

# Scelte energetiche a scala di quartiere: non solo una questione monetaria.

## Un approccio SDSS per la definizione di scenari energetici urbani

Francesca Abastante\*, Isabella Maria Lami\*,  
Patrizia Lombardi\*, Jacopo Toniolo\*

parole chiave: analisi multicriteriali (AMC),  
analisi dei Costi (AC), spatial decision support  
systems (SDSS), DIMMER

### Abstract

*L'articolo illustra una ricerca riguardante lo sviluppo e applicazione di piattaforme di visualizzazione (Spatial Decision Support System - SDSS) in grado di integrare metodologie di valutazione di tipo finanziario ed economico. Lo scopo della piattaforma SDSS proposta è quello di supportare lo sviluppo di scenari urbani focalizzando l'attenzione sul miglioramento delle condizioni energetiche a livello di quartiere a servizio di politiche pubbliche e private. La piattaforma, chiamata Dashboard, è stata sviluppata nell'ambito del progetto Europeo DIMMER (2013-2016) allo scopo di raccogliere dati in tempo reale riguardanti le atti-*

*tudini degli utenti nei confronti dell'utilizzo dell'energia attraverso sensori e feedback diretti degli utenti.*

*In questo specifico contesto, la scelta di un approccio metodologico in grado di comparare differenti opzioni di riscaldamento degli edifici è complessa, considerando soprattutto una visione di quartiere. Nell'articolo viene quindi proposto un framework basato su Analisi dei Costi (AC) e Analisi Multicriteriali (AMC) integrate in una piattaforma di visualizzazione SDSS. Per testare lo strumento ci siamo avvalsi di un caso studio situato a Torino (Italia).*

### 1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo di una strategia di miglioramento energetico a scala distrettuale/urbana si sta configurando sempre più

come una scelta politica e ambientale piuttosto che un problema tecnico e finanziario (Head, 2008). In primo luogo, la direttiva Europea 2010/31/EU del 19 Maggio 2010 (Parlamento Europeo, EPBD2010/31/EU) obbliga gli stati membri

dell'Unione Europea ad adeguare i sistemi di generazione dell'energia ai nuovi standard di controllo dei consumi individuali. Tuttavia, la legislazione Italiana sul tema ha ritardato il recepimento di tale direttiva (Decreto Legislativo 141, 2016) a causa di una forte resistenza sociale da parte della popolazione nell'installare i nuovi sistemi di controllo dei consumi energetici. In secondo luogo, adeguare gli edifici esistenti ai nuovi standard Europei non è solamente un problema di tipo finanziario ma anche una sfida ambientale, poiché differenti sistemi di generazione del calore danno luogo a emissioni inquinanti a livello locale e globale che possono differire sensibilmente in funzione del sistema adottato.

Entrambi gli aspetti, già complessi di per sé, comportano inoltre una serie di difficoltà a livello attuativo e valutativo, dovendo comparare differenti scenari di transizione energetica a scala urbana. In questo senso l'articolo propone un framework metodologico innovativo che integra tre approcci di natura diversa: un approccio spaziale attraverso piattaforme *Spatial Decision Support System* (SDSS), un approccio economico-finanziario attraverso Analisi dei Costi (AC) e un approccio quali-quantitativo supportato da Analisi Multicriteriali (AMC).

In particolare, la piattaforma SDSS utilizzata, chiamata Dashboard, è stata sviluppata nell'ambito del progetto Europeo DIMMER (District Information Modelling and Management for Energy Reduction-dimmerproject.eu) con lo scopo di analizzare edifici pubblici e privati. Al fine di rendere efficiente la Dashboard, è stata applicata un'AC per la stima dei costi finanziari ed economici relativi a differenti interventi di riqualificazione energetica. L'analisi non considera solamente i costi finanziari dei differenti interventi in termini monetari, bensì anche costi ambientali, sociali e tecnici.

L'AC costituisce quindi la base dati dell'SDSS. Infine, per gestire efficacemente un processo decisionale, l'SDSS è stato applicato a supporto di un'AMC.

L'articolo riporta i primi risultati ottenuti dall'applicazione dello strumento nel quartiere urbano di Torino denominato "Crocetta".

