguardante l'applicazione dell'algoritmo (Simos, 1990), si ha che: l'ordine fornito dal gruppo A ha una struttura molto gerarchica, con l'inserimento di molte carte bianche e con pochi sottosistemi di criteri, mentre l'ordine del gruppo B ha parecchi sottosistemi, tanto da non avere nemmeno un criterio considerato in modo singolo. Nello specifico, il gruppo A ha un ordine di priorità (riportato nella prima colonna delle due tabelle (*Tabella 15, Tabella 16*) che oscilla in un range tra 1 e 17; mentre per il gruppo B abbiamo un variare in un intervallo che si estende solamente tra 1 e 8. Questo porta il gruppo A ad avere dei pesi relativi dei criteri più incisivi rispetto a quelli del gruppo B.

Tale fenomeno è riscontrabile considerando che per il gruppo A il criterio più rilevante ha un peso normalizzato pari a 12,57, mentre per il gruppo B si è ottenuto che il sottosistema più incisivo ha un peso pari a 9,22.

È interessante notare inoltre che non è stato ritenuto di inserire ulteriori criteri in ambito sociale, e anzi quelli presenti sono stati posizionati tra quelli meno importanti: questo è in contrasto generalmente con quanto detto in letteratura. Probabilmente perché essa suggerisce un'analisi molto specifica, la quale, nel momento in cui si debba prendere una decisione su sistemi complessi come quelli considerati, risulta essere troppo particolareggiata e dunque superflua.

Un ulteriore punto di intesa tra gli ordini forniti dai due gruppi riguarda l'*utilizzo del suolo* (AMB2): entrambi infatti, sono concordi sul fatto che questo sia da considerare all'ultimo posto per rilevanza.

In linea generale si può affermare che per entrambi i gruppi i criteri economici ed ambientali sono da considerare come i più rilevanti nella scelta di un sistema energetico sostenibile.

[32] Otto carte bianche per il gruppo A, mentre solo 1 per il gruppo B.

Figura 25. I due gruppi ordinano i criteri per ottenere il risultato finale.

Capitolo 5

Elaborazione dati

5.1 Elaborazione dei dati

Una volta ottenuti i criteri rilevanti per valutare quale tra i progetti proposti sia il più fattibile, in termini di sostenibilità energetica, occorre procedere all'assemblaggio della matrice valutativa. Questo avviene passando attraverso un'attenta fase di elaborazione dei dati raccolti, rimanendo sempre all'interno del quadro delle comunità energetiche autonome.

5.1.1 Criteri sociali

Focalizzando l'attenzione sui criteri sociali, si è agito nel seguente modo.

Al fine di valutare il *numero utenti* (S1) ed indagare la tipologia di *proprietà pubblica o privata* (S3), sono stati effettuati dei sopralluoghi volti alla raccolta dati. Tale raccolta è stata resa possibile attraverso la collaborazione delle autorità competenti per ciascun intervento.

Per quanto concerne invece l'*impatto architettonico* (S2), essendo un criterio di tipo qualitativo e non quantitativo, si è deciso di adottare una valutazione in scala da 1 a 5 a cui si fa corrispondere al valore 1 il minimo impatto rispetto al criterio sopraccitato, e a 5 un impatto massimo.
I giudizi sono stati assegnati grazie all'ausilio de "La Foresta, società cooperativa[33]", con la quale il team italiano ha progettato gli impianti da installare. Nessuno dei progetti risulta essere particolarmente invasivo rispetto a tale criterio, anzi alcuni non influiscono in quanto si prevede

[33] Partner di SCORE, per quanto riguarda il caso studio italiano.

siano interventi interrati. In aggiunta in alcuni casi, si prenda a esempio quello riguardante Novalesa, si ha che l'impianto avrà un impatto architettonico di scala 3; tuttavia, dal momento che verrà installato in una zona che adesso risulta essere molto degradata, si avrà complessivamente un risultato molto positivo per quanto riguarda la riqualificazione della zona.

5.1.2 Criteri tecnici

Anche per ciò che concerne l'ambito tecnico della matrice si hanno criteri di tipo qualitativo, riportati come in precedenza in una scala da 1 a 5, in ordine crescente di rilevanza. Ci si riferisce in particolare al criterio *difficoltà operativa e di installazione* (T2), e *disponibilità di risorsa primaria* (T3)[34].

Nel valutare la rilevanza da assegnare al criterio *difficoltà operativa e di installazione* (T2) si è tenuto conto anche di eventualità quali: difficoltà relative ad ingombri dei componenti, installazione in ambienti angusti che rendono difficoltosi i lavori di messa in opera, lavori importanti quali impianti interrati.

Per quello che riguarda il criterio *disponibilità di risorsa primaria* (T3) è da rimarcare il fatto che la risorsa primaria non rappresenta un problema per nessuno dei possibili interventi proposti. Per assegnare il valore si è tenuto conto della disponibilità di biomassa nel comune in cui verrà installato l'impianto. Ad ogni modo se si considerano i comuni limitrofi, la disponibilità della risorsa primaria non risulta essere un criterio vincolante.

Allo scopo di valutare il criterio riguardante l'incremento dell'*efficienza dell'impianto* (T1), questo è stato calcolato attraverso la differenza tra l'efficienza dell'impianto attuale e quella dell'impianto previsto. In particolare, le efficienze sono calcolate a partire dai dati relativi ai rendimenti di generazione e distribuzione, che vengono riportati nella tabella sottostante.

Intervento	**Impianto attuale**		**Impianto previsto**	
	Rendimento di generazione [%]	Rendimento di distribuzione [%]	Rendimento di generazione [%]	Rendimento di distribuzione [%]
Oulx	85	85	92	90
Novalesa	80	80	92	92
Salbertrand	88	88	92	90
Bruzolo	90	85	92	90
Almese	88	85	92	90
Perosa Argentina	85	80	92	90
Ala di Stura	80	82	92	90
Rueglio	85	85	92	90

Tabella 17. La tabella contiene i dati utilizzati relativi ai rendimenti di distribuzione e generazione degli impianti ante e post operam.

[34] Entrambi valutati grazie all'aiuto de "La Foresta, società cooperativa".

5.1.3 Criteri economici

Volendo elaborare i dati economici, al fine di inserirli nella matrice valutativa, sono stati effettuati dei sopralluoghi presso la zona della Valle di Susa. Con l'ausilio del partner del progetto SCORE "La Foresta, società cooperativa", sono stati individuati i dati relativi ai seguenti criteri quantitativi: *costo iniziale dell'investimento* (E1), *incentivi pubblici* (E2), *ricaduta economica dell'installazione* (E5) e *ricaduta economica esercizio e manutenzione* (E6).

Sempre attraverso il supporto del partner del caso studio italiano è stato valutato in modo quantitativo il criterio *durata della concessione* (E7), introdotto dal gruppo B durante la fase di selezione finale dei criteri.
Tuttavia, ai fini della scelta del progetto maggiormente adatto alla costituzione di comunità energetiche autonome, quest'ultimo criterio non rappresenta un dato particolarmente significativo; infatti per tutti i progetti la durata della concessione è pari a 20 anni.

Si valuta infine il *tempo di ritorno dell'investimento* (E4), conosciuto anche con l'acronimo inglese PBT. Per la valutazione di tale parametro si è utilizzata una metodologia di calcolo semplificata. Nello specifico per ciascun caso studio individuato sono stati reperiti, assieme al partner "La Foresta, società cooperativa", i seguenti dati:

- Il costo di investimento iniziale [€], calcolato come la somma del costo dell'impianto ipotizzato e dei costi per l'efficientamento dell'involucro edilizio laddove previsto.
- La quota di incentivi forniti [€], da detrarre dal costo iniziale di investimento.
- I consumi energetici annuali ante operam e post operam delle utenze interessate [kWh].
- Il tipo di combustibile attualmente presente e preventivato, con le relative tariffe espresse in [€/Gj].
- I costi annui di rottura [%], espressi come percentuale del costo iniziale dell'impianto. Questi sono stimati pari all'1% del costo dell'impianto.
- I costi annui di manutenzione [€], stimati di 800 € per ogni caso studio.
- I costi di revisione [%], espressi come percentuale del costo iniziale dell'impianto. La stima è pari al 3% del costo dell'impianto. Tale voce di costo tuttavia è da applicare non su base annua ma ogni dieci anni.
- La vita media dell'impianto in questione, è stimata, in modo conservativo, pari a 30 anni di funzionamento.

Per il calcolo si è proceduto valutando un periodo di tempo che parte dall'anno zero, di costruzione dell'impianto in cui i ricavi sono fissati a zero, all'anno 30, pari alla durata della vita media della caldaia.

In principio vengono valutati i costi [€/anno] del primo anno[35], pari ai costi iniziali di investimento a cui sono sottratti gli incentivi ottenuti. Per gli anni successivi invece, sono pari ai costi annui di rottura e manutenzione, ai quali al decimo e ventesimo anno si sommano i costi di revisione.

[35] Il primo anno a cui ci si riferisce nei conti è stato considerato come anno zero.

Equazione 9

$$Costo\ annuo_{\ primo\ anno}[€] = costo_{invesimento}[€] + costo_{involucro}[€] - incentivi\ [€]$$

Equazione 10

$$Costo\ annuo_{anni\ successivi}[€] = \ costo_{rottura}[€] + costo_{manutenzione}[€] + costo_{revizsione}[€]$$

I risparmi annuali [€] sono invece stati calcolati come il risparmio dei costi sulla materia prima. Questa voce è stata aggregata come differenza tra le spese nel caso ante operam e quello post operam. Queste ultime per il caso ante operam vengono calcolati come:

Equazione 11

$$spese\ annuali_{ante\ operam}[€] = fabbisogno_{ante\ operam}[MWh] * 3.6\ [Gj/MWh] * tariffa[€/Gj]$$

Nell'*Equazione 11* compaiono il fattore di conversione 3,6 da MWh a Gj e la tariffa [€/Gj] che deve essere applicata a seconda del combustibile utilizzato.

Per quanto riguarda le spese annuali post operam si calcolano in modo identico, ma ci si riferisce alla tariffa della biomassa ed il fabbisogno in questione è quello dell'impianto in indagine. I consumi di energia sono mantenuti generalmente invariati, ad eccezione dei casi in cui sia previsto un efficientamento dell'involucro edilizio, che riduca quindi il fabbisogno dell'utenza. Questo avviene per i casi di Oulx ed Almese.

I costi della materia prima sono stati considerati costanti e sono stati stimati dopo aver analizzato i dati ottenuti dalla raccolta attuata attraverso il secondo questionario (*3.4 La ricerca dei dati*). In esso sono contenute le serie storiche delle tariffe dal 2013 al 2017; sono stati quindi calcolati i prezzi come media sui 5 anni ottenendo i dati riportati nella tabella sottostante (*Tabella 18*):

Materia prima	Tariffa [€/Gj]
Gas naturale	21,604
Gasolio	48,283
GPL	49,781
Biomassa	12,5

Tabella 18. Tariffe in [€/Gj] rispetto alla materia prima impiegata.

In seguito, è stato calcolato il flusso di cassa per ogni anno j-esimo come in *Equazione 12*, dove il risparmio ed il costo annuo sono inseriti in valore assoluto.

Equazione 12

$$flusso\ di\ cassa_j = risparmio_{anno\ j} - costo_{anno\ j} \qquad con\ j=0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ N$$

Successivamente si procede al calcolo della cumulata in ogni anno. Questa per l'anno zero è uguale al flusso di cassa, mentre per gli anni successivi si ottiene sommando al valore dell'anno precedente quello del flusso di cassa dell'anno in corso. Si procede poi in modo consecutivo per il numero di anni considerati, in questo caso 30.

Nel momento in cui il la cumulata da negativa diventa di segno positivo, significa che il sistema analizzato non è più in perdita, ovvero l'investimento iniziale è stato completamente ammortizzato e perciò si inizia ad avere un guadagno effettivo. L'anno in cui la cumulata diventa positiva rappresenta il tempo di ritorno dell'investimento.

È da sottolineare che convenzionalmente un tempo di ritorno intorno ai 15 anni è accettabile. Dei casi analizzati, quelli con il pay back time più alti sono Almese e Bruzolo. Questo era intuibile in quanto sono gli unici due casi in cui, ad oggi, non sono contemplati incentivi finanziari. In particolare, il caso studio localizzato nel secondo comune in questione risulta essere particolarmente critico.

5.1.4 Aspetti ambientali

Per quanto riguarda i criteri di tipo ambientale si sono seguiti i successivi ragionamenti.

Nuovamente ci troviamo di fronte a criteri di tipo qualitativo, quali *vincoli ambientali* (AMB1) ed *utilizzo del territorio* (AMB2), anch'essi valutati in una scala da 1 a 5 assieme al partner del progetto "La Foresta, società cooperativa".

Scorrendo l'elenco dei criteri ambientali individuati si ha il *risparmio di energia primaria* (AMB3). Per energia primaria si intende l'energia derivante da fonti presenti in natura e direttamente utilizzabili, a cui si contrappongono le fonti di energia secondarie, le quali sono cioè frutto di trasformazioni successive (quali energia elettrica, benzina, idrogeno eccetera). Tra le fonti primarie di energia vi sono molte fonti rinnovabili, come quella solare, eolica, geotermica, idroelettrica e da biomassa. I coefficienti relativi a questo criterio sono stati reperiti dalla legislazione (Regione, 2015). Volendo introdurre impianti a biomassa, ed osservando che gli impianti preesistenti si riforniscono di gasolio, GPL e gas naturale, si avrà facilmente un bilancio positivo nel risparmio di energia primaria.

Facendo invece riferimento al criterio *riduzione globale di* CO_2 (AMB4) si ha che i coefficienti di emissione sono stati rintracciati tramite pubblicazione sul sito dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA). Successivamente sono stati elaborati in base ai dati degli impianti a disposizione, in modo da ottenere le informazioni richieste in [kg] (www.enea.it).
Per tutti gli interventi analizzati è stato ottenuto un bilancio positivo rispetto a tale criterio.
Nel criterio *riduzione di emissioni locali* (AMB5) si fa riferimento a tutti gli inquinanti che sono emessi dagli impianti, vanno ad intaccare in modo negativo la componente atmosfera, ed hanno effetti nocivi sulla salute dell'uomo. Tra i maggiori inquinanti abbiamo gli ossidi di azoto (NO_x), gli ossidi di zolfo (SO_x), il monossido di carbonio (CO) ed il particolato atmosferico. Si è scelto di soffermarsi sulla riduzione di NO_x.
Con NO_x si intende includere sia il monossido di azoto (NO) sia il biossido di azoto (NO_2), il quale è altamente dannoso sulla salute dell'uomo; entrambi sono prodotti durante il processo di combustione.

Le sostanze inquinanti sopra citate sono state calcolate alla luce dei parametri di progetto e dei fattori sulle emissioni tratte dal sito dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, quest'ultimo spesso si trova indicato con il nome di ISPRA (www.sinanet.isprambiente.it).

5.1.5 Aspetti amministrativi

Per tenere in considerazione gli aspetti amministrativi dei progetti si è mantenuto un parametro qualitativo come l'*interesse dell'amministrazione ed opportunità* (AMM1). Anche questo parametro è stato valutato congiuntamente con "La Foresta, società cooperativa".
È stato possibile valutare tale criterio grazie alla collaborazione con le differenti amministrazioni dei comuni interessati dagli ipotetici progetti, e grazie alle relazioni intrattenute con i gestori delle strutture private coinvolte nei casi studio.
Per valutare il criterio appena citato, in una scala da 1 a 5, dove 1 rappresenta il minimo interesse da parte della comunità locale e/o la minima presenza di opportunità amministrative, e 5 al contrario il massimo livello di interesse e/o la massima presenza di opportunità, si tiene conto di molti fattori. Tra questi vi sono innanzitutto il livello di attenzione riscontrato da parte dei soggetti coinvolti nel progetto dell'eventuale comunità energetica (pubblici o privati che siano indifferentemente). In secondo luogo, la presenza di opportunità più disparate, che possono essere legate ad esempio alla prossimità delle elezioni, come nel caso di Oulx, o alla presenza di eventuali criticità o punti a favore all'interno del comune.

5.2 La matrice valutativa

Una volta reperiti i dati riguardanti tutti i differenti progetti si procede ad aggregarli all'interno della medesima matrice valutativa. Di seguito è riportata la matrice costituita per il caso studio italiano del progetto SCORE.

IDENTIFICAZIONE INTERVENTO			SOCIALI			TECNICI			ECONOMICI						
N°	Localizzazione	Intervento	S1 [/]	S2 [/]	S3 [/]	T1 [%]	T2 [/]	T3 [/]	E1 [€]	E2 [%]	E3 [€/anno]	E4 [anni]	E5 [€]	E6 [€/anno]	E7 [anni]
1	**Oulx**	Centrale termica a cippato di legno e riqualificazione energetica involucro scuola	286	2	pubblico	11,0	3,5	5	1120000	45,54	14514	12	504000	60365	20
2	**Novalesa**	Centrale termica a cippato di legno	34	3	misto	20,0	3,5	5	500000	28,00	276923	10	200000	46731	20
3	**Salbertrand**	Centrale termica a cippato	10	3	pubblico	7,0	2,0	5	160000	28,13	2901	14	64000	22068	20
4	**Bruzolo**	Centrale termica a cippato, con potenziale riqualificazione involucro	50	3	pubblico	8,0	2,5	3	100000	0	956	24	40000	6183	20
5	**Almese**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	1192	3	misto	10,0	3,5	5	550000	0	10971	15	220000	53485	20
6	**Perosa Argentina**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	475	4	misto	17,0	3,0	5	500000	37,80	30850	11	200000	69413	20
7	**Ala di Stura**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	40	1	pubblico	20,0	1,5	5	160000	25,63	17538	11	64000	29596	20
8	**Rueglio**	Centrale termica a biomassa	60	3	pubblico	15,0	2,5	5	220000	27,27	9536	8	88000	26223	20

Tabella 19. Matrice valutativa con criteri sociali, tecnici ed economici.