Dopo l'introduzione, l'articolo è organizzato come segue: la sezione 2 riporta il framework metodologico utilizzato focalizzando l'attenzione sull'utilizzo congiunto di SDSS, AC e AMC; la sezione 3 illustra l'applicazione al caso studio DIMMER mentre la sezione 4 conclude l'articolo fornendo alcune riflessioni riguardanti il futuro sviluppo del lavoro.

## 2. FRAMEWORK METODOLOGICO

### 2.1 Lo strumento *Spatial Decision Support System* (SDSS)

Gli SDSS sono strumenti di visualizzazione basati sulla tecnologia *Geographic Information System* (GIS). Gli SDSS possono supportare valutazioni e processi decisionali a scala urbana essendo in grado di integrare differenti sottosistemi e database, consentendo la gestione di scenari stra-

tegici complessi (Arciniegas *et al.*, 2011). Risultano quindi estremamente utili nella risoluzione di problemi semi-strutturati di tipo spaziale (Sprague e Carlson, 1982).

In ambito energetico, gli SDSS si stanno rivelando particolarmente utili nel supportare i processi decisionali in tempo reale aiutando i decisori/stakeholder nella definizione di scenari urbani energetici. Gli SDSS infatti possono visualizzare in tempo reale le aree oggetto di intervento attraverso l'utilizzo di mappe colorate (Chalal *et al.*, 2016) interattive, le quali diventano "indicatori visivi" cambiando dinamicamente in linea con le preferenze espresse dagli stakeholder (Jankowski *et al.*, 2001; Abastante *et al.*, 2017; Lombardi *et al.*, 2017).

Lo scopo della Dashboard sviluppata ad hoc nell'ambito del progetto DIMMER è fornire un sostegno visivo agli stakeholder durante focus group/workshop aiutandoli a comprendere come il *trade-off* tra diversi criteri decisionali possa evolversi in funzione della modifica di alcuni parametri in tempo reale (Chakhar e Martel, 2004).

La Dashboard (Figura 1) può essere quindi considerata un SDSS poiché, grazie all'interfaccia grafica consente lo scambio interattivo di informazioni tra gli stakeholder e lo strumento stesso supportando le diverse fasi del processo decisionale attraverso l'utilizzo di mappe e indicatori quali-quantitativi (Malczewski, 1999).

Operativamente, la Dashboard è stata sviluppata dal partenariato del progetto DIMMER e, in particolare, dal Politecnico di Torino grazie al supporto tecnico del Consorzio sui Sistemi Informativi (CSI-Piemonte) il quale ha implementato la piattaforma in termini di funzionalità a partire dal software *open source* QuantumGIS (QGIS - Hugentobler, 2008) e dal globo virtuale CESIUM (cesiumjs.org).

Nell'ambito del progetto DIMMER, è stato utilizzato il quartiere "Crocetta" (Torino) come caso studio pilota. Dopo un attento lavoro di censimento del quartiere, la Dashboard contiene quindi numerosi diversi livelli di informazione di tutti gli edifici (Figura 1) al fine di consentire analisi energetiche, tecniche, spaziali e sociali come previsto dal progetto DIMMER.

La Dashboard consente inoltre interrogazioni in tempo reale in merito all'anagrafica degli edifici attraverso l'inserimento di schede pop-up (Figura 2) le quali riportano le informazioni più importanti dell'edificio selezionato.

A differenza di un semplice modello GIS, che contiene e visualizza dati di tipo spaziale, uno dei principali punti di forza della Dashboard consiste nell'abilità di acquisire, conservare e gestire contemporaneamente dati geo-riferiti e non geo-riferiti. In questo modo la Dashboard consente l'analisi di problemi spaziali considerando contemporaneamente un ampio spettro di criteri decisionali.

Per poter consentire tali funzionalità considerando dati reali, è stata fatta un'Analisi dei Costi (AC) in linea con le richieste specifiche del progetto DIMMER e focalizzata su possibili soluzioni di riqualificazione energetica degli edifici e dei sistemi di generazione del calore (Mittler, 2016).

Scelte energetiche a scala di quartiere: non solo una questione monetaria.  
Un approccio SDSS per la definizione di scenari energetici urbani



Figura 1 - Esempio di interfaccia Dashboard



Figura 2 - Esempio di scheda pop-up

## 2.2 L'analisi dei costi (AC)

L'AC sviluppata e presentata in questo articolo considera costi economici e finanziari riferiti a differenti alternative di

possibili riqualificazioni di edifici esistenti in termini di sistemi costruttivi e impianti di generazione del calore. Il progetto DIMMER infatti focalizza l'attenzione sul miglioramento del patrimonio edilizio esistente piuttosto che

sulla realizzazione di nuovi edifici per diverse ragioni: da un lato considera la scarsità di suolo disponibile per la realizzazione di nuovi edifici, dall'altro opera in prospettiva di uno sviluppo sostenibile poiché, come affermato da Elefante (2007), "l'edificio più sostenibile è quello già costruito" (trad: *the greenest building is the one that is already built*).