IDENTIFICAZIONE INTERVENTO			AMBIENTALI					AMMINI-STRATIVI
N°	Localizzazione	Intervento	(AMB1) [/]	(AMB2) [/]	(AMB3) [/]	(AMB4) [ton]	(AMB5) [kg]	(AMM1) [/]
1	**Oulx**	Centrale termica a cippato di legno e riqualificazione energetica involucro scuola	1	1	0,58	154,0	-9,3	5,0
2	**Novalesa**	Centrale termica a cippato di legno	4	1	0,57	78,1	-5,7	2,0
3	**Salbertrand**	Centrale termica a cippato	2	1	0,50	19,0	-10,8	2,5
4	**Bruzolo**	Centrale termica a cippato, con potenziale riqualificazione involucro	1	1	0,50	10,4	-7,0	1,5
5	**Almese**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	3	4	0,50	91,2	-12,3	2,5
6	**Perosa Argentina**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	2	3	0,50	135,2	-30,4	3,0
7	**Ala di Stura**	Rete di teleriscaldamento con centrale a biomassa	1	1	0,70	25,3	-2,0	4,0
8	**Rueglio**	Centrale termica a biomassa	1	1	0,70	43,7	-3,4	3,5

Tabella 20. Matrice valutativa con criteri ambientali ed amministrativi.

Si riporta anche per comodità del lettore la tabella con le abbreviazioni utilizzate per ciascun criterio indicato.

Sigla	**Criterio**
S1	Numero utenti
S2	Impatto architettonico
S3	Proprietà pubblica o privata
T1	Incremento efficienza impianto
T2	Difficoltà operativa di installazione
T3	Disponibilità risorsa primaria
E1	Costo iniziale di investimento
E2	Incentivi pubblici
E3	Risparmio sulle spese
E4	Tempo di ritorno dell'investimento
E5	Ricaduta economica installazione
E6	Ricaduta economica esercizio e manutenzione
E7	Durata della concessione
AMB1	Vincoli ambientali
AMB2	Utilizzo del suolo
AMB3	Risparmio di energia primaria
AMB4	Riduzione globale delle emissioni di CO_2
AMB5	Riduzione locale delle emissioni
AMM1	Interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità

Tabella 21. Abbreviazioni utilizzate per i criteri.

5.3 Applicazione del modello

5.3.1 Scelta del modello

La metodologia multi-criteriale si è rivelata molto utile nell'analisi della materia trattata. Questo è dovuto in particolare, al fatto che l'MCDA si presenta come un pratico strumento che viene in aiuto al soggetto decisore quando si tratta di effettuare analisi molto ampie. Il punto di forza della metodologia consiste, non nel riuscire a delineare la soluzione migliore in assoluto, la quale raramente esiste, ma nell'individuare la migliore in termini di compromesso. Spesso infatti i criteri che vengono considerati all'interno dell'analisi comportano obiettivi di natura conflittuale (Gheorghe *et al.*, 2003).

A seconda della tipologia di sistemi, nonché di obiettivi, che si sta considerando, occorre scegliere il modello che più si adatta alle richieste. In particolare, all'interno dell'ambito della pianificazione

energetica, si possono individuare tre famiglie di modelli fondamentali elencati di seguito (Kumar *et al.*, 2017), (Figueira, Greco and Ehrgott, 2005):

1. Value measurement models (VMM), sono approcci principalmente basati sull'utilità. Vengono adoperati per fornire una scala di priorità tra differenti tecnologie energetiche.
2. Goal, aspiration and reference level models, sono modelli con programmazione per obiettivi. Generalmente, per questi approcci si definiscono delle funzioni multi-obiettivo, sono utilizzati per la progettazione energetica (detta anche GP[36]).
3. Outranking models, rappresentano un approccio preferenziale per i DM, in quanto sono particolarmente adeguati a risolvere problemi decisionali e sono in grado di fornire un'ampia visione sulla questione in indagine. Sono i modelli di norma più impiegati nel campo di indagine che si sta valutando, poiché permettono di allocare la problematica dal lato della domanda di energia.

Si è deciso dunque di applicare il modello *3*, il quale permette di ottenere un ordine completo dei casi studio analizzati. All'interno della famiglia di modelli selezionata, si è optato per l'utilizzo del metodo PROMETHEE (acronimo di "Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations"), che risulta essere molto efficace nella valutazione di criteri contrastanti. Il modello si basa su un approccio di aggregazione parziale, che permette di valutare simultaneamente criteri qualitativi e quantitativi. Utilizza il confronto a coppie, analizzando cioè le alternative a due a due e stabilendo quale sia la migliore. In generale, valutando due azioni "a" e "b", si ha che la prima è preferibile rispetto alla seconda se "a" è migliore o uguale a "b" nella maggior parte dei criteri selezionati (Seddiki *et al.*, 2016). Il metodo è tra i più recenti nel panorama attuale, infatti è stato sviluppato per la prima volta nel 1982 da Brans e successivamente esteso da Vinckle e Brans (Brans and Vincke, 1985). PROMETHEE risulta essere molto spesso tra i favoriti in materia di sistemi energetici, inoltre è adeguato alla metodologia scelta precedentemente. Questa scelta è supportata anche dal sito web www.mcda.it, in cui è possibile individuare quale modello sia più conforme alla valutazione effettuata, dopo aver inserito dati specifici riguardanti l'analisi. Ci si riferisce in particolare a dati riguardanti il peso e la relativa scala dei criteri, le incertezze sui dati, l'obiettivo finale ed il tipo di ordine richiesto (Wątróbski *et al.*, 2018).

5.3.2 Visual PROMETHEE

Al fine di applicare il modello PROMETHEE prescelto, ci si è avvalsi di "Visual PROMETHEE", un software di tipo accademico disponibile gratuitamente. Per maggiori informazioni si può consultare il manuale (PROMETHEE, 2013).

Come prima cosa sono stati definiti i set di alternative (dette anche azioni), che nell'analisi multi-criteriale devono essere generalmente in numero finito. Quindi si sono dovuti ricostruire all'interno del programma gli otto casi studio della Val di Susa considerati.

Successivamente i criteri selezionati, vanno inseriti all'interno del modello che si sta generando. Occorre conferire ad ognuno una direzione di preferenza: nello specifico bisogna decidere se il criterio deve essere minimizzato o massimizzato. Con la massimizzazione si conferisce una maggiore

[36] Acronimo per "Goal Programming".

preferenza ai valori più alti; invece, con la minimizzazione, si stabilisce che un valore maggiore segnala una peggiore risposta dell'alternativa.
Inoltre, è importante mantenere la corretta unità di misura, uguale per tutti i casi studio e deve essere specificata nel caso di criteri quantitativi.
Infine, per ogni criterio inserito deve essere stabilita la scala di misura del criterio che può essere qualitativa o quantitativa (Gheorghe *et al.*, 2003).

Nel caso in esame sono presenti alcuni criteri qualitativi. Per S2 *impatto architettonico* si è deciso di utilizzare la scala di "impatto" fornita dal software. Il trasferimento dal valore numerico al livello di impatto è stato eseguito come nella tabella successiva.

Valore numerico	Impatto corrispondente Visual PROMETHEE	Traduzione
1	Very low	Molto basso
2	Low	Basso
3	Moderate	Moderato
4	High	Alto
5	Very high	Molto alto

Tabella 22. Scala di impatto su Visual PROMETHEE.

Per quanto riguarda il criterio S3 proprietà *pubblica o privata,* si è affidato un valore pari a 3 per la proprietà pubblica, pari a 2 per quella mista e 1 per quella privata. Questa decisione è stata presa in quanto, tramite il confronto con il gruppo di lavoro coinvolto, è emerso che, al fine di favorire la realizzazione dell'intervento, è preferibile avere una proprietà di natura pubblica.

Per il criterio T2 *difficoltà operativa di installazione*, è stata utilizzata una scala di 9 punti, con applicazione come in tabella (*Tabella 23*).

Valore numerico	Corrispondente in Visual PROMETHEE	Traduzione
1	Very good (VG)	Molto positivo
1,5	Good – very good (G-VG)	Positivo – molto positivo
2	Good (G)	Positivo
2,5	Average – good (A-G)	Medio – positivo
3	Average (A)	Medio
3,5	Bad – average (B-A)	Negativo – medio
4	Bad (B)	Negativo
4,5	Very bad – bad (VB-B)	Molto negativo – negativo
5	Very bad (VB)	Molto negativo

Tabella 23. Scala qualitativa di 9 punti su Visual PROMETHEE.

Anche nel caso di AMM1 *interesse dell'amministrazione pubblica ed opportunità,* è stata utilizzata una scala qualitativa di 9 punti ma con l'obiettivo di massimizzazione del criterio, contrariamente a T2 per il quale l'obiettivo era la minimizzazione.

L'ultima tipologia di scala impiegata è la scala qualitativa di 5 punti, in cui:

Valore numerico	Corrispondente in Visual PROMETHEE	Traduzione
1	Very good	Molto positivo
2	Good	Positivo
3	Average	Medio
4	Bad	Negativo
5	Very bad	Molto negativo

Tabella 24. Scala qualitativa di 5 punti su Visual PROMETHEE.

Questa tipologia di scala è stata utilizzata con la massimizzazione dell'obiettivo per i criteri *vincoli ambientali* (AMB1) ed *utilizzo del suolo* (AMB2). Mentre per la *disponibilità di risorsa primaria* (T3) si è utilizzato il reciproco della scala.

Per tutti gli altri parametri sono stati impostati dei criteri di tipo quantitativo. I criteri per cui è stata effettuata la scelta di massimizzazione sono: *numero utenti* (S1)*, incremento efficienza* (T1)*, incentivi pubblici* (E2)*, risparmio sulle spese* (E3)*, ricaduta economica installazione* (E5)*, ricaduta economica esercizio e manutenzione* (E6)*, durata della concessione* (E7)*, risparmio energia primaria* (AMB3)*, riduzione globale delle emissioni di* CO_2 (AMB4) e *riduzione locale emissioni* (AMB5).
Al contrario i criteri a cui è stata associata la funzione di minimizzazione sono: *costo iniziale di investimento* (E1) e *tempo di ritorno dell'investimento* (E4).

Si è inoltre provveduto a classificare tutti i criteri dello stesso tipo all'interno del medesimo cluster, fornendo a ciascuno un colore identificativo. In aggiunta si sono inserite le corrette unità di misura utilizzate per i differenti criteri.

In seguito, sono stati aggiunti tutti i dati precedentemente elaborati ed è stata composta la matrice.

Attraverso il software di Visual PROMETHEE sono stati composti tre sistemi, il primo creato affidando a tutti i criteri il medesimo peso, il secondo impostando i pesi forniti dall'elaborazione dei dati del gruppo A e l'ultimo per i risultati forniti dal gruppo B.

Di seguito è fornito un esempio di schermata generata all'interno del software utilizzato.

PESI GRUPPO B	numero utenti	impatto archi...	proprietà pu...	incremento e...	difficoltà ope...	disponibilità ...	costo iniziale...	incentivi pub...	risparmio sull...	tempo di rito...	ricaduta eco...	ricaduta eco...	durata della ...	vincoli ambie...	utilizzo suolo	risparmio en...	riduzione glo...	riduzione loc...	interesse am...
Unit	adimensionato	impact	adimensionato	%	adimensionato	5-point	€	%	€/anno	anni	€	€	anni	5-point	5-point	adimensionato	tonn	kg	9-point
Cluster/Group																			
Preferences																			
Min/Max	max	min	max	max	min	max	min	max	max	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	0,97	0,97	5,58	4,13	9,22	9,22	6,80	6,80	6,80	8,01	2,67	2,67	8,01	9,22	0,97	4,13	4,13	4,13	5,58
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics																			
Minimum	10	1,00	2	7,00	4,00	3,00	100000,00	0,00	956,00	8,00	40000,00	6183,00	20,00	2,00	2,00	0,50	10,40	-30,40	2,00
Maximum	1192	4,00	3	20,00	8,00	5,00	1120000,00	45,54	276923,00	24,00	504000,00	69413,00	20,00	5,00	5,00	0,70	154,00	-2,00	9,00
Average	268	2,75	3	13,50	5,50	4,75	413750,00	24,05	45523,63	13,13	172500,00	39258,00	20,00	4,13	4,38	0,57	69,61	-10,11	5,00
Standard Dev.	381	0,83	0	4,87	1,41	0,66	315631,81	15,22	87890,37	4,59	142259,45	20204,58	0,00	1,05	1,11	0,08	50,82	8,35	2,12
Evaluations																			
OULX	286	low	3	11,00	B-A	very good	1120000,00	45,54	14514,00	12,00	504000,00	60365,00	20,00	very good	very good	0,58	154,00	-9,30	VG
NOVALESA	34	moderate	2	20,00	B-A	very good	500000,00	28,00	276923,00	10,00	200000,00	46731,00	20,00	bad	very good	0,57	78,10	-5,70	B
SALBERTRAND	10	moderate	3	7,00	G	very good	160000,00	28,13	2901,00	14,00	64000,00	22068,00	20,00	good	very good	0,50	19,00	-10,80	B-A
BRUZOLO	50	moderate	3	8,00	A-G	average	100000,00	0,00	956,00	24,00	40000,00	6183,00	20,00	very good	very good	0,50	10,40	-7,00	VB-B
ALMESE	1192	moderate	2	10,00	B-A	very good	550000,00	0,00	10971,00	15,00	220000,00	53485,00	20,00	average	bad	0,50	91,20	-12,30	B-A
PEROSA ARGEN...	475	high	2	17,00	A	very good	500000,00	37,80	30850,00	11,00	200000,00	69413,00	20,00	good	average	0,50	135,20	-30,40	A
ALA DI STURA	40	very low	3	20,00	G-VG	very good	160000,00	25,63	17538,00	11,00	64000,00	29596,00	20,00	very good	very good	0,70	25,30	-2,00	G
RUEGLIO	60	moderate	3	15,00	A-G	very good	220000,00	27,27	9536,00	8,00	88000,00	26223,00	20,00	very good	very good	0,70	43,70	-3,40	A-G

Figura 26. Sistema generato su Visual PROMETHEE con i risultati ottenuti dal gruppo B.

Utilizzando il confronto a coppie il software Visual PROMETHEE permette di calcolare differenti grandezze utili ad effettuare il confronto tra le differenti alternative proposte (Seddiki *et al.*, 2016).

Visual PROMETHEE consente di quantificare il grado di preferenza, indicato come $\pi(a,b)$, della generica alternativa "a" in confronto a "b", calcolato come nell'equazione seguente.

Equazione 13

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{n} w_j \times P_j(a,b)$$

Dove w_j è il peso affidato a ogni criterio j-esimo e $P_j(a,b)$ è la funzione preferenza affidata dal DM, in questo caso è stata selezionata la scelta "Usual", ovvero non è stata espressa una preferenza di "a" rispetto a "b".

Il software permette poi di calcolare il flusso uscente e quello entrante per ogni alternativa.

Il flusso uscente è indicato con ϕ^+ e rappresenta la misura della robustezza dell'alternativa analizzata. Il flusso uscente calcolato come nell'equazione successiva, varia tra 0 e 1. Tanto più ϕ^+ si avvicina a 1, tanto preferibile è l'alternativa considerata in confronto alle altre, viceversa, se pari a 0, l'azione in esame non presenta alcun vantaggio rispetto alle altre.

Equazione 14

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a,b) \qquad \phi^+(a) \in [0,1]$$

Per quanto concerne il flusso entrante invece, si utilizza la notazione ϕ^-; esso rappresenta la misura della debolezza dell'azione in analisi rispetto alle altre alternative. Anche questo parametro varia tra 0 e 1, dove $\phi^- = 0$ significa che l'alternativa selezionata ha un grado di debolezza pari a zero, e rappresenta dunque l'alternativa migliore, al contrario $\phi^- = 1$ rappresenta quella peggiore. Per il calcolo si utilizza la formula seguente:

Equazione 15

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a,b) \qquad \phi^-(a) \in [0,1]$$

A questo punto è possibile calcolare il flusso netto semplicemente come la differenza di quello uscente e quello entrante (*Equazione 16*). Il flusso netto permette di confrontare in modo diretto le alternative proposte e fornirne l'ordine.

Equazione 16

$$\phi(\mathrm{a}) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Capitolo 6

Risultati

6.1 Risultati ottenuti

6.1.1 Risultati gruppo A

I primi risultati ad essere analizzati sono stati quelli ottenuti partendo dai dati forniti dal gruppo A, il modello è dunque stato creato inserendo le preferenze di criteri e di pesi forniti da tale gruppo in seguito al confronto del 29 gennaio 2019 (*Tabella 15*).

Sono stati ottenuti i risultati come indicati nella tabella successiva.

Intervento	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
Oulx	0,6795	0,2363	0,4433
Novalesa	0,5132	0,4117	0,1015
Salbertrand	0,2718	0,5721	-0,3002
Bruzolo	0,1818	0,6688	-0,4871
Almese	0,2789	0,5883	-0,3094
Perosa Argentina	0,4445	0,4445	0
Ala di Stura	0,5852	0,3018	0,2834
Rueglio	0,5819	0,3133	0,2686

Tabella 25. Risultati flussi gruppo A.