In particolare, l'AC sviluppata considera:

1. interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio degli edifici esistenti, come il miglioramento delle prestazioni di isolamento termico delle pareti verticali e orizzontali e la sostituzione degli infissi;
2. sostituzione degli impianti di generazione del calore, considerando l'allacciamento alla rete del teleriscaldamento, l'installazione di caldaie a condensazione di ultima generazione, l'installazione di pannelli fotovoltaici, le pompe di calore di tipo aria/aria.

A causa delle peculiarità del territorio, non è stato possibile considerare uno spettro più ampio di tecnologie di riqualificazione energetica come invece suggerito in letteratura (Pahio *et al.*, 2013). Le indicazioni della legislazione vigente in materia di generazione del calore non consentono infatti l'installazione di alcune modalità di generazione del calore nel territorio considerato come, ad esempio, le pompe di calore ad acqua le quali necessitano che la falda acquifera sia facilmente raggiungibile dell'impianto e che pertanto si trovi il più possibile in superficie.

Operativamente, in linea con Mattinen *et al.* (2014), l'AC è stata strutturata a partire dalle seguenti fonti: i) studio della letteratura scientifica di settore (Burton e Hubacek, 2007; Pahio *et al.*, 2013; Patti *et al.*, 2015; D'Alpaos e Bragolusi, 2018); ii) Prezzario Regionale della regione Piemonte (regione.piemonte.it, 2017); iii) indagini empiriche sul territorio relative al fine di una verifica dei costi nella città di Torino.

È importante sottolineare che l'analisi illustrata prende in considerazione i costi a carico dell'utente finale (gli abitanti) mentre non sono considerati i potenziali costi che sarebbero a carico delle compagnie di gestione del calore.

In base alla letteratura considerata, l'AC prende quindi in considerazione le seguenti voci di costo: i) costo annuale del carburante per il riscaldamento; ii) i costi annuali di manutenzione e gestione degli impianti; iii) i costi di investimento delle differenti tecnologie di riqualificazione energetica; iv) il consumo netto di energia per il sistema di riscaldamento; v) i costi ambientali relativi alle emissioni locali e globali di CO<sub>2</sub>.

Il costo annuale del carburante per il riscaldamento è stato calcolato a partire dal monitoraggio dei dati di consumo reali raccolti nel 2015 relativi ai 200 edifici considerati (Patti *et al.*, 2015). Tale valore è stato moltiplicato per il prezzo del carburante considerando differenti fonti energetiche e l'andamento del mercato nell'anno di riferimento. La formula generale per il calcolo del costo annuale per il riscaldamento è la seguente:

$$CC_{gb} = \alpha(Q)$$

Dove:

CC<sub>gb</sub> = costo del carburante [€]

$\alpha$  = costo parametrico del carburante [€/kWh]

Q = energia necessaria per il riscaldamento [kWh]

Tale operazione è stata effettuata per diverse fonti di generazione del calore utilizzando gli opportuni costi parametrici desunti dal mercato corrente dell'energia.

Lo stesso approccio è stato inoltre utilizzato per il calcolo dei costi di manutenzione e gestione dell'impianto di generazione del calore.

I costi di investimento relativi alle tecnologie di riqualificazione energetica sono stati calcolati invece a partire dai costi parametrici codificati nel Prezzario della Regione Piemonte (regione.piemonte.it, 2017) mediati da indagini di mercato effettuate sul territorio in Torino. La formula generale per il calcolo dei costi di investimento delle tecnologie di riqualificazione energetica è la seguente:

$$(RefWR)C = \sum cf * p(V)$$

Dove:

(RefWR)C = Costo di investimento [€]

$\sum cf$  = Sommatoria dei costi fissi relativi alla tecnologia di riqualificazione energetica [€]

$p$  = Coefficiente correttivo

V = Volume degli edifici interessati dall'intervento [mc]

La stessa operazione è stata effettuata per le diverse tecnologie di riqualificazione energetica considerate dopo aver stimato i relativi costi energetici.

È importante sottolineare che, i costi di investimento parametrici considerati nella AC considerano le seguenti voci di costo: progettazione, sicurezza e normative, documenti per la Pubblica Amministrazione, costi di installazione del ponteggio, costo dei materiali e manodopera.

L'alternativa di riqualificazione energetica che prevede la possibilità per gli edifici di allacciarsi alla rete del teleriscaldamento costituisce un'eccezione a tale approccio dal punto di vista del calcolo dei costi di investimento necessario. Infatti, poiché tali costi non sono attribuibili ad un singolo edificio ma ricadono su un'area urbana, è stato necessario contattare la compagnia di gestione del teleriscaldamento in Torino (IREN) al fine di reperire empiricamente i costi necessari.

Per stimare le voci relative alle emissioni locali e globali di CO<sub>2</sub> ci si è riferiti ai fattori di emissione nazionali ufficiali pubblicati in (Patti *et al.*, 2015), ad eccezione delle emissioni relative alla rete del teleriscaldamento le quali, non essendo codificate a livello nazionale, sono state fornite direttamente dalla compagnia energetica IREN.

Le voci di costo stimate sono state quindi inserite come base dati economico-finanziaria della Dashboard rendendo possibile lo sviluppo e comparazione di differenti scenari energetici urbani. L'accoppiamento fra l'AC e la Dashboard consente infatti un'analisi dinamica delle differenti voci di costo necessarie al raggiungimento di un target determinato dagli stakeholder interessati. È inoltre possi-

bile calcolare i risparmi finanziari ed economici e calcolare il Payback Period (PBP) degli interventi ipotizzati.

La Dashboard, così configurata, è stata utilizzata a supporto durante il focus group illustrato nel paragrafo 3.2.

### 2.3 L'Analisi Multicriteri (AMC)

In termini generali, le AMC sono una famiglia di approcci consolidati e ampiamente utilizzati in grado di supportare il decisore nella presa di decisioni in modo strutturato e intuitivo (Figueira *et al.*, 2005; Abastante *et al.*, 2019). Le AMC sono considerate strumenti potenti per il decisore in situazioni di criteri decisionali multipli o in presenza di molteplici alternative. Nel corso degli anni inoltre, le AMC hanno dimostrato di essere particolarmente utili nell'ambito della pianificazione territoriale e urbana la quale è spesso caratterizzata dalla presenza simultanea di diversi aspetti e i cui stakeholder coinvolti hanno obiettivi differenti e spesso conflittuali (Huang *et al.*, 2011; Abastante e Lami, 2013; Lami e Abastante, 2014; Abastante, 2016; Abastante *et al.*, 2018).

Tra i numerosi metodi AMC, un ruolo importante è attribuito alla metodologia AMC chiamata "Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique" (MACBETH) (Bana e Costa e Vansnick, 1997; Bana e Costa *et al.*, 2010).

Il metodo MACBETH si fonda sul modello additivo e richiede giudizi di tipo qualitativo in termini di differenze di valori per aiutare un individuo, un gruppo o un'entità nella quantificazione relativa in termini di attrattività fra azioni/alternative o criteri decisionali. A partire dai giudizi qualitativi richiesti agli stakeholder coinvolti, il MACBETH consente la costruzione di valori quantitativi supportando un processo di apprendimento e riducendo il disagio cognitivo (Fasolo e Bana e Costa, 2014) che si può verificare nel caso in cui vengano richiesti giudizi numerici diretti agli stakeholder (Bana e Costa *et al.*, 2004).

L'applicazione del metodo può essere riassunta in tre fasi: strutturazione del modello, valutazione e analisi dei risultati (Abastante e Lami, 2018).

*Strutturazione del modello:* i principali problemi da affrontare nel processo decisionale (criteri decisionali) e le opzioni (o alternative) vengono individuati e strutturati in forma di albero (chiamato *value tree*) al fine di fornire una panoramica, anche visiva, degli aspetti del problema in analisi.

*Valutazione:* gli stakeholder sono chiamati a rispondere a una serie di comparazioni a coppie specificando la differenza di attrattività tra le varie alternative rispetto ai criteri decisionali utilizzando le categorie semantiche codificate dal modello (Tabella 1).