Nella figura successiva (*Figura 27*)si ha la rappresentazione grafica dei flussi uscenti ed entranti per le alternative proposte. Nell'immagine le alternative migliori sono posizionate più in alto, sulla sinistra si ha il flusso uscente ed i valori sono posizionati in ordine crescente in direzione ascendente (da zero a uno). Sulla destra invece si ha il flusso entrante ed i valori sono posizionati in ordine decrescente nella direzione ascendente (da uno a zero).

Si fornisce anche la figura (*Figura 28*) che riporta l'ordine completo di scelta delle alternative ed i rispettivi valori di flusso netto, secondo quanto emerso dai dati del gruppo A.

Ci si avvale infine dello strumento di analisi GAIA "Graphical Analysis for Interactive Aid", che permette di avere un riscontro grafico dei risultati ottenuti, e fornisce informazioni su eventuali risultati affini o conflittuali tra i criteri. Tale strumento è in grado di generare grafici relativamente ad un singolo caso studio su cui si riportano i risultati relativi a tutti i criteri considerati. Simile ad un diagramma di Kiviat[37], si differenzia da questo perché gli angoli tra gli assi non sono divisi in modo simmetrico, ma sono riportati vicini o distanti in base al peso affidato ad ogni criterio. L'analisi GAIA risulta essere quindi maggiormente significativa, accostando i criteri considerati di importanza affine. Gli assi che dal centro si dirigono verso l'esterno del diagramma rappresentano i criteri considerati, mentre in senso radiale si ha la scala di valore relativa al flusso, che vale ϕ = -1 nella circonferenza di raggio minore e ϕ = 1 nella circonferenza più esterna. Il flusso netto specifico per il caso studio considerato è riportato sulla circonferenza tratteggiata, di colore rosso se ha valore negativo e verde se positivo. Tali grafici sono riportati solamente per il caso migliore e peggiore (*Figura 29*), (*Figura 30*).

[37] Si trova anche indicato come grafico radar.

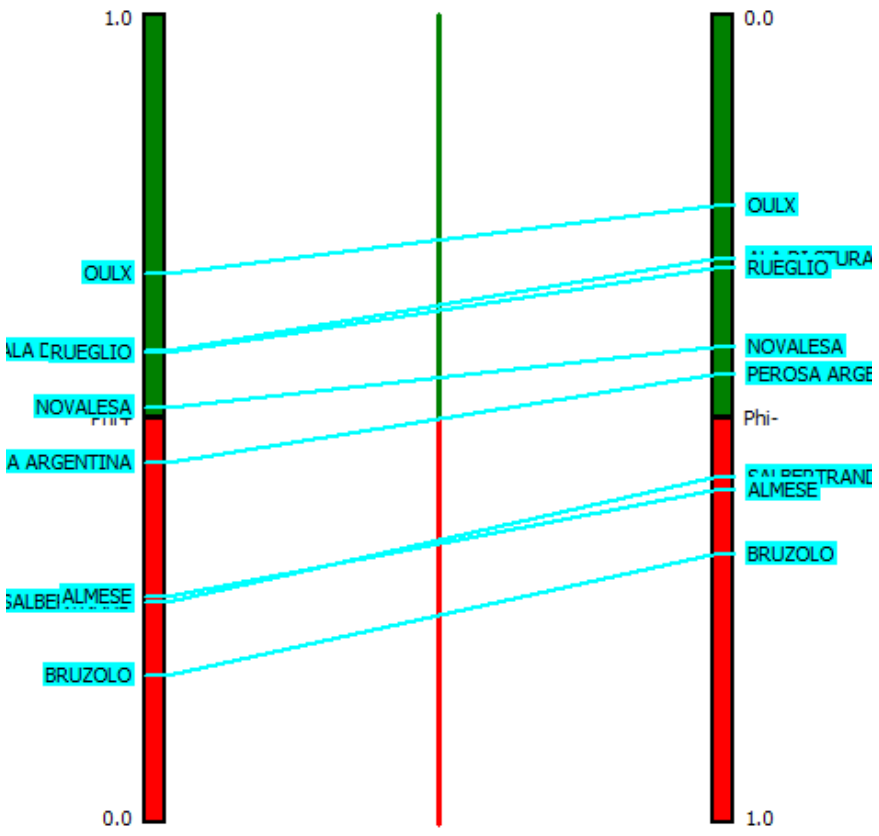

Figura 27. Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per il gruppo A.

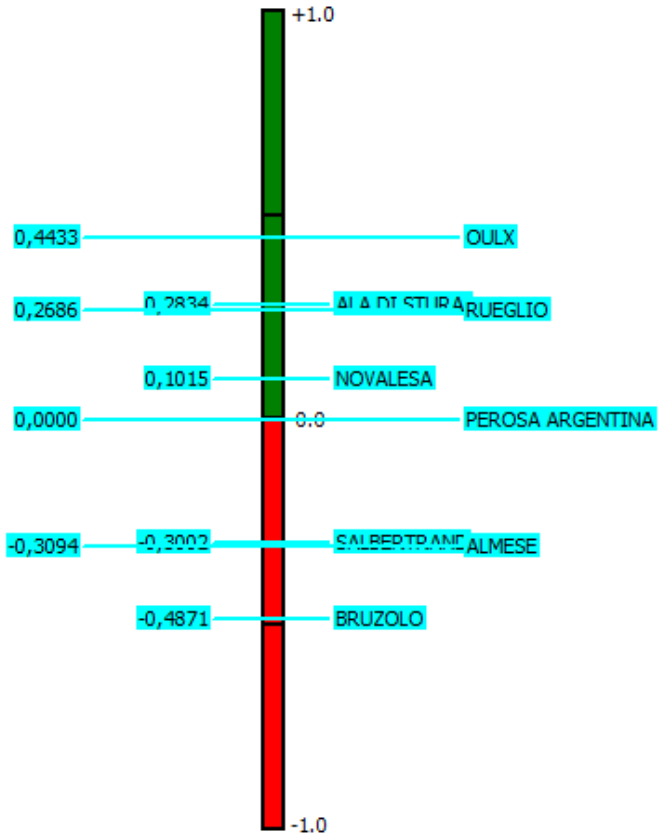

Figura 28.Rappresentazione grafica flusso netto, per il gruppo A.

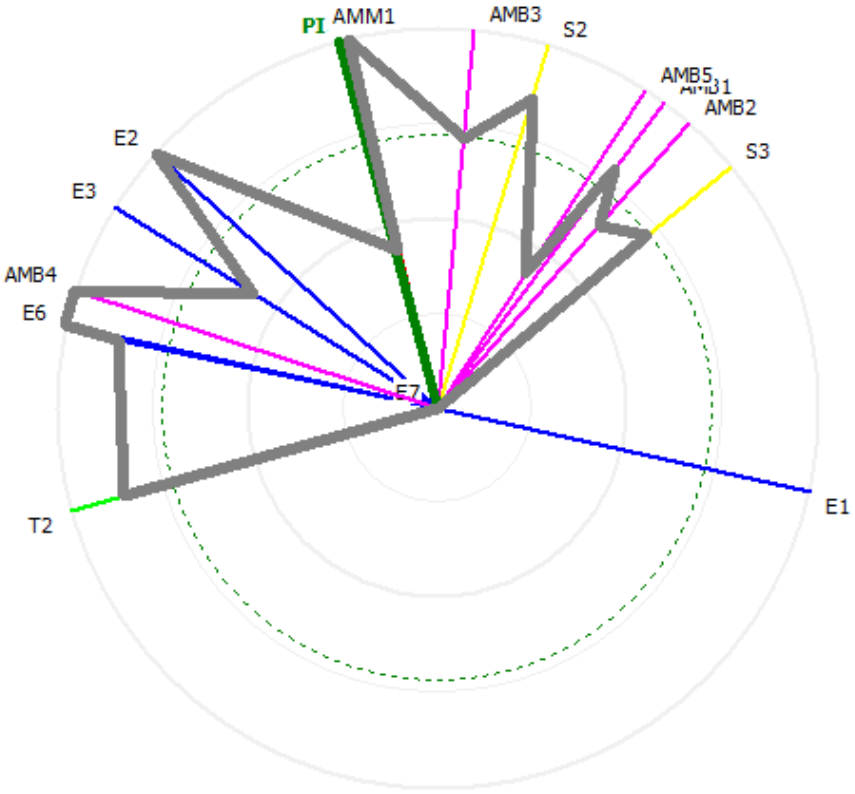

Figura 29. Grafico GAIA per il caso Oulx, gruppo A.

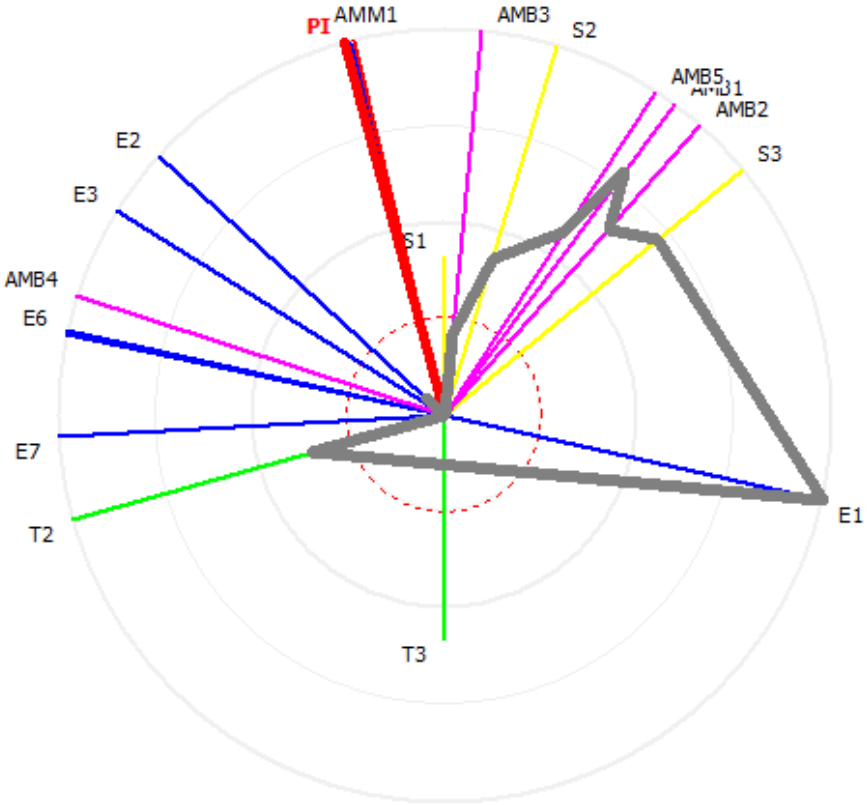

Figura 30. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, gruppo A.

I grafici GAIA forniti sono relativi ad Oulx e a Bruzolo. Si può notare come per il primo si abbiano valori abbastanza elevati, dunque positivi per quasi tutti i criteri; mentre il caso di Bruzolo, come da aspettative, risulta essere carente su molti fronti, ma forte sul criterio E1 riguardante il costo iniziale di investimento (essendo previsto un piccolo impianto, il costo non è molto elevato, in confronto agli altri progetti).

Si sottolinea come nei casi di Salbertrand, Almese e Bruzolo ci siano valori di flusso netto negativi. Per il caso di Perosa Argentina il flusso netto risulta esattamente ϕ=0, in quanto i flussi entrati ed uscenti risultano essere identici in valore assoluto ϕ^+= 0,4445 e ϕ^-= 0,4445. Tale alternativa risulta essere indifferente nella scala di preferenza relativa.

I risultati ottenuti delineano Oulx come miglior caso studio, seguito nell'ordine da Ala di Stura, Rueglio, Novalesa, Perosa Argentina, Salbertrand, Almese ed in ultimo Bruzolo.

6.1.2 Risultati gruppo B

Riportando sul software di Visual PROMETHEE i dati ottenuti dalla selezione finale e dai pesi dei criteri forniti dal gruppo B (*Tabella 16*), si sono generati i risultati come successivamente riportato.

Per quanto riguarda i flussi calcolati si riportano i valori nella tabella successiva: si mostrano in particolare il flusso uscente, entrante e netto per ogni ipotetico caso studio.

Intervento	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
Oulx	0,5264	0,2099	0,3165
Novalesa	0,4301	0,3367	0,0934
Salbertrand	0,2517	0,4924	-0,2407
Bruzolo	0,2087	0,5867	-0,378
Almese	0,2587	0,499	-0,2404
Perosa Argentina	0,4224	0,3467	0,0756
Ala di Stura	0,4543	0,2715	0,1828
Rueglio	0,4643	0,2736	0,1907

Tabella 26. Risultati flussi gruppo B.

Si riportano successivamente, come nel caso del gruppo A, i grafici relativi ai risultati di flusso uscente ed entrante in maniera congiunta e quello del flusso netto.

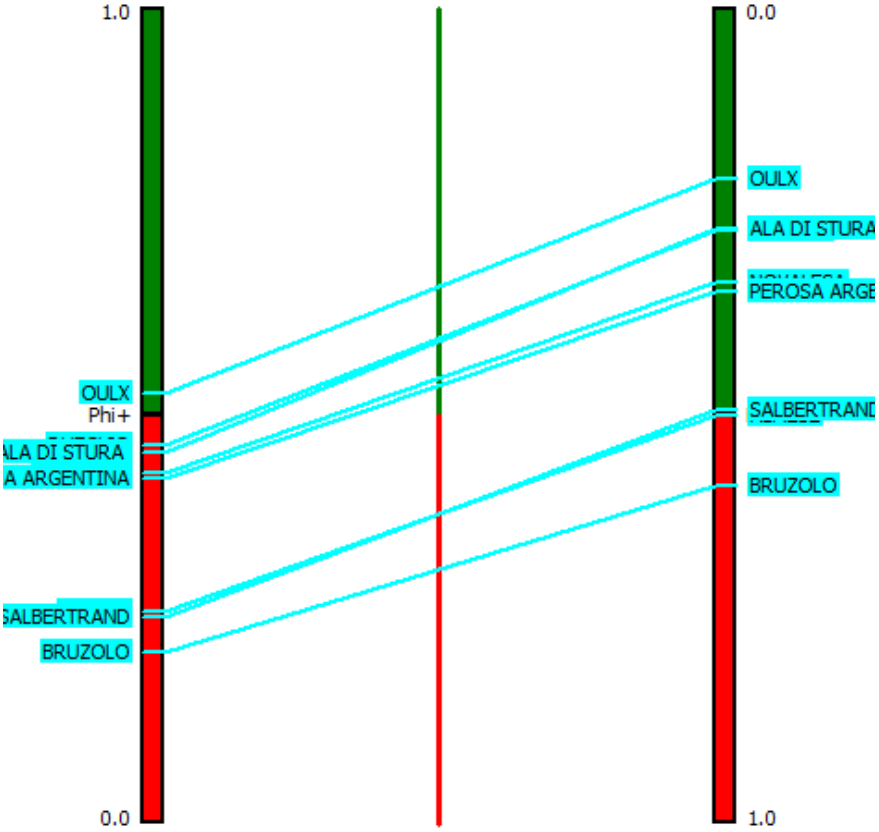

Figura 31.Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per il gruppo B.

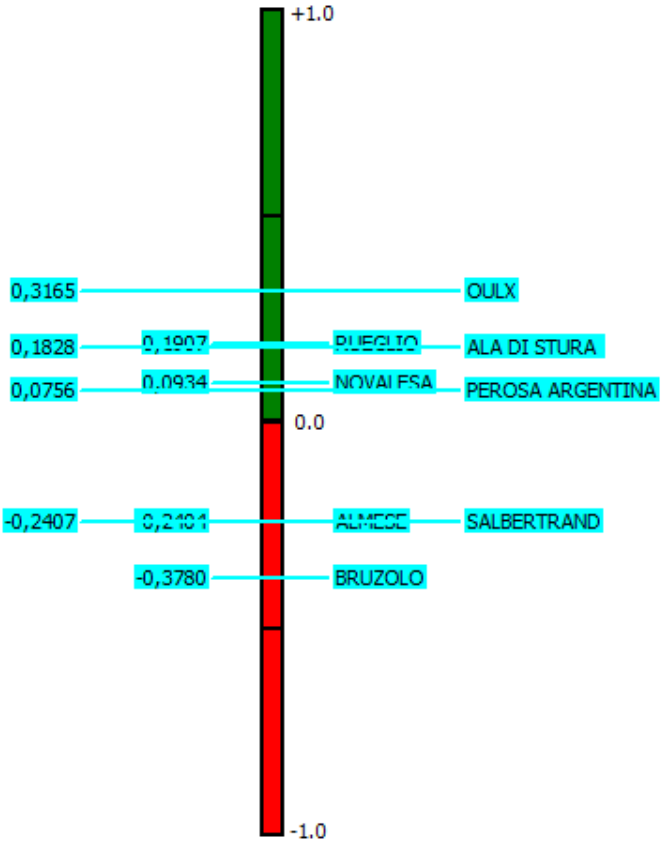

Figura 32. Rappresentazione grafica flusso netto, per il gruppo B.

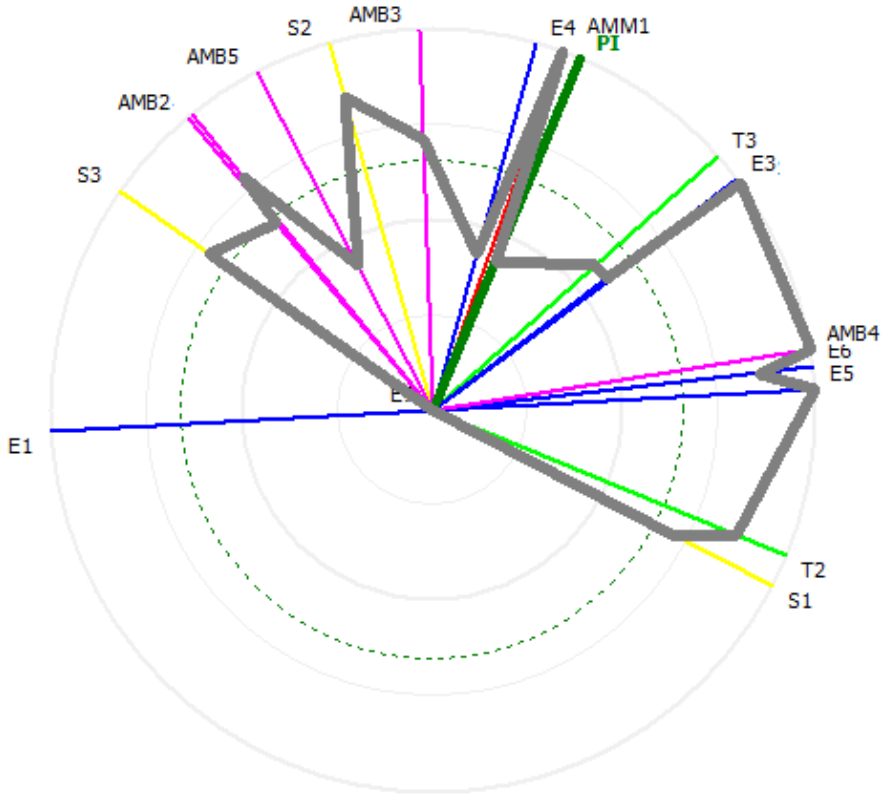

Figura 33.Grafico GAIA per il caso Oulx, gruppo B.

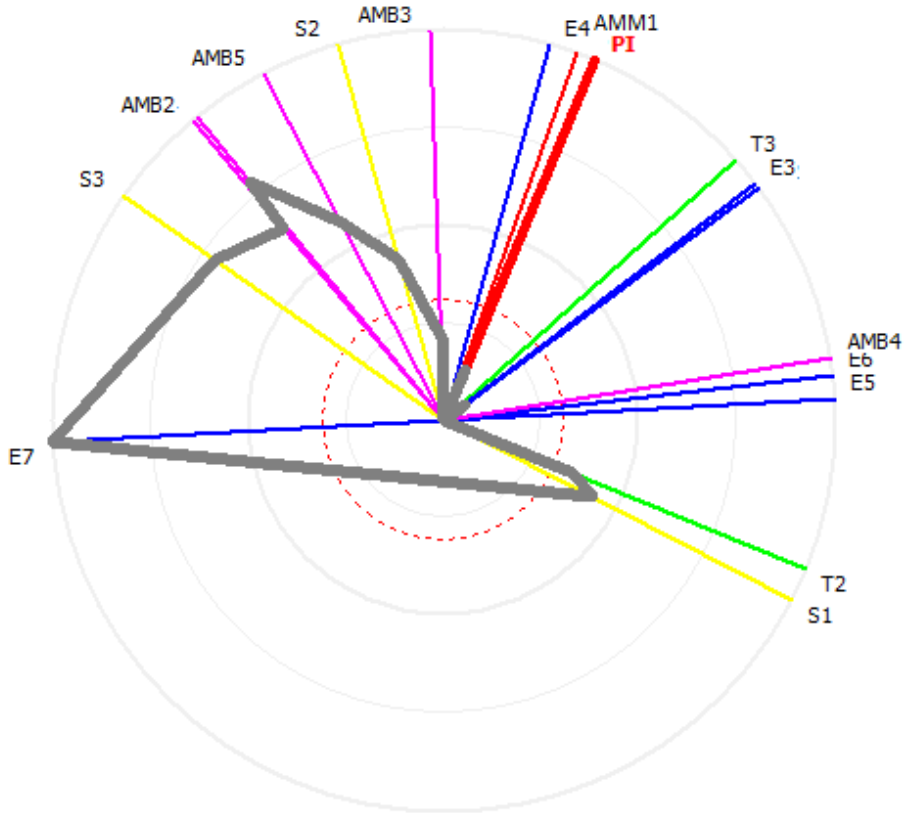

Figura 34. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, gruppo B.

Dai dati forniti dal gruppo B si ottiene che il caso studio migliore è rappresentato da Oulx e quello sfavorito da Bruzolo. L'ordine completo di preferenza è composto, partendo dal favorito, come segue: Oulx, Rueglio, Ala di Stura, Novalesa, Perosa Argentina, Almese, Salbertrand e Bruzolo.

Rispetto all'analisi GAIA, si hanno il migliore ed il peggiore caso studio sopra citati, si noti che non sono differenti da quelli emersi dal caso del gruppo A.
Si può notare come l'area sottesa al caso di Oulx sia maggiore di quella del caso di Bruzolo. Inoltre, sul grafico (*Figura 33*) è riportata la circonferenza in verde con il valore di flusso netto, pari a ϕ=0.3165, mentre in (*Figura 34*) il valore di flusso, pari a ϕ=-0.378, è riportato in rosso in quanto presenta il segno negativo.

6.2 Discussione dei risultati

6.2.1 Confronto gruppo A e gruppo B

Osservando i risultati ottenuti in seguito all'analisi effettuata nel caso A e B, si possono notare alcune differenze. Nel grafico seguente si evidenziano le differenze nell'ordine finale fornito dai due casi analizzati.

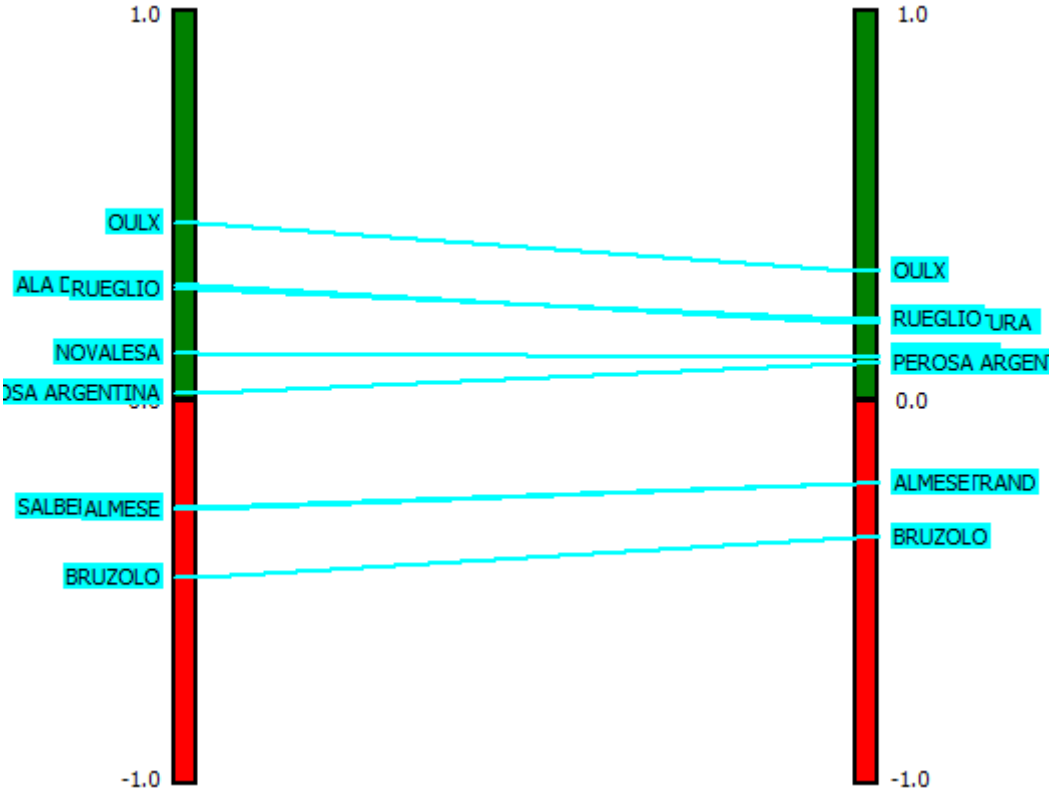

Figura 35. Confronto flussi netti casi A e B.

In particolare, valutando l'ordine di preferenza, si ha che per entrambi i casi al primo posto si trova Oulx. Nella posizione successiva nel caso A si hanno Ala di Stura e successivamente Rueglio, mentre

per il caso B i due progetti sono invertiti. In entrambe le circostanze tuttavia, i due casi studio si trovano vicini, con una differenza di flusso netto pari a 0,0148 nel primo caso e di 0,0079 nel secondo[38]. In quarta e quinta posizione vi sono in entrambe le situazioni Novalesa e Perosa Argentina. Si trova nuovamente un'inversione di posizioni per Salbertrand ed Almese, i quali sono separati di solo 0,0092 nel caso A e di addirittura 0,0003 nel caso B. In conclusione, il caso studio di Bruzolo è in ultima posizione per entrambi.

Per quanto riguarda i flussi netti si ha che, sia per i risultati del caso A sia per quelli del caso B, sono presenti tre flussi netti negativi, riguardanti i casi studio di Almese, Salbertrand e Bruzolo. Questi sono dunque le alternative sfavorite, secondo quanto emerso dai dati.
In generale inoltre, i flussi netti calcolati per il caso A risultano essere molto più distanziati rispetto a quelli del caso B. Infatti, nel primo caso si ha un intervallo pari a $\phi \in$ [-0,4871 , +0,4433], mentre nel secondo caso si ha $\phi \in$ [-0,3780 , 0,3165]. Questo è dovuto ad una differente attribuzione dei pesi ai criteri. Per questo motivo nel caso A il sistema energetico proposto per Oulx risulta essere fortemente favorito rispetto alle altre alternative proposte.

6.2.2 Sensibilità del sistema

Le differenze che intercorrono nei due casi precedenti, relativi ai risultati per il gruppo A e quelli per il gruppo B, sono dettate dai differenti pesi che sono stati affidati ai criteri. Infatti, sia le alternative dei casi studio, sia i dati relativi ai criteri selezionati, sono gli stessi in entrambi i sistemi.

Al fine di indagare al meglio come i differenti pesi influiscano all'interno dell'analisi è stato creato un terzo sistema, comprendente anch'esso le otto alternative ed i medesimi criteri. In questo terzo sistema però sono stati mantenuti pesi uguali per tutti i criteri, cioè senza esprimere alcuna preferenza in merito ad essi.

Nel caso in cui sono stati attribuiti i medesimi pesi, si sono ottenuti i seguenti risultati.

Intervento	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
Oulx	0,5865	0,2105	0,3759
Novalesa	0,4286	0,3534	0,0752
Salbertrand	0,2256	0,5263	-0,3008
Bruzolo	0,203	0,5865	-0,3835
Almese	0,3083	0,4962	-0,188
Perosa Argentina	0,4361	0,3985	0,0376
Ala di Stura	0,4962	0,2782	0,218
Rueglio	0,4662	0,3008	0,1654

Tabella 27. Risultati flussi nel caso di pesi uguali.

Anche in questo caso si forniscono i grafici con le alternative ordinate secondo i flussi uscenti ed entranti ed il flusso netto.

[38] Entrambi i valori sono presi in valore assoluto.

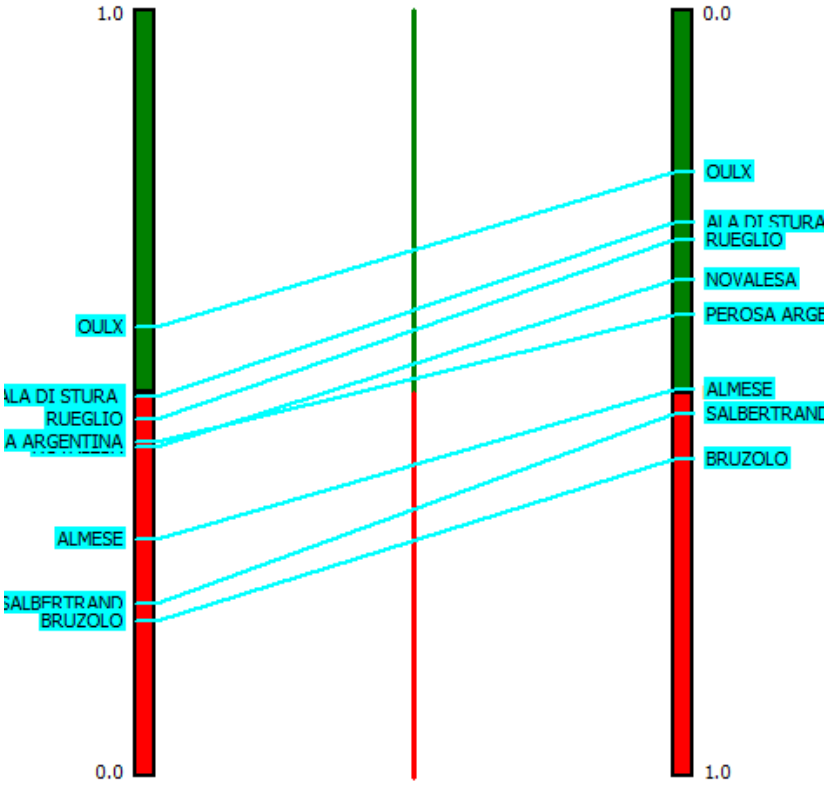

Figura 36.Rappresentazione grafica flussi uscenti (sinistra) ed entranti (destra), per caso di pesi uguali.

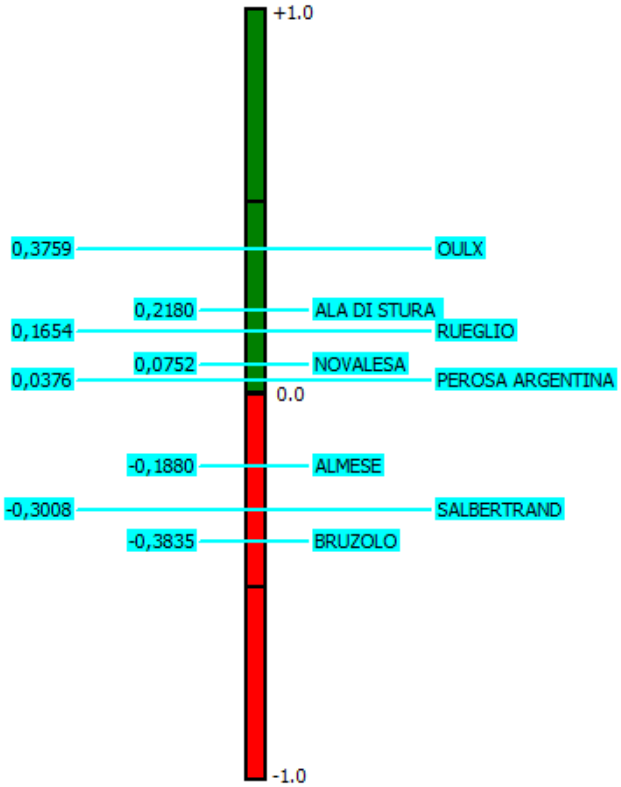

Figura 37.Rappresentazione grafica flusso netto, per caso di pesi uguali.

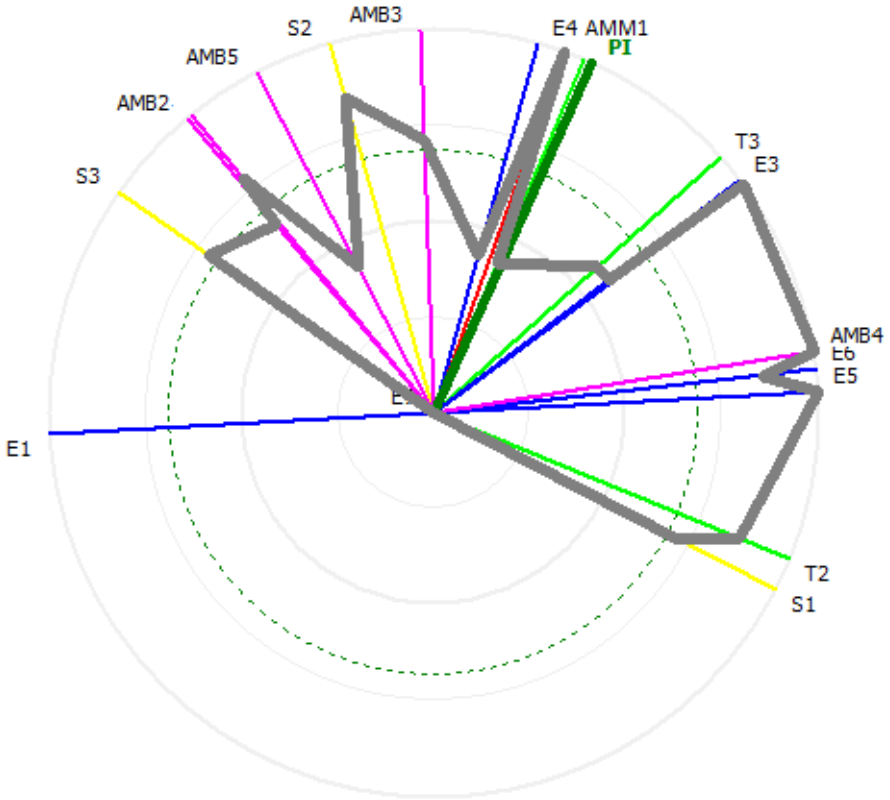

Figura 38. Grafico GAIA per il caso Oulx, per pesi uguali.