*Analisi dei risultati:* il metodo fornisce risultati chiari in forma di ranking identificando l'importanza dei criteri e delle alternative attraverso l'utilizzo del software dedicato M-Macbeth ([m-macbeth.com](http://m-macbeth.com)).

Tra i vari metodi multicriteriali adatti alla strutturazione di problemi decisionali, abbiamo scelto di utilizzare il MACBETH per differenti ragioni: i) è una metodologia semplice

Tabella 1 - Categorie semantiche della metodologia

CATEGORIE SEMANTICHE	
Extreme	Differenza estrema fra gli elementi
Very strong	Differenza molto forte fra gli elementi
Strong	Differenza forte fra gli elementi
Moderate	Differenza moderata fra gli elementi
Weak	Differenza debole fra gli elementi
Very weak	Differenza molto debole fra gli elementi
NO	Elementi con la stessa importanza

e comprensibile anche per coloro che non sono esperti nell'ambito dei processi decisionali; ii) i parametri tecnici su cui si fonda il metodo sono robusti e riconosciuti dalla comunità scientifica; iii) i risultati forniti dalla metodologia possono costituire una base di discussione comprensibile nelle fasi successive del processo; iv) il software M-Macbeth e i protocolli di interazione previsti dal modello forniscono risultati chiari anche per stakeholder non esperti.

### 3. CASO STUDIO

Il processo decisionale riportato in questo paper persegue diversi obiettivi: i) testare l'utilità della Dashboard nel supportare gli stakeholder nella presa di decisioni; ii) discutere riguardo a quali possano essere i criteri decisionali da considerare e la loro importanza nell'ambito in esame; iii) discutere e analizzare diversi scenari di riqualificazione energetica nella prospettiva di ridurre il consumo energetico e le emissioni inquinanti.

Il quartiere oggetto del processo decisionale e utilizzato nell'ambito del progetto DIMMER è costituito dalla "Croccetta" a Torino selezionato in base ad una serie di caratteristiche architettoniche e urbanistiche. Si tratta di un quartiere prettamente residenziale con edifici realizzati prevalentemente negli anni '60: rappresenta la tipologia più diffusa nelle città italiane, nonché il patrimonio immobiliare che più necessita di una riqualificazione energetica. La presenza di edifici ad uso pubblico e privato consente inoltre di sviluppare analisi e ragionamenti osservando il comportamento degli utenti in diverse situazioni d'uso sociale.

Data la complessità del problema, le informazioni a disposizione e considerate le richieste del progetto DIMMER, si è deciso di circoscrivere l'analisi a 200 edifici situati nel quartiere a partire dal patrimonio edilizio mappato nella Dashboard e riportato in Figura 1.

Benché il campione analizzato limiti lo studio ad una porzione del tessuto urbano del quartiere, i 200 edifici considerati sono rappresentativi della situazione architettonica e energetica del quartiere e sono differenti in termini di orientamento, dimensioni, uso, tecnologia e materiali costruttivi (Figura 3). Questo campione corrisponde a circa 4.000 utenti finali, rendendo l'analisi veritiera seppur non potendo considerare l'intero quartiere.



Figura 3 - I 200 edifici considerati nell'analisi

Il processo decisionale, durato circa un anno, è stato strutturato in fasi successive: in primo luogo un gruppo di esperti in AMC, energia, pianificazione territoriale e valutazioni economiche ha strutturato il modello decisionale, attraverso l'utilizzo della metodologia MACBETH, definendo i criteri decisionali e alcune ipotesi di scenari di trasformazione energetica urbana. È stato poi organizzato un primo focus group alla presenza di stakeholder attivi sul territorio al fine di validare il modello decisionale. Infine, durante un secondo focus group, è stato applicato il modello decisionale MACBETH, supportato dalla Dashboard, al fine di aiutare gli stakeholder nell'individuare lo scenario energetico urbano migliore per il quartiere considerato.

Nello specifico, l'articolo riporta i risultati del secondo focus group i cui stakeholder coinvolti erano: rappresentanti dell'Associazione Costruttori di Torino e della Pubblica Amministrazione, imprenditori, progettisti, esperti/accademici nell'ambito dell'energia e delle valutazioni economiche.