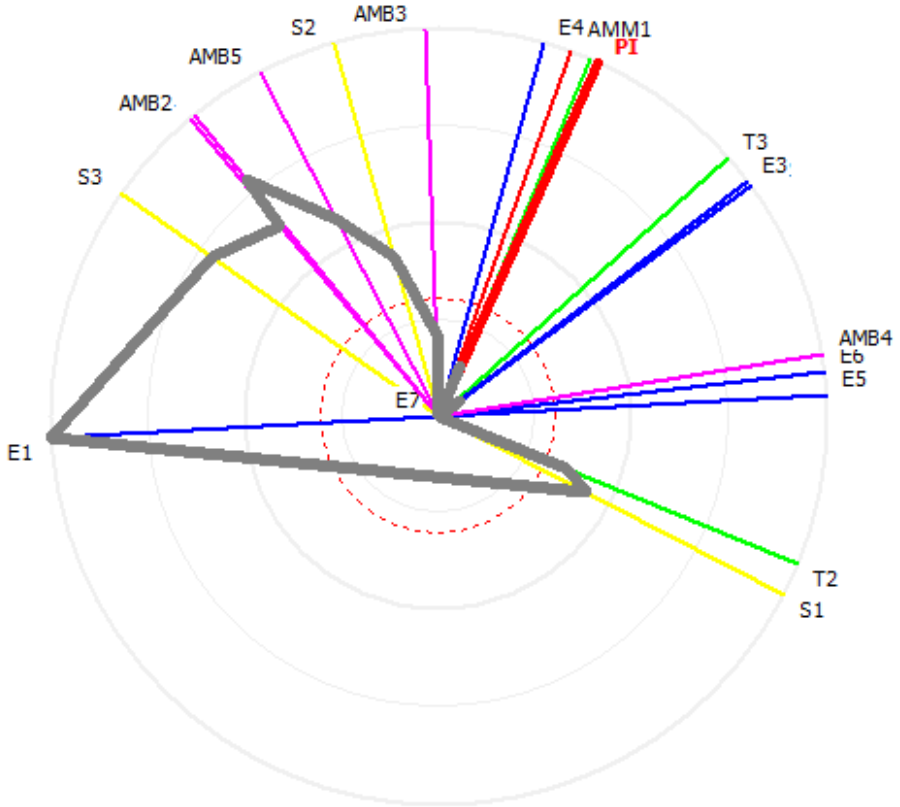

Figura 39. Grafico GAIA per il caso Bruzolo, per pesi uguali.

Da tale analisi emerge l'ordine delle alternative, con partenza dal miglior caso studio, ottenuto: Oulx, Ala di Stura, Rueglio, Novalesa, Perosa Argentina, Almese, Salbertrand e Bruzolo.

A questo punto si fornisce una comparazione sui flussi netti per i tre casi analizzati, come riportato di seguito.

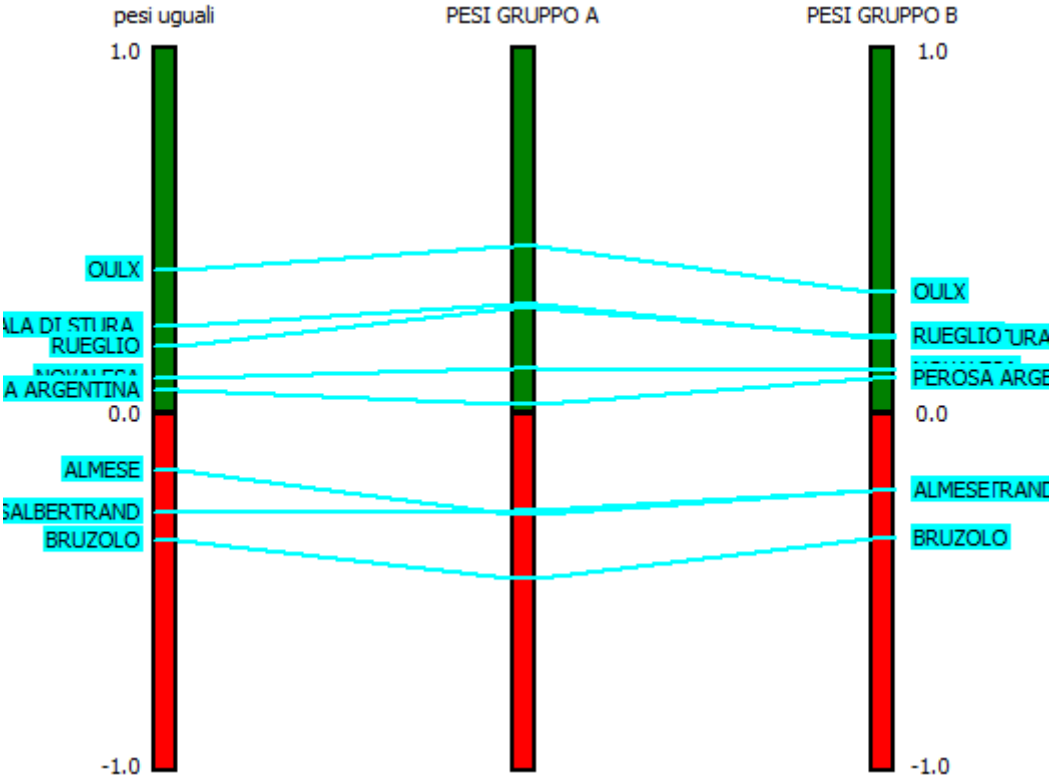

Figura 40. Confronto flussi netti casi di A, di B e di pesi uguali.

In generale si può affermare che l'alternativa migliore risulta essere Oulx in tutti e tre i casi. Per quanto concerne la seconda e la terza posizione, il caso in cui si sono attribuiti pesi uguali ai criteri, risulta essere affine al caso A. Viceversa per le posizioni 6 e 7, presenta un ordine uguale al caso B. In tutti e tre i casi Novalesa e Perosa Argentina si mantengono stabili nelle posizioni di preferenza 4 e 5. Mentre le alternative sfavorite rimangono Almese, Salbertrand e Bruzolo, che presentano valori di flusso netto negativi.

Si può inoltre notare dal grafico (*Figura 40*), la differente ampiezza dell'intervallo di flusso netto. In particolare, questa è massima nel caso A, con un valore pari a 0,9304, successivamente si ha un valore pari a 0,7594 nel caso in cui si mantengano i pesi uguali, mentre nel caso B vale 0,6945. Quest'ultimo appare come l'intervallo minore e si può notare che le alternative, in questo caso, sono molto ravvicinate tra loro. Questo va a discapito della robustezza del sistema, rendendolo più sensibile alle perturbazioni. Il caso A invece è quello che presenta le alternative maggiormente distanziate in termini di preferenza, risulta dunque come in caso più incisivo. Infatti, un punto su cui occorre focalizzare l'attenzione è la distanza di due successivi casi studio. Se si indaga la minima distanza tra due alternative, si riscontra che nel caso A tra Ala di Stura e Rueglio è pari a 0,0148, mentre per il caso dei pesi uguali, tra Novalesa e Perosa argentina si ha un valore pari a 0,0376. I due valori risultano essere dunque abbastanza simili. Nel caso B invece, si ha una notevole differenza

rispetto ai due casi precedenti. In quest'ultimo caso la minima distanza si ha tra Almese e Salbertrand. Infatti, nell'intervallo considerato questa è pari a 0,0003, ovvero Almese è debolmente favorito rispetto a Salbertrand. Tale valore è di ben due ordini di grandezza inferiore rispetto ai casi precedenti.

In generale comunque tra i tre casi analizzati non vi sono differenze sostanziali. Questo conferma dunque la stabilità del sistema creato, apportando robustezza ai risultati ottenuti.

Capitolo 7

Conclusioni

7.1 Conclusioni

Dai risultati ottenuti a seguito del lavoro di tesi proposto, si è riusciti ad individuare un ordine completo per la scelta dei casi studio più opportuni da realizzare nella zona della Valle di Susa.

In particolare, in base all'analisi nell'ambito dei differenti criteri, si è delineato come miglior progetto quello ipotizzato nella zona di Oulx. Tutte le alternative proposte sono state analizzate sulla base dei riscontri forniti dai due gruppi, che rappresentavano due diverse tipologie di azione. Nello specifico, il gruppo A ha proceduto rappresentando il punto di vista di un cittadino esperto che si trovi ad investire su un progetto di questo tipo; mentre il gruppo B ha ragionato in un'ottica maggiormente energetica e procedurale, ovvero tenendo conto dell'importanza dei passaggi successivi che sono necessari alla progettazione dell'impianto. Il progetto di Oulx risulta dunque essere preferibile rispetto agli altri secondo entrambi i processi di ragionamento proposti.

In generale in base ai criteri analizzati per Oulx è possibile delineare un grafico come quello seguente (*Figura 41*).

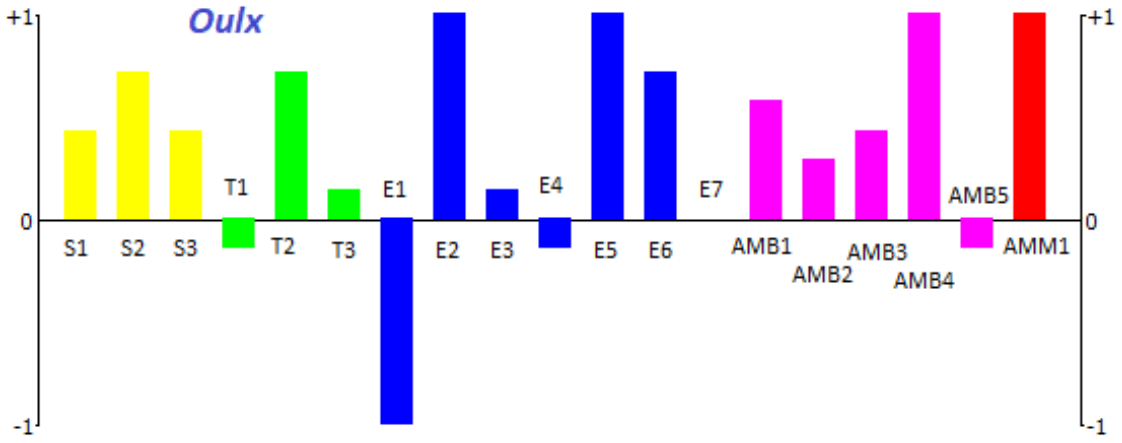

Figura 41. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Oulx, esempio caso B.

La figura delinea la risposta del caso studio nei differenti ambiti selezionati; ricordando che i valori di flusso vengono stabiliti in relazione alle alternative proposte. Si noti in particolare che Oulx presenta risultati positivi in quasi tutti gli ambiti considerati, ad eccezione del *costo iniziale di investimento* (E1), che incide negativamente essendo un progetto di portata maggiore rispetto agli altri. Si sottolinea in ultimo che la figura successiva è relativa ai risultati del caso B, tuttavia, il grafico in questione misura solo la risposta del sistema relativamente ai criteri e non dipende perciò dai pesi assegnati; risulta dunque essere uguale anche per il caso A, ad eccezione dei criteri *numero di utenti* (S1), *incremento efficienza impianto* (T1), *disponibilità risorsa primaria* (T3) e *durata della concessione* (E7), che in questo caso non compaiono.

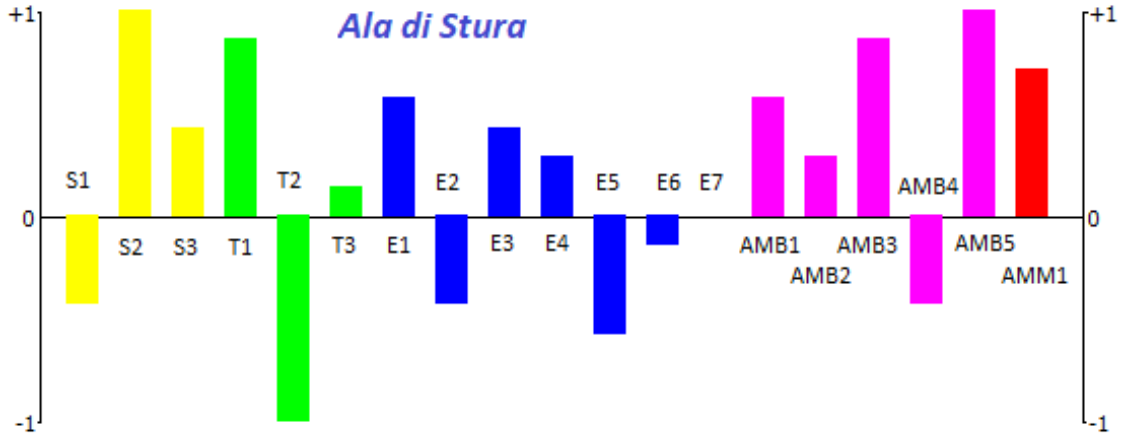

Figura 42. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Ala di Stura, esempio caso B.

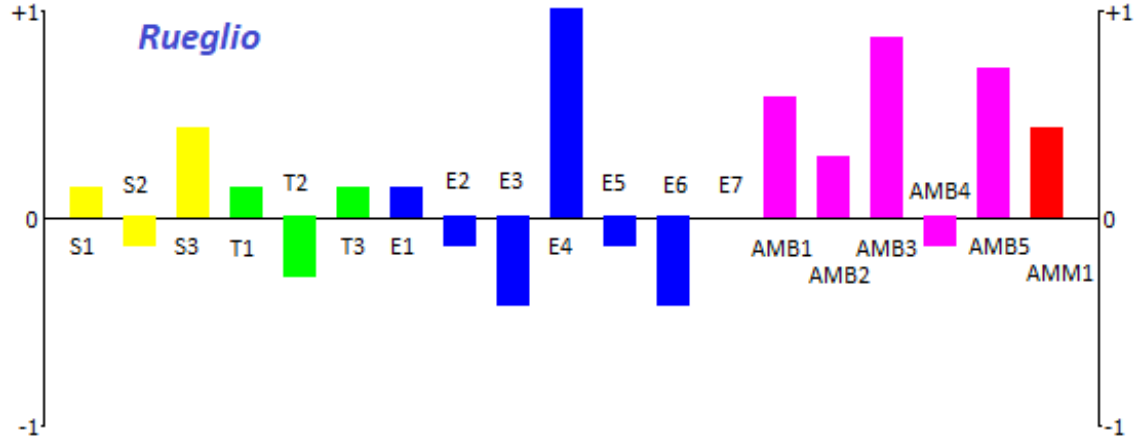

Figura 43. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Rueglio, esempio caso B.

Successivamente si evidenziano tra i casi favoriti Ala di Stura (*Figura 42*) e Rueglio (*Figura 43*). Il primo eccelle tra i progetti analizzati rispetto a molti criteri, ma è fortemente sfavorito in altri. Il secondo invece non ha preferenze così nette, sia in positivo sia in negativo. Per questo motivo in questi due casi i pesi affidati a ciascun criterio ricoprono un ruolo importante. Infatti, l'ordine di preferenza tra i due varia, anche se non di molto, a seconda dell'impiego dei pesi del gruppo A o del gruppo B.

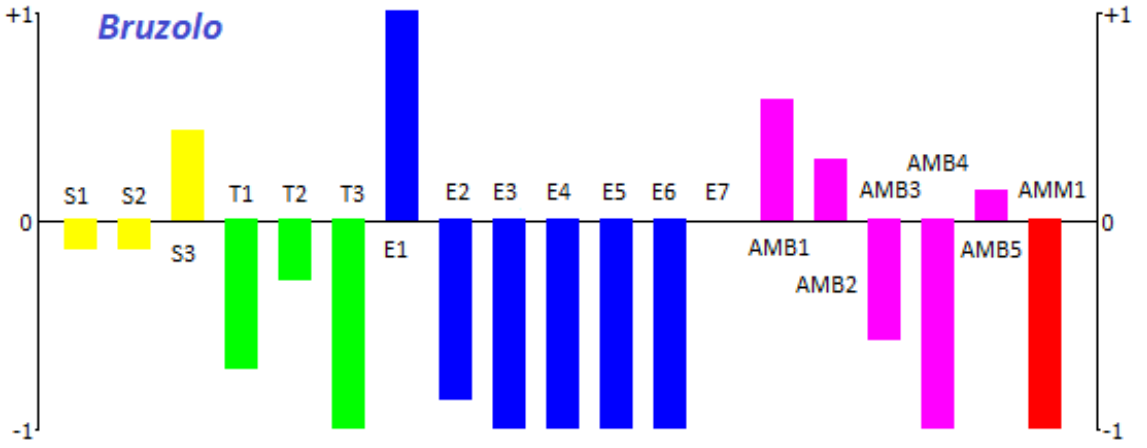

Figura 44. Flusso netto relativo a ciascun criterio nel caso di Bruzolo, esempio caso B.

In ultimo è fornito il caso di Bruzolo che risulta essere di molto svantaggiato rispetto alle alternative proposte. Tale comportamento era prevedibile in quanto il caso studio riguarda un piccolo intervento per il quale non sono per il momento previsti incentivi, dunque risulta essere sfavorito nella maggior parte dei criteri economici, come si può notare dalla figura sopra riportata (*Figura 44*).

Relativamente al processo metodologico intrapreso, all'interno della prima parte[39], sono state rilevate delle difficoltà in merito alla raccolta dati; queste sono dovute principalmente ad uno scarso interesse dei soggetti individuati, che hanno portato all'eliminazione di alcuni progetti inizialmente presi in considerazione. Ciononostante, sono state ricevute molte proposte spontanee di adesione al progetto SCORE, in linea con il concetto di comunità energetiche autonome. Un simile risultato è da leggere in ottica positiva in relazione agli obiettivi del progetto SCORE, che si prefigge di supportare ed accompagnare la creazione di tali comunità (*3.1.2 Gli obiettivi*).