### 3.1 Definizione dei criteri decisionali e delle alternative

Considerando la letteratura di settore (Pahio *et al.*, 2013), i dati disponibili da fonti locali, i dati stimati attraverso l'AC e in linea con le indicazioni ricevute dagli stakeholder coinvolti durante la fase di validazione del modello, sono stati individuati cinque criteri decisionali fondamentali:

- costi di investimento intesi come il capitale necessario a dare avvio alle operazioni di riqualificazione energetica (Becchio *et al.*, 2016);

- Payback Period (PBP) misurato in numero di anni necessari per compensare l'investimento iniziale (Volva *et al.*, 2013);
- riduzione delle emissioni di CO2 che ogni scenario è in grado di raggiungere in termini percentuali (Beccali *et al.*, 2003);
- riduzione della domanda di energia in termini percentuali. Tale criterio si riferisce al miglioramento delle performance energetiche dell'edificio a seguito della riqualificazione (Wang *et al.*, 2009);
- resilienza del sistema energetico intesa come la capacità di assorbire urti e/o subire interruzioni senza inficiare l'erogazione dell'energia.

A partire dai criteri decisionali sono stati ipotizzati tre ipotesi di scenario per lo sviluppo energetico urbano del quartiere "Crocetta".

Le ipotesi di scenario considerano un orizzonte temporale di 15 anni, entro il quale tutti gli edifici non connessi alla rete del teleriscaldamento o senza un impianto di generazione del calore a condensazione dovranno essere modificati (Decreto Legislativo 141, 2016) in linea con le normative vigenti. Si è ipotizzato inoltre che gli edifici attualmente connessi alla rete del teleriscaldamento non cambieranno la modalità di generazione del calore nell'orizzonte temporale considerato (Decreto Legislativo 141, 2016). La rete del teleriscaldamento è infatti considerata un sistema di fornitura dell'energia di tipo cosiddetto *lock-in*.

Interrompere l'allacciamento alla rete del teleriscaldamento è infatti possibile in via teorica ma presenta difficoltà tec-

## Scelte energetiche a scala di quartiere: non solo una questione monetaria. Un approccio SDSS per la definizione di scenari energetici urbani

niche ed economiche considerevoli che costituiscono un disincentivo di tale pratica.

La Tabella 2 una sintetica descrizione delle ipotesi di scenario considerate e le performance rispetto ai criteri decisionali considerati.

È importante sottolineare che gli scenari alternativi proposti costituiscono semplificazioni dei possibili sviluppi futuri in termini energetici e il loro intento è quello di stimolare la comparazione tra differenti visioni future in linea con (Cassen *et al.*, 2015).

In particolare, lo scenario 1 (Aumento del teleriscaldamento) può essere definito come una strategia di tipo “*top-down Centralized ENergy Transition (CENT)*” promossa da politiche centrali perseguita senza considerare nel dettaglio i bisogni degli abitanti dello specifico quartiere. In questo senso la strategia CENT è spesso preferita dalle Pubbliche Amministrazioni poiché consente un miglior controllo in termini di sicurezza dell’impianto e di emissioni inquinanti (Cassen *et al.*, 2015). Ciò nonostante tale strategia evidenzia alcuni problemi soprattutto legati al sistema *lock-in* (Scott e Pollitt, 2010) che incentiva il monopolio energetico e diminuisce la resilienza dell’impianto. È importante inoltre evidenziare che lo scenario 1 ha il costo di investimento più basso tra quelli ipotizzati poiché considera i costi di investimento che dovrebbero pagare gli abitanti

mentre non tiene in considerazione i costi relativi alla rete di teleriscaldamento e alle stazioni.

Lo scenario 2 (Conservativo) può essere definito come “*business as usual*”. In questo scenario si ipotizza quindi che l’impianto di generazione del calore attuale e i componenti degli edifici vengono riqualificati a causa dell’obsolescenza e di imposizioni economiche/normative.

Lo scenario 3 (Estremo) riflette la strategia denominata “*bottom-up Societal Energy Transition (SET)*” in cui le scelte di mercato sono applicate al livello di edificio/quartiere. Tale strategia è in grado di considerare una prospettiva economica di lungo periodo considerando le necessità degli abitanti del quartiere. Come evidenziato in Tabella 2, tale scenario presenta elevati costi di investimento, i quali possono essere recuperati in breve tempo come emerge dal PBP.

Le ipotesi di scenario sono state quindi integrate nella Dashboard per stimolare la discussione con gli stakeholder, aiutandoli ad allineare i punti di vista (Vennix, 2006) e avere una visione collettiva (Andersen e Richardson, 1997) del problema in esame.