L'analisi multi-criteriale intrapresa si è rivelata particolarmente adatta ed efficace nella prospettiva di stabilire una priorità di intervento tra i casi studio proposti. Per quanto concerne la parte del procedimento metodologico relativo al confronto tra i casi studio si sono riscontrati notevoli vantaggi.
Nello specifico, all'interno della scelta dei criteri, la fase di preselezione tramite letteratura si è rivelata particolarmente utile al fine di comprendere, tra le altre cose, anche lo stato dell'arte attuale; riuscendo così ad orientare il lavoro nel modo più ottimale possibile.
Inoltre, all'interno dello step numero 3 il gruppo di lavoro costituito in data 29 gennaio 2019, si è rivelato vantaggioso al fine di ottenere dei risultati oggettivi da poter utilizzare, a seguito di una rielaborazione, i quali rispecchiassero le opinioni di esperti esterni al team di ricerca italiano di SCORE. L'impiego della metodologia Playing Card è risultato particolarmente proficuo, in quanto si è stati in grado di gestire in modo intuitivo ed accurato, una problematica altrimenti di difficile soluzione, quale quella dell'assegnazione dei pesi relativi ai criteri. Inoltre, la natura del metodo, improntata al dialogo ed al confronto, ha permesso di arricchire ed analizzare sotto differenti punti di vista numerose sfaccettature dei progetti in questione. Concludendo le considerazioni relative allo step 3 del processo, la decisione di mantenere due differenti approcci (per il gruppo A e per il gruppo B), si è rivelata molto valida in quanto ha permesso di ottenere due prospettive differenti rispetto alla stessa problematica. In questo modo si sono potuti valutare entrambi gli approcci, che hanno aggiunto maggiore completezza alla trattazione.
La fase di elaborazione dei dati, compresa nello step 4 del processo metodologico ha richiesto un approccio di natura più strettamente energetica e progettuale, in quanto si è dovuto rielaborare i dati raccolti in modo da riuscire ad analizzare nel dettaglio i casi studio proposti per la realizzazione.
In ultimo, l'impiego del metodo PROMETHEE ed il relativo software utilizzato hanno permesso di ottenere un ordine completo di priorità di intervento per i casi studio individuati. Tale metodo è risultato essere particolarmente efficace nell'analisi di sistemi complessi come quelli energetici in esame. Nello specifico, il metodo riesce ad aderire in modo efficace alla problematica analizzata, apportando inoltre due vantaggi fondamentali: la valutazione simultanea di criteri sia qualitativi sia quantitativi e l'individuazione di eventuali conflitti.

In generale, l'innovazione del lavoro di tesi proposto, rispetto al panorama attuale, risiede nella differente prospettiva del problema. Nel campo dei sistemi energetici infatti, di solito è presente un unico caso studio per il quale vengono proposti differenti scenari di intervento, con l'impiego di differenti tecnologie. Al progetto in questione si applica quindi un'analisi di tipo multi-criteriale al fine di indagare e stabilire quale sia la tecnologia migliore da sfruttare per portare a termine il

[39] Più specificatamente nello step 2.

progetto. Nella trattazione proposta invece si è adoperato un cambio di prospettiva; infatti la tecnologia da impiegare era stabilita, mentre occorreva indagare quale fosse il miglior progetto per la localizzazione del caso studio. Perciò data la medesima tecnologia, occorreva stabilire quale caso studio ipotetico fosse più indicato per la realizzazione. La tecnologia prescelta è rappresentata dalla biomassa per diverse motivazioni (si veda *3.3 I casi studio identificati*), una delle quali è quella per cui tra le fonti rinnovabili, permette una generazione di energia programmabile e quindi adatta ad essere una base di partenza per le comunità energetiche. Successivamente nel corso del progetto SCORE tale risorsa sarà integrata ed ampliata con altre fonti di tipo rinnovabile.

Un altro elemento distintivo del lavoro proposto è la presenza di un elevato numero di criteri; in genere infatti, si eseguono solamente analisi di carattere socioeconomico, tecnico-economico o economico-ambientale. In questa trattazione invece si sono voluti valutare tutti i possibili ambiti che devono essere presi in considerazione nell'analisi di un sistema energetico, accrescendo la difficoltà della valutazione ma rendendola multidisciplinare.

In conclusione, il modello formulato all'interno di questa trattazione risulta essere, anche alla luce dell'analisi di sensibilità svolta, particolarmente robusto, permettendo di ottenere risultati completi ed affidabili.

7.2 Sviluppi futuri

Il lavoro di tesi proposto fornisce una soluzione accurata alla problematica della valutazione di differenti progetti. La caratteristica di tenere in considerazione all'interno del modello un notevole numero di criteri appartenenti a diversi ambiti fornisce completezza allo studio. Nello specifico i sistemi energetici considerati sono valutati dal punto di vista sociale, tecnico, economico, ambientale ed amministrativo. Inoltre, il modello ottenuto è stabile e perciò resistente alle perturbazioni. La trattazione lascia spazio ad approfondimenti e a maggiori sviluppi futuri.

Il lavoro svolto all'interno del progetto SCORE prevede lo sviluppo e l'avanzamento del progetto. In particolare, è stato presentato Oulx come caso studio più fattibile dal punto di vista delle comunità energetiche ed in un'ottica di sostenibilità, e sono state proposte Ala di Stura e Rueglio come alternative secondarie. A questo punto il progetto prevede l'implementazione dei progetti pilota, anche mediante l'inclusione e l'integrazione dei progetti con fonti secondarie di energia rinnovabile. Si procederà dunque con la concretizzazione dei progetti, delineandone, durante la realizzazione i vantaggi e le eventuali criticità. Tale analisi sarà portata avanti in sinergia con i team di ricerca degli altri stati partecipanti al progetto SCORE, cercando di intervenire in modo congiunto al fine di fornire soluzioni concrete alle criticità rilevate. Specifica attenzione verrà posta nei confronti dei consumatori coinvolti, sul tema dei prosumer e sul quadro normativo vigente.

Per l'avvenire si auspica che, oltre al progetto SCORE, molti altri ne vengano promossi sul tema delle comunità energetiche. Esse pongono le basi per un futuro che abbia come prerogativa la sostenibilità energetica, la quale risulta essere sempre più urgente. Occorre sensibilizzare i cittadini

ad una maggiore consapevolezza energetica che sia legata ai consumi, alla gestione ed all'approvvigionamento. Un modo per cominciare a lavorare in questa direzione è rappresentato proprio dalle comunità energetiche, le quali, attraverso ad un ritorno alla collettività ed all'aggregazione, si delineano come valida alternativa all'interno del panorama attuale.

Appendice 1

Articolo

The role of prosumers in supporting renewable energies sources

Maria Valentina Di Nicoli, Alessia Giacomini, Patrizia Lombardi, Jacopo Toniolo, Sara Torabi Moghadam

Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning (DIST), Polytechnic University of Turin, 39 Viale Mattioli 10125, Turin, Italy

sara.torabi@polito.it

Abstract. Currently, the implementation of the Agenda 2030 and the achievement of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), contributes to global development, promoting human wellbeing and protecting the environment. The present study is a part of an on-going Horizon 2020 project named, Score (Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies), which focuses especially on sustainable cities' and communities' developments goal. Particularly, this project aims at overcoming usage of energy from fossil sources in favor of renewable sources; this is done in order to increase the energy efficiency and to reduce the energy consumption. In this framework, the main goal of the present study is to select and rank the relevant evaluation criteria with the aim at building an evaluative matrix, which later makes possible to analyze the feasibility of the different case studies that has been identified over the project. The criteria were pre-selected through literature reviews, while the final selection took place by organizing a specific working group composed by real stakeholders. The role of the working group was fundamental for two aspects: (i) select and rank the set of relevant evaluation criteria; (ii) associate the weight of each evaluation criteria. The playing card method is employed in order to define two different sets of criteria weights: the first one related to the opinions of energy experts and the second one related to the ones of evaluation experts.

Introduction

In the current context, the implementation of the Agenda 2030 and the achievement of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), contributes to global development, promoting human wellbeing and protecting the environment. In this framework, the on-going Horizon 2020 project, named "SCORE" (Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies), is focused mainly on the goal 11-sustainable cities and communities. Specifically, "SCORE" aims at overcoming the usage of energy coming from fossil sources by taking advantage of energy from renewable sources in order to increase energy efficiency and to reduce energy consumption. In addition, the project lends attention to the dynamics that allow or not the birth of the specific communities, analyzing the role of citizens. The intention is to shift the attention from the individual to the community, and consequently, from the consumer to the prosumers. The term "prosumer" is the synthesis of two words: "producer" and "consumer" and indicates an individual strongly independent from the classical economy. In fact, a prosumer is a user with a more active role in the phases of production, distribution and consumption of energy, and for which monitoring, energy saving and accumulation take on an ever-increasing significance. This leads to numerous prosumers of renewable energy (first of all taking advantage of photovoltaic) and the concept of "self-produced energy sharing" is spreading, directing the market towards the decentralized, more democratic and efficient model; a new way of producing and distributing energy near to consumption places is emerging. From this, it is clear that

another purpose of "SCORE" project is encouraging the consumer to play an active role, contributing himself to the production of energy in the community. Therefore, the identification of segments of the population that are interested or would like to be part of the project, but do not have the possibility (for different reasons such as economic, social), is the core of the research. The project implements these communities in the three pilot regions: Italy, Poland and Czech Republic. These pilot projects are at the core of "SCORE" as they have to demonstrate the practical feasibility of optimized joint prosumer investments with local municipalities. In particular, the present study aims to identify the evaluation criteria and determine the respective weights in order to perform, subsequently, the feasibility analysis among different Italian pilot case studies (Susa Valley, in Piedmont region). The definition of the evaluation criteria is an important phase because it allows to analyze and compare different projects; thus, evaluating the preferences of different stakeholders. This allows to support the choice of the best project through an analysis of a complex system in which different aspects (social, technical, economic, environmental and administrative) are assessed. The paper is divided as follows. Section 2 describes the methodology where the evaluation criteria for the study case are described. Section 3, the results will be discussed in detail. The paper lasts giving a few perspectives for the current work (Section 4).

Methodology and material

This section illustrates the methodology employed to create a hierarchy rank among the different selected criteria, which will analyze the pilot projects, according to a convenience and feasibility priority. In this way, a selection process is defined, and it consists of five phases. The process begins with the detection of the case study (diagnosis phase) and continues with the selection of the evaluation criteria, taking into account the stakeholders' objectives and preferences. This last part is started from the pre-selection step and ended by the final selection of a set of criteria. The selection process has been carried out in the following order as shown in Figure 45.

Figure 45. The steps of the selection process

As mentioned above, the main output of the present work is to later perform the feasibility analysis of different Italian case studies. For this purpose, after having collected and elaborated all the needed information and data, the decision criteria need to be carefully identified and selected in order to rank the feasibility study.

Diagnosis

The first step concerns the identification of the different case studies pilots in an Italian selected territory: the Susa Valley. Specifically, case studies pilots are characterized based on inefficient and polluting heating plants system, fuelled by diesel or natural gas. The goal for this project is to propose new plant systems, mainly related to the connection of multiple buildings (mostly public) to a district heating network supplied by biomass. In fact, this leads to overcome the use of energy from fossil sources in favour of the use of wood chip, coming from the local territory in a controlled and certified perspective of sustainable development.
Table **28** illustrates different case studies indicating of the existing heating system and the planned one.

Table 28: List of the Italian case studies

N°	Case study	Existing conventional energy sources for heating	Planned RES sources project
1	Oulx	Oil and natural gas boiler	District heating network (biomass)
2	Novalesa	Oil and natural gas boiler	District heating network (biomass)
3	Salbertrand	Natural gas boiler	Biomass plant
4	Bruzolo	Natural gas boiler	Biomass plant
5	Almese	Natural gas boiler	District heating network (biomass) and centralized solar thermal collectors

6	Perosa Argentina	District heating network (natural gas)	District heating network (biomass)
7	Ala di Stura	Oil boiler	District heating network (biomass)
8	Rueglio	Oil boiler	District heating network (biomass)
9	Caprie	Biomass plant	New biomass plant and solar thermal collectors
10	Villardora	Natural gas boiler	District heating network (biomass) and solar thermal collectors

Pre-selection

The selection process of the criteria begins with this phase. The different criteria are important to identify the most feasible and sustainable project, not only from a technical and economic point of view, but also considering environmental, social and administrative aspects.

The pre-selection step is based primary on two aspects. The first aspect is an existing literature, specially, according to [1], [2], [3] and [4]; these studies showed that the efficiency, investment cost, operation and maintenance cost, NO_x emission, CO_2 emission, land use, social acceptability, and job creation are the most widely used evaluation criteria in energy planning purposes. The second aspect is setting up five internal teamwork discussions with different expertise in energy engineering, multicriteria analyst, plant system designer and socio-energetic planner. Considering both above-mentioned aspects, we have classified the criteria into five main categories, so called environmental, economic, technical, social and administrative [5], [4]. Afterward, we built up the first repository of criteria by considering the high frequency used evaluation criteria in the literature [1], and especially, the criteria which should be affected by energy retrofitting measures. Moreover, we modified the set of criteria through five internal teamwork meetings and based on the real particularities (see Table 2).

Table 2: Description of the considered pre-selected criteria for "SCORE" project.

	Criteria	Description	Unit
Environmental	Environmental constraints	Environmental restrictions (park or protected area) and constraints such hydrogeological, seismic, etc.	-
	Land use	Surface occupied by the plant.	m^2
	Primary energy saving	Primary energy that would be saved if the new plant was built (it is linked to the renewable nature of the investment and to the interventions on the building envelope).	$kWh_{primary\ energy}$
	Global emissions CO_2	Reduction of CO_2 emissions guaranteed by the project plant compared to the current one	kg
	Local emissions NO_X, PM_{10}	Reduction of NO_X and PM_{10} emissions guaranteed by the project plant compared to the current one.	kg
Economic	Payback period (PBP)	Time in which negative and positive cash flows are equal. It represents the moment after which the expenses are amortized and there is the actual gain.	years
	Investment cost	investment costs related to refurbishment of the building (efficiency investment) and/or new heating system (infrastructure investment).	euro
	Public incentives	Percentage of savings linked to the share of investment cost covered by administrative incentives	%
	Savings on energy expenditure	Savings on annual expenditure	euro/year
	Economic impact - installation	Money that remains on the territory because of installation.	euro
	Economic impact – operation and maintenance	Money that remains on the territory because of operation and maintenance.	euro/year
Tech nical	The increase of plant system efficiency	The increase in the efficiency of the new system plant compared to the existing one.	%

	Operational difficulty of installation	Presence of physical constraints or impediments that make difficult the installation of the system. It takes into account difficulties related to the size of the components or particular work for a buried plant, etc.	-
Social	Number of users	Number of people who use the structure.	-
	Ownership	The property of the building can be public, private or mixed. Depending on the ownership, it may be more or less easy to obtain consent to proceed with the refurbishments work.	-
	Architectural impact	The visual and architectural impact of refurbishments in the existing built environment.	-
Admini strative	Interest of public administration and opportunities	Level of interest project and participation for the project. Opportunities are linked to the proximity of the elections, historical situation, citizens' interest, etc.	-

Data collection

The data on the 10 case studies pilots (municipalities) in the Susa Valley is collected through two pre-defined questionnaires provided by project partners.

The first survey regards the investments identification of renewable energy sources and it is composed by five parts. The first part identifies the building characteristics (building ownership, building construction year, year of the last refurbishment, gas/energy/heat and DHW distribution system operator, average of gas/energy/heat and DHW expenses, the total number of dwellings or offices, the total official number of inhabitants/employees, number of floor, total usable area and total roof area). In the second part, the existing conventional energy sources or external supplier is investigated (type of energy sources, installed power or purchased power if the district network is present). The third part identifies the existing renewable energy sources (type of energy sources, installed power and active surface if PV and solar thermal panels are present). In the fourth part, the planned renewable energy sources are investigated (type of energy sources, installed power and active surface if PV and solar thermal panels are present). Finally, the fifth part identifies the planned structured of financial sources for the renewable energy sources investment (type of financial sources and percentage of overall costs).

The second survey regards the energy costs and tariffs for the actual situation, for the use of non-renewable energy sources. In this questionnaire the average consumption fee [€/GJ] (annual consumption [GJ] and historical data (from 2013 to 2017) for oil and natural gas cost [€/GJ]) and the average fixed fee [€/month]. According to the data collected through these two surveys, it was possible to fill in the matrix containing the criteria identified in the pre-selection phase.

Feedback

The final list of the criteria was established through a workshop including stakeholders and experts. In this workshop, the author played a role of analyst who aids DMs in making their decision without expressing any personal preferences [6]. The formed workshop was related to the rank and feasibility of the different evaluation. The first half day workshop was set up on 29th January 2019 at Politecnico di Torino, Turin (Italy). As said above, the purpose of the workshop was to select and rank the most important criteria to further assess the feasibility analysis of different pilot case studies. Initially, an official email has been sent to the stakeholders, introducing them the material and the structure of workshop and their role. During this first contact, the aims of the workshop were explained to each individual stakeholder. The invited stakeholders included in two main backgrounds: energy engineers and plant system designers and the multicriteria experts.

Final selection

To define the importance of the criteria during this research project, it was decided to use the “Playing Cards” method, which is a semi-structured participative procedure proposed by Simos [7]. The “Playing Cards” method is appropriate to support group discussions; this is one of the important reasons why it has been chosen. In fact, one of his specific aims is to stimulate the discussion between different stakeholders, that have been chosen with different background in order to have a constructive dialog. The methodology helps

the stakeholders to express the way in which they wish to rank the different criteria in a specific context. This method, in fact, is very easy to use and it consists in associating a "card" with each criterion. Moreover, the stakeholders have a set of "white cards" available, the use of which depends on specific needs. The application of the procedure is very simple: (i) the stakeholders are asked to order the "cards" according to the importance of the criteria (from the last important to the most important one) providing a complete pre-order. If some criteria have the same importance, the stakeholders should build an appropriate subset of cards holding them together; (ii) according to the fact that the importance of two successive criteria in the ranking can be more or less close, the stakeholders are asked to insert as many "white cards" as much is the distance between two successive criteria, providing a final ranking of the importance; (iii) the final ranking of criteria is transformed into weights according to Simos' algorithms [7].

Results

The work done by the workshop has been organized in two main steps according to the following structure: (i) first, the authors who played the role of moderator and analyst provided to the stakeholders a set of colored cards in which were written the pre-selected criteria (Table 2). The analyst asked them to discuss the importance of each criteria to select and rank them. (ii) Secondly, the main task was to insert the white cards to define the level of importance of each ranked criterion. In this way the stakeholders determine the weights of each criterion.

During the workshop, the stakeholders were divided into two main groups of work according their backgrounds and interests: evaluation experts and energy experts. The analyst asked to each group of stakeholders to select their preferred criteria and to rank the criteria according to their importance. When the stakeholders desired to give the same importance to a sub-set of criteria, they could clip them together [7]. Afterward, the analyst provided a number of white cards for the purpose of inserting them between two consecutive cards [7]. The number of white cards inserted follows the Table below (Table 3):

Table 3: Description of the meaning of the white cards.

Number of with cards	Importance
0	two following criteria do not have the same weights, but there is a minimal difference
1	two times the minimal difference
2	three times the minimal difference
N	n+1 times the minimal difference

Finally, the two performed ranks were illustrated in a plenary session and each group of stakeholders explained the reasons of their selection. According to the Simos' algorithm, the final ranking of criteria was then converted into weights of criteria (Table 4 and 5).

Table 4: Final results coming from the Playing Cards method – energy experts

Rank	Subset of Ex-Equo	Number of Cards	Positions*	Non-Normalize weights	Normalized Weights	Total**
1	Architectural impact, land use, number of users	3	1, 2, 3	2	0.97	2.91
2	White card	1	[4]	-	-	-
3	Economic impact – operation and maintenance, economic impact – installation	2	5, 6	5.5	2.67	5.34
4	Local emissions, global emissions CO_2, primary energy saving, increase of plant system efficiency	4	7, 8, 9, 10	8.5	4.13	16.50

5	Interest of public administration and opportunities, ownership	2	11, 12	11.5	5.58	11.17
6	Investment cost, public incentives, savings on energy expenditure	3	13, 14, 15	14	6.8	20.39
7	Payback period (PBP), duration of the intervention contract***	2	16, 17	16.5	8.01	16.02
8	Environmental constraints, availability of primary resource****, operational difficulty of installation	3	18, 19, 20	19	9.22	27.67
SUM		**20**	**206**			**100**

*This sum does not include the positions of the white cards (in brackets).
** The total column reports the normalized weights multiplied for the number of cards of each position.
*** This criterion has been record between the economic aspects by the energy experts.
**** This criterion has been record between the technical aspects by the energy experts.

Table 5: Final results coming from the Playing Cards method - evaluation experts

Rank	Subset of Ex-Equo	Number of Cards	Positions*	Non-Normalize weights	Normalized Weights	Total**
1	Environmental constraints, land use	2	1, 2	1.5	0.84	1.68
2	Architectural impact	1	3	3	1.68	1.68
3	White card	2	[4, 5]	-	-	-
4	Economic impact – installation	1	6	6	3.35	3.35
5	Operational difficulty of installation	1	7	7	3.91	3.91
6	White card	1	[8]	-	-	-
7	Investment cost	1	9	9	5.03	5.03
8	Economic impact – operation and maintenance	1	10	10	5.59	5.59
9	Savings on energy expenditure	1	11	11	6.15	6.15
10	White card	2	[12, 13]	-	-	-
11	Payback period (PBP), public incentives	2	14, 15	14.5	8.10	16.20
12	White card	1	[16]	-	-	-
13	Ownership	1	17	17	9.5	9.5
14	Interest of public administration and opportunities	1	18	18	10.06	10.06
15	White card	2	[19, 20]	-	-	-
16	Primary energy saving	1	21	21	11.73	11.73
17	Global emissions CO_2, local emissions	2	22, 23	22.5	12.57	25.14
SUM		**23**	**179**			**100**

*This sum does not include the positions of the white cards (in brackets).
** The total column reports the normalized weights multiplied for the number of cards of each position.

As it is shown in Tables 4 and 5, some of the initially considered criteria (Table 2) have been removed or added from the stakeholders during the discussion. In detail, the energy experts have considered the technical process in terms of technical aspects. They stated that if some criteria such as environmental constraints, "availability of primary resource" and "operational difficulty of installation" were not meet the targets the project is not able to proceed. Therefore, they ranked the criteria according to their technical process importance. This group added two main criteria into the final rank, which are "availability of primary resource" (technical category) and "duration of the intervention contract" (economic category).
The second rank (Table 5) demonstrates the selected criteria by evaluation experts. In particular, this group have removed two aspects "number of users" and "increase of plant system efficiency" since they believed

that these criteria were redundant, the first one with respect to the "interest of public administration and opportunities" and the second one respect to the "primary energy saving". Instead, the criterion "emissions" has been first considered as a fundamental one.
It is notable to say that even if the literature suggests taking into account the social criteria [1], the practice neglects this important evidence. Probably one of the reasons why the social aspects are partially ignored such as "Architectural impact" is due to their complex and qualitative approach of assessment. Similarly, the "land use" has been considered not essential from the stakeholders involved. On the contrary, the economic and environmental aspects are considered much more significant. Particularly, the "local and global emissions" have been generally considered as crucial.
The two rank of evaluation criteria and their relative weights will be further integrated with the PROMOTHEE method, which is an outranking Multi Criteria Analysis (MCA) in order to rank a feasibility analysis of ten case studies pilots.

Conclusions and future developments

This study has demonstrated how the evaluation criteria have been selected and ranked through a workshop attended by experts in energy and evaluation experts. The selected criteria will be used later to analyze the feasibility of different Italian case study within the Score project. The two groups of experts worked in a parallel way to define the relevant criteria. For this purpose, the playing cards method has been employed; the latter allowed stakeholders to order the criteria in a very intuitive way from the least important to the most important one. Consequently, from the subsequent application of the playing cards, which applies the Simos' algorithm [7], it was possible to obtain the weights associated to each criterion. In this way, two different sets of ranks and weights were obtained. It was decided not to aggregate the two results in order to have two different stakeholders' point of view. One of the interesting future developments is the use of PROMETHEE method to analyze the feasibility of different case studies pilot taking into account the criteria weights defined by this study. This will allow defining the most convenient pilot project in a sustainable perspective.

Acknowledgments

This research project has been financially supported by the H20220 project, entitled Supporting Consumer Co-Ownership in Renewable Energies — SCORE'-Grant Agreement number: 784960- SCORE-H2020-EE-2016-2017/H2020-EE-2017-CSA-PPI.

References

[1] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9. pp. 2263–2278, 2009.
[2] E. Strantzali and K. Aravossis, "Decision making in renewable energy investments: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 885–898, 2016.
[3] P. Lombardi, F. Abastante, and S. T. Moghadam, "Multicriteria Spatial Decision Support Systems for Future Urban Energy Retrofitting Scenarios," 2017.
[4] P. Lombardi, F. Abastante, and S. T. Moghadam, "Multicriteria Spatial Decision Support Systems for Future Urban Energy Retrofitting Scenarios," *Sustainability*, 2017.
[5] T. Kaya and C. Kahraman, "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul," *Energy*, vol. 35, no. 6, pp. 2517–2527, 2010.
[6] E. Løken, "Multi-Criteria Planning of Local Energy Systems with Multiple Energy Carriers," 2007.
[7] J. Simos, "L'evaluation environnementale: Un processus cognitif negocie. These de doctorat," 1990.
[8] J. Figueira and B. Roy, "Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 139, no. 2, pp. 317–326, 2002.
[9] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, 2009.
[10] C. Becchio, D. Giuseppe, E. Fregonara, N. Milani, C. Quercia, and V. Serra, "The cost-optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in Northern Italy," *Energy Build.*, vol. 127, pp. 590–602, 2016.

Appendice 2

Materiale gruppo di lavoro

Descrizione working group

Il progetto SCORE

Il progetto SCORE "Supporting Consumer co-Ownership in Renewable Energies", è un progetto bandito dall'unione europea in un'ottica di sviluppo sostenibile. Esso rientra nel programma Horizon 2020, il quale ha come obiettivo principale il sostegno alla ricerca ed all'innovazione tecnologica.

In senso lato il progetto mira ad analizzare la fattibilità delle comunità energetiche autonome. Con il termine di "comunità energetiche" si vuole designare un progetto promosso da cittadini, i quali a livello locale, si organizzano in modo autonomo, aggregando produttori e consumatori in materia di energia: l'energia in questione proviene da fonti rinnovabili ed è autoprodotta, distribuita e consumata prescindendo dalla rete nazionale. Questo avviene mediante la collaborazione e lo studio fatto in sinergia con dei team di ricerca provenienti da differenti stati appartenenti all'unione europea. Dei casi studio pratici di SCORE saranno realizzati in Italia, Polonia e Repubblica Cieca, in modo da individuare vantaggi e criticità nella realizzazione dei progetti. Parte fondamentale del progetto sarà la comunicazione ed il lavoro fatto tra i vari team, al fine di evidenziare non solo gli aspetti rilevanti del progetto in sé ma anche le eventuali differenze che possono emergere a seconda dei paesi di installazione.

SCORE si pone inoltre obiettivi specifici quali: facilitare i consumatori a diventare "prosumer" (termine derivante da **pro**ducer e con**sumer**) nel campo delle energie rinnovabili, dimostrare che nella struttura delle comunità energetiche possono rientrare anche piccole imprese o cittadini con basso reddito, ed infine mostrare l'impatto positivo sul comportamento dei consumatori attraverso l'impiego di un sistema partecipato e collettivo.

Il caso studio italiano

Il progetto pilota italiano è localizzato in Val di Susa, provincia di Torino, zona alpina che conta circa 90'000 abitanti. I partner del progetto per quanto riguarda il team italiano sono il Politecnico di Torino, la società cooperativa La Foresta, la società cooperativa sociale Amico, il Consorzio Forestale Alta Valle di Susa.

Nella zona indicata sono stati individuati diversi progetti che possono essere realizzati al fine di ottenere un caso studio reale da cui poter ottenere risultati e trarre considerazioni che saranno

condivise con gli altri team del progetto SCORE. In generale i progetti si prefiggono di sostituire gli impianti esistenti, poco efficienti e parecchio inquinanti, infatti essi attualmente sfruttano gasolio o gas naturale, con sistemi più efficienti alimentati a biomassa, in un'ottica di filiera controllata e certificata e di sviluppo sostenibile. Gli impianti sono prevalentemente legati al riscaldamento di soggetti privati e pubblici. Il team italiano con i vari progetti identificati sul territorio si prefigge di raggiungere circa 1'800 famiglie in modo diretto, ed interessarne oltre 30'000 in modo indiretto attraverso l'inclusione di edifici pubblici.

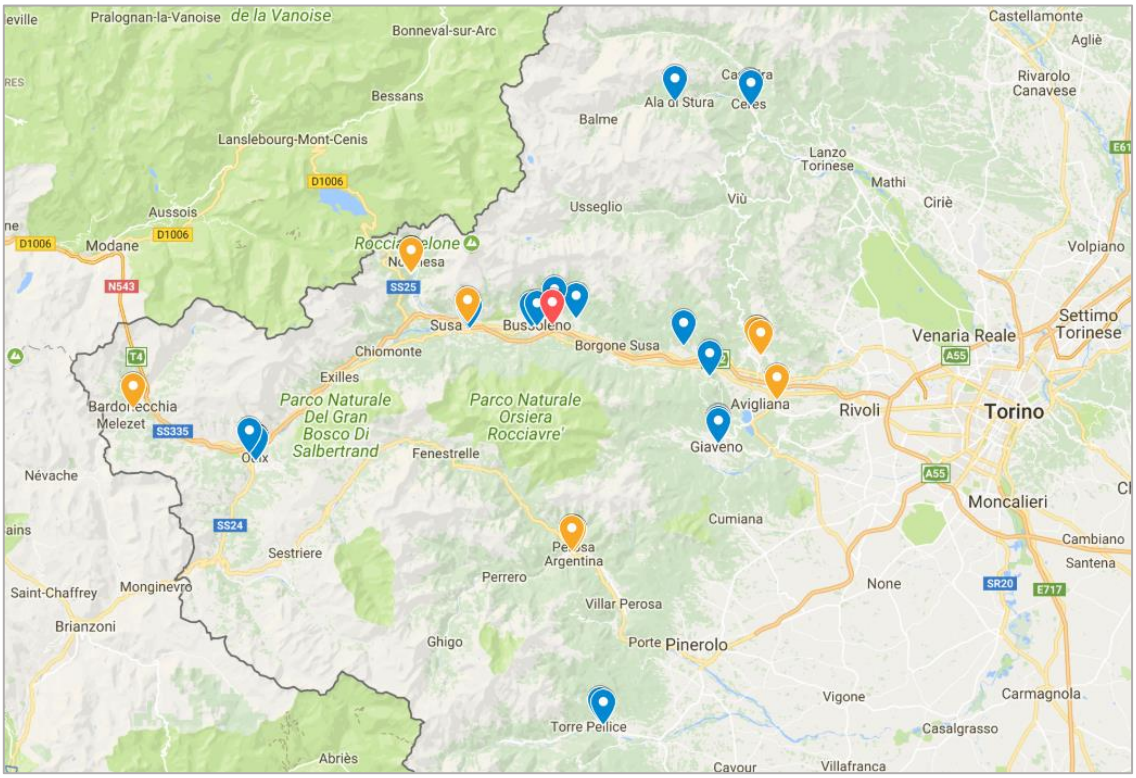

Figura 46. Localizzazione dei progetti individuati.

I progetti identificati sono situati a Oulx, Novalesa, Salbertrand, Bardonecchia, Sauze D'Oulx, Susa, Bussoleno, Chianocco, Bruzzolo, Almese, Buttigliera Alta, Sant'Ambrogio, Giaveno, Torre Pellice, Perosa Argentina, Ceres, Rueglio e Condove.

Individuati i progetti si presenta la necessità di determinare quali tra questi siano i più fattibili e convenienti non solo dal punto di vista tecnico ed economico, non ci si può infatti esimere dagli aspetti ambientali, sociali ed amministrativi.

Il working group

Il problema fondamentale che si presenta nel momento in cui ci si trovi ad analizzare e confrontare numerosi progetti, risiede nella difficoltà di valutare e raffrontare tra di loro differenti aspetti e sfaccettature degli stessi. Essendo presenti una quantità considerevole di parametri, determinati

dalla natura complessa dei progetti, difficilmente il soggetto che si trovi a dover prendere delle decisioni in merito è in grado di tenerli in considerazione tutti allo stesso tempo.

In risposta a tale problematica si è deciso di effettuare un'analisi multi-criteriale, che per definizione nasce con l'obiettivo di fornire un supporto nell'analisi di sistemi complessi che presentino un gran numero di parametri da valutare. La sua struttura multidimensionale, risulta essere particolarmente utile nel campo dell'energia sostenibile, nel quale trova largo impiego.

Sono quindi stati individuati attraverso il confronto con il team e la letteratura i criteri che risultano essere pertinenti e rilevanti al fine di valutare e comparare i progetti indicati. Il working group risulta essere di importanza prioritaria al fine di valutare i differenti criteri e di ordinarli fornendo una scala di priorità. Per perseguire tale obiettivo è stata scelta la metodologia "playing cards", che verrà spiegata nel dettaglio nel corso dell'incontro. Sostanzialmente il working group si prefigge di: verificare che i criteri individuati siano appropriati e rilevanti all'interno dell'analisi, e fornire un supporto di importanza centrale nell'individuare l'ordine di priorità dei suddetti criteri, sia in modo qualitativo sia quantitativo.

Appendice 3

Report Visual PROMETHEE

Visual PROMETHEE Report for matrix_SCORE.vpg

Academic Edition

http://www.promethee-gaia.net

Table of contents

- Problem definition
- Evaluation table
- PROMETHEE
- PROMETHEE V

Problem definition

- Number of actions: 8 (active: 8)
- Number of criteria: 20 (active: 19)
- Number of scenarios: 3 (active: 3)

Actions

Actions

Name	Shortname	Active	Category	Location
OULX	1	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
NOVALESA	2	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
SALBERTRAND	3	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
BRUZOLO	4	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
ALMESE	5	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
PEROSA ARGENTINA	6	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
ALA DI STURA	7	yes	none	Visual PROMETHEE HQ
RUEGLIO	8	yes	none	Visual PROMETHEE HQ

Criteria

Criteria						
Name	**Shortname**	**Active**	**Scale**	**Unit**	**Cluster**	**Group**
numero utenti	S1	yes	numerical	adimensionato	sociale	sociale
impatto architettonico	S2	yes	qualitative	impact	sociale	sociale
proprietà pubblica o privata	S3	yes	numerical	adimensionato	sociale	sociale
incremento efficienza impianto	T1	yes	numerical	%	tecnico	tecnico
difficoltà operativa di installazione	T2	yes	qualitative	adimensionato	tecnico	tecnico
disponibilità di risorsa primaria	T3	yes	qualitative	5-point	tecnico	tecnico
costo iniziale di investimento	E1	yes	numerical	€	economico	none
incentivi pubblici	E2	yes	numerical	%	economico	none
risparmio sulle spese	E3	yes	numerical	€/anno	economico	none
tempo di ritorno dell'investimento	E4	yes	numerical	anni	economico	none
ricaduta economica dell'installazione	E5	yes	numerical	€	economico	none
ricaduta economica esercizio e manutenzione	E6	yes	numerical	€	economico	none
durata della concessione	E7	yes	numerical	anni	economico	none
vincoli ambientali	AMB1	yes	qualitative	5-point	ambientale	ambientale
utilizzo suolo	AMB2	yes	qualitative	5-point	ambientale	ambientale
risparmio energia primaria	AMB3	yes	numerical	adimensionato	ambientale	ambientale
riduzione globale CO2	AMB4	yes	numerical	tonn	ambientale	ambientale
riduzione locale NOx	AMB5	yes	numerical	kg	ambientale	ambientale
riduzione locale PM10	AMB5	no	numerical	kg	ambientale	ambientale
interesse amministrazione ed opportunità	AMM1	yes	qualitative	9-point	amministrativo	amministrativo

Scenarios

Scenarios			
Name	**Shortname**	**Active**	**Coalition**
pesi uguali	UGUALI CRITERI	yes	none
PESI GRUPPO A	A	yes	none
PESI GRUPPO B	B	yes	none

Qualitative scales

y/n

y/n - 2 levels - to Maximize		
Level	no	yes
Value	0	1

impact

impact - 5 levels - to Minimize					
Level	very low	low	moderate	high	very high
Value	1	2	3	4	5

5-point

5-point - 5 levels - to Maximize					
Level	very bad	bad	average	good	very good
Value	1	2	3	4	5

9-point

9-point - 9 levels - to Maximize									
Level	VB	VB-B	B	B-A	A	A-G	G	G-VG	VG
Value	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Evaluation table

Evaluations

	Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	Yes
Active		**S1**	**S2**	**S3**	**T1**	**T2**	**T3**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**
yes	**OULX**	286	2,00	3	11,00	4,00	5,00	1120000,00	45,54	14514,00	12,00
yes	**NOVALESA**	34	3,00	2	20,00	4,00	5,00	500000,00	28,00	276923,00	10,00
yes	**SALBERTRAND**	10	3,00	3	7,00	7,00	5,00	160000,00	28,13	2901,00	14,00
yes	**BRUZOLO**	50	3,00	3	8,00	6,00	3,00	100000,00	0,00	956,00	24,00
yes	**ALMESE**	1192	3,00	2	10,00	4,00	5,00	550000,00	0,00	10971,00	15,00
yes	**PEROSA ARGENTINA**	475	4,00	2	17,00	5,00	5,00	500000,00	37,80	30850,00	11,00
yes	**ALA DI STURA**	40	1,00	3	20,00	8,00	5,00	160000,00	25,63	17538,00	11,00
yes	**RUEGLIO**	60	3,00	3	15,00	6,00	5,00	220000,00	27,27	9536,00	8,00

	Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Active		**E5**	**E6**	**E7**	**AMB1**	**AMB2**	**AMB3**	**AMB4**	**AMB5**	**AMM1**
yes	**OULX**	504000,00	60365,00	20,00	5,00	5,00	0,58	154,00	-9,30	9,00
yes	**NOVALESA**	200000,00	46731,00	20,00	2,00	5,00	0,57	78,10	-5,70	3,00
yes	**SALBERTRAND**	64000,00	22068,00	20,00	4,00	5,00	0,50	19,00	-10,80	4,00
yes	**BRUZOLO**	40000,00	6183,00	20,00	5,00	5,00	0,50	10,40	-7,00	2,00
yes	**ALMESE**	220000,00	53485,00	20,00	3,00	2,00	0,50	91,20	-12,30	4,00
yes	**PEROSA ARGENTINA**	200000,00	69413,00	20,00	4,00	3,00	0,50	135,20	-30,40	5,00
yes	**ALA DI STURA**	64000,00	29596,00	20,00	5,00	5,00	0,70	25,30	-2,00	7,00
yes	**RUEGLIO**	88000,00	26223,00	20,00	5,00	5,00	0,70	43,70	-3,40	6,00

Statistics

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	S1	**S2**	**S3**	**T1**	**T2**	**T3**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**
Minimum	10	1,00	2	7,00	4,00	3,00	100000,00	0,00	956,00	8,00
Maximum	1192	4,00	3	20,00	8,00	5,00	1120000,00	45,54	276923,00	24,00
Average	268	2,75	3	13,50	5,50	4,75	413750,00	24,05	45523,63	13,13
Standard Dev.	381	0,83	0	4,87	1,41	0,66	315631,81	15,22	87890,37	4,59

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	E5	**E6**	**E7**	**AMB1**	**AMB2**	**AMB3**	**AMB4**	**AMB5**	**AMM1**
Minimum	40000,00	6183,00	20,00	2,00	2,00	0,50	10,40	-30,40	2,00
Maximum	504000,00	69413,00	20,00	5,00	5,00	0,70	154,00	-2,00	9,00
Average	172500,00	39258,00	20,00	4,13	4,38	0,57	69,61	-10,11	5,00
Standard Dev.	142259,45	20204,58	0,00	1,05	1,11	0,08	50,82	8,35	2,12

Preference parameters PESI GRUPPO A

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	S1	S2	S3	T1	T2	T3	E1	E2	E3	E4
Min/Max	max	min	max	max	min	max	min	max	max	min
Weight	0,00	1,68	9,50	0,00	3,91	0,00	5,03	8,10	6,15	8,10
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	E5	E6	E7	AMB1	AMB2	AMB3	AMB4	AMB5	AMM1
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	3,35	5,59	1,00	0,84	0,84	11,73	12,57	12,57	10,06
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

Preference parameters PESI GRUPPO B

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	S1	S2	S3	T1	T2	T3	E1	E2	E3	E4
Min/Max	max	min	max	max	min	max	min	max	max	min
Weight	0,97	0,97	5,58	4,13	9,22	9,22	6,80	6,80	6,80	8,01
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	E5	E6	E7	AMB1	AMB2	AMB3	AMB4	AMB5	AMM1
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	2,67	2,67	8,01	9,22	0,97	4,13	4,13	4,13	5,58
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

Preference parameters PESI UGUALI

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	S1	S2	S3	T1	T2	T3	E1	E2	E3	E4
Min/Max	max	min	max	max	min	max	min	max	max	min
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

Active	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	E5	E6	E7	AMB1	AMB2	AMB3	AMB4	AMB5	AMM1
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute

PROMETHEE

Scenario: PESI GRUPPO A (active)			
Actions	**Phi**	**Phi+**	**Phi-**
OULX	0,4433	0,6795	0,2363
ALA DI STURA	0,2834	0,5852	0,3018
RUEGLIO	0,2686	0,5819	0,3133
NOVALESA	0,1015	0,5132	0,4117
PEROSA ARGENTINA	0,0000	0,4445	0,4445
SALBERTRAND	-0,3002	0,2718	0,5721
ALMESE	-0,3094	0,2789	0,5883
BRUZOLO	-0,4871	0,1818	0,6688

Scenario: PESI GRUPPO B (active)			
Actions	**Phi**	**Phi+**	**Phi-**
OULX	0,3165	0,5264	0,2099
RUEGLIO	0,1907	0,4643	0,2736
ALA DI STURA	0,1828	0,4543	0,2715
NOVALESA	0,0934	0,4301	0,3367
PEROSA ARGENTINA	0,0756	0,4224	0,3467
ALMESE	-0,2404	0,2587	0,4990
SALBERTRAND	-0,2407	0,2517	0,4924
BRUZOLO	-0,3780	0,2087	0,5867

Scenario: PESI UGUALI (active)			
Actions	**Phi**	**Phi+**	**Phi-**

OULX	0,3759	0,5865	0,2105
ALA DI STURA	0,2180	0,4962	0,2782
RUEGLIO	0,1654	0,4662	0,3008
NOVALESA	0,0752	0,4286	0,3534
PEROSA ARGENTINA	0,0376	0,4361	0,3985
ALMESE	-0,1880	0,3083	0,4962
SALBERTRAND	-0,3008	0,2256	0,5263
BRUZOLO	-0,3835	0,2030	0,5865

Bibliografia

Allan, G., Mcgregor, P. and Swales, K. (2011) 'L'importance du partage des revenus pour ce qui est des retombées économiques locales d'un programme d'énergie renouvelable: Une approche matricielle de la comptabilité nationale', *Regional Studies*, 45(9), pp. 1171–1186. doi: 10.1080/00343404.2010.497132.

Becker, S., Kunze, C. and Vancea, M. (2017) 'Community energy and social entrepreneurship: Addressing purpose, organisation and embeddedness of renewable energy projects', *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 25–36. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.048.

Belli, G. *et al.* (2017) 'An energy management model for energetic communities of Smart Homes: The Power Cloud', in *Proceedings of the 2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC 2017*. IEEE, pp. 158–162. doi: 10.1109/ICNSC.2017.8000084.

BP (2018a) '2018 BP Energy Outlook', *BP Energy Outlook*, p. 125. doi: 10.1088/1757-899X/342/1/012091.

BP (2018b) '67 th edition Contents is one of the most widely respected', *Statistical Review of World Energy*, pp. 1–56.

Brans, J. P. and Vincke, P. (1985) 'A Preference Ranking Organisation Method : (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)', 31(6), pp. 647–656.

Bu, R. P. (2018) 'Regione piemonte bu32s3 09/08/2018'.

Capuano, L. (2018) 'International Energy Outlook 2018 (IEO2018)', *Csis*, 2018, p. 21. Available at: www.eia.gov.

Chamois, C. (2017) 'Insieme a Chamois'.

Dall'O', G. *et al.* (2013) 'A multi-criteria methodology to support public administration decision making concerning sustainable energy action plans', *Energies*, 6(8), pp. 4308–4330. doi: 10.3390/en6084308.

Delmastro, C. *et al.* (2015) 'the Role of Urban Form and Socio-Economic Variables for Extimating the Building Energy Savings Potential At the Urban Scale', *International Journal of Heat and Technology*, 33(4), pp. 91–100. doi: 10.18280/ijht.330412.

Delmastro, C., Mutani, G. and Corgnati, S. P. (2016) 'A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residential buildings at the urban scale', *Energy Policy*. Elsevier, 99, pp. 42–56. doi: 10.1016/j.enpol.2016.09.051.

Di, B., Dell, S. and In, E. (2016) 'i'.

Dirutigliano, D., Delmastro, C. and Moghadam, S. (2017) 'Energy efficient urban districts: A multi-criteria application for selecting retrofit actions', *International Journal of Heat and Technology*, 35(Special Issue1), pp. S49–S57. doi: 10.18280/ijht.35Sp0107.

Energy Strategy Group (2014) 'Smart Grid Report - Energy communities'.

Feng, L. and Chan, Y. L. (2019) 'Joint pricing and production decisions for new products with learning curve effects under upstream and downstream trade credits', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 272(3), pp. 905–913. doi: 10.1016/j.ejor.2018.07.003.

Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M. (2005) *Multiple Criteria Decision Analysis, state of the art*.

Figueira, J. and Roy, B. (2002) 'Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure', *European Journal of Operational Research*, 139(2), pp. 317–326. doi: 10.1016/S0377-2217(01)00370-8.

Gazzetta Ufficiale (2011) 'Documenti Documenti', 507(2), pp. 1–13.

Gheorghe, R. *et al.* (2003) 'Multiple criteria decision aid for selecting the best product end of life scenario', *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16(7–8), pp. 526–534. doi: 10.1080/0951192031000115859.

Grant Agreement, Eu. C. (2018) *European Commission*, *European Journal of Health Law*. doi: 10.1163/1571809042388581.

Gusmão Caiado, R. G. *et al.* (2018) 'A literature-based review on potentials and constraints in the implementation of the sustainable development goals', *Journal of Cleaner Production*, 198, pp. 1276–1288. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.102.

Koirala, B. P. *et al.* (2016) 'Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 722–744. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.080.

Kumar, A. *et al.* (2017) 'A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 69(October 2016), pp. 596–609. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.191.

Lara, M. K. *et al.* (2004) 'A Decision Matrix Approach to Evaluating the Impacts of Land-Use Activities Undertaken to Mitigate Climate Change', *Climatic Change*, 63, p. 247–257 ST–A Decision Matrix Approach to Evalua. Available at: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&amp.

'Legge del 28/12/2015 n. 221 -' (2016), p. 2016.

Lombardi, P. *et al.* (2017) 'Multicriteria spatial decision support systems for future urban energy retrofitting scenarios', *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). doi: 10.3390/su9071252.

PEFC, I. (2015) *Standard PEFC Italia*.

PROMETHEE, V. (2013) *Visual PROMETHEE*.

Rahmanpour, M. and Osanloo, M. (2017) 'A decision support system for determination of a sustainable pit limit', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 141, pp. 1249–1258. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.205.

Regione, E. R. (2015) ‘Indicazioni metodologiche per l’applicazione dei fattori di conversione di cui alla DGR967/2015 e alla DGR1275/2015’, in, pp. 6–8.

Van Der Schoor, T. and Scholtens, B. (2015) ‘Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, pp. 666–675. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.089.

Seddiki, M. *et al.* (2016) ‘A multi-criteria group decision-making method for the thermal renovation of masonry buildings: The case of Algeria’, *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 129, pp. 471–483. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.023.

Simos, J. (1990) ‘Évaluer l’impact sur l’environnement. Une approche originale par l’analyse multicritère et la négotiation. Coll. Meta, Presses polytechniques et universitaires romandes, 261 p., ill., tabl., 16 ann., bibliogr., 16 x 24 cm.’, *Laussanne; Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, (December), p. 261. doi: 10.7202/032939ar.

Terna (2018) ‘Dati generali’, pp. 1–9.

U.S. EIA (Org.) (2017) ‘International Energy Outlook 2017 Overview’, *U.S. Energy Information Administration*, p. 76. doi: www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf.

Viardot, E. (2013) ‘The role of cooperatives in overcoming the barriers to adoption of renewable energy’, *Energy Policy*. Elsevier, 63, pp. 756–764. doi: 10.1016/j.enpol.2013.08.034.

Wang, J. J. *et al.* (2009) ‘Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), pp. 2263–2278. doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.

Wątróbski, J. *et al.* (2018) ‘Generalised framework for multi-criteria method selection’, *Omega (United Kingdom)*, 0, pp. 1–18. doi: 10.1016/j.omega.2018.07.004.

Wirth, S. (2014) ‘Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy’, *Energy Policy*. Elsevier, 70, pp. 236–246. doi: 10.1016/j.enpol.2014.03.021.

Zhang, X. (2016) ‘Sustainable urbanization: a bi-dimensional matrix model’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 134, pp. 425–433. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.08.036.

Sitografia

https://cordis.europa.eu/project/rcn/213562/factsheet/en

www.pefc.it

www.mcda.it

www.enea.it

www.sinanet.isprambiente.it

Materiale didattico

Materiale didattico e appunti personali corso “Localizzazione ed impatto ambientale dei sistemi energetici”.

Materiale didattico e appunti personali corso “Uso ottimale e sicurezza degli impianti energetici”.

Materiale didattico e appunti personali corso “Thermal design and optimization”.

Conferenze

Conferenza “Una nuova prospettiva per lo sviluppo sostenibile, dalle comunità energetiche agli nZEB”, presso Auditorium Energy Center, in data 21 settembre 2018.

Conferenza “A2E: le alpi per l’efficienza energetica degli edifici, sfide e opportunità per gli enti e le comunità”, presso Auditorium Energy Center, in data 24 settembre 2018.

Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare la relatrice Patrizia Lombardi e del co-relatore Vittorio Verda, per i preziosi consigli ed il supporto fornito. La tesi svolta è stata resa possibile grazie al progetto SCORE, ringrazio perciò tutti i membri del progetto ed in particolare la tutor Sara per i numerosi consigli.

Vorrei ricordare i miei compagni con cui ho condiviso gioie e fatiche in questi anni al Poli, in particolare: Edoardo, Arianit, Giulia, Nicolò, Roberto, Ivan, Samuele e Roberto.

Voglio ringraziare in modo particolare le mie amiche: Elena per la spensieratezza, Giorgia per la dolcezza, Cecilia per la complicità, Marta per la briosità, Letizia per l'allegria ed Eleonora per le chiacchierate. Perché tutte con il sorriso sulle labbra mi spronano e mi accompagnano.

Ringrazio la mia comunità capi presente e passata, per essere luogo di confronto, di convivialità e di crescita.

Non è sempre vero che gli amici si scelgono, a volte ci vengono donati, perciò grazie Roberta, Riccardo, Gaia, Letizia, Lorenzo, Carola, Patrizia e Gianni.

Un grazie a tutte le persone speciali che hanno condiviso e condividono tutt'ora una parte della loro strada con me.

Ringrazio la mia famiglia, che nonostante la distanza è sempre luogo di gioia ed affetto.

Un grazie enorme non basterebbe a descrivere la tenerezza e la riconoscenza per la mia mamma Rita, amica sempre attenta, pronta ad accogliere e a dispensare consigli, il mio papà Ivan, la roccia gentile su cui posso sempre contare e Ilaria per le risate ed i passi fatti insieme. Grazie per avermi sostenuta fino a qui ed oltre, siete il porto sicuro a cui posso sempre fare ritorno.