### 3.2 Il focus group

Dopo aver definito e validato i criteri decisionali e le ipotesi di scenari, è stato possibile strutturare il modello decisio-

**Tabella 2 - Scenari alternativi e performance dei criteri**

SCENARI ALTERNATIVI			CRITERI DECISIONALI				
			Costi di investimento	Simple Payback Period (SPBP)	Riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub>	Riduzione della domanda di energia	Resilienza del sistema
1	Aumento del teleriscaldamento	Prevede: - 87% di teleriscaldamento e 13% di boiler a condensazione; - 10% degli edifici riqualificati con isolamento a cappotto.	€ 8.700.000	30 anni	30%	10%	Bassa
2	Conservativo	Prevede: - 65% di teleriscaldamento e 35% di boiler a condensazione; - 20% degli edifici riqualificati con isolamento a cappotto.	€ 12.600.000	20 anni	25%	17%	Media
3	Estremo	Prevede: - 52% di teleriscaldamento e 23% di boiler a condensazione; - 50% degli edifici riqualificati con isolamento a cappotto.	€ 30.400.000	10 anni	55%	50	Medio/alta

nale attraverso la metodologia MACBETH. È stato quindi organizzato un focus group con gli stakeholder interessati alla trasformazione al fine di discutere in merito all'importanza dei criteri e degli scenari.

In linea con la metodologia MACBETH, sono state poste agli stakeholder le domande previste riferite sia ai criteri decisionali che agli scenari, quali ad esempio:

- Secondo la sua esperienza, ordina i criteri decisionali e gli scenari di trasformazione, dal più importante al meno importante considerando la trasformazione in esame;
- Dopo aver ordinato i criteri, indichi di quanto ritiene un criterio più importante di un altro utilizzando la scala del MACBETH;

Esempio: i "Costi di investimento" sono molto più importanti del criterio "SPBP" mentre il criterio "SPBP" è di poco più importante della "Resilienza del Sistema".

Ogni stakeholder presente al focus group ha risposto singolarmente alle domande previste dal metodo.

Dopo aver raccolto le risposte dei singoli stakeholder, è stata stimolata una discussione tra i presenti supportata dalla Dashboard allo scopo di far convergere le opinioni e giungere a soluzioni condivise.

In questa fase, la Dashboard ha giocato un ruolo fondamentale nell'aiutare i decisori nella visualizzazione delle

informazioni in tempo reale. La possibilità di "vedere" gli scenari geo-riferiti sul territorio e supportati da dati numerici puntuali e/o aggregati stimati con l'AC, ha permesso agli stakeholder di aumentare la conoscenza del problema, del territorio in esame e delle performance energetiche e economiche degli scenari considerati (Figura 4).

La Figura 4 costituisce un esempio di informazione geo-riferita relativa alle performance in termini di costi di manutenzione annuali per i 200 edifici considerati: gli edifici rappresentati in grigio chiaro sono quelli che presentano i costi di manutenzione più bassi mentre gli edifici in grigio scuro mostrano costi di manutenzione più elevati.

Al termine della discussione è emerso come, per alcune coppie di domande, fosse estremamente difficile approdare ad una risposta che soddisfacesse tutti gli stakeholder. In questi casi quindi, i giudizi attribuiti dai singoli stakeholder sono stati aggregati durante il focus group seguendo la logica del "metodo di maggioranza" (Bouyssou *et al.*, 2001; Lami *et al.*, 2014; Lami, 2014). È stata quindi attribuita la preferenza al criterio/alternativa che ha ottenuto il numero maggiore di voti e tra questi è stata determinata la media aritmetica come suggerito in letteratura da (Aczèl e Saaty, 1983).

Il ranking finale risultante dall'analisi in termini di criteri decisionali e alternative è riportato in Tabella 3.

Osservando la Tabella 3 emerge che il criterio considerato più



Figura 4 - Visualizzazione dei costi di manutenzione annuali di alcuni edifici considerati

Tabella 3 - Ranking finale di criteri e alternative

Ordinamento dei criteri	Pesi (%)	Ordinamento scenari	Pesi (%)
Costi di investimento	30	Scenario 3	47,50
PBP	27	Scenario 2	29,03
Riduzione della domanda di energia	23	Scenario 1	23,46
Riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub>	18		
Resilienza del sistema	2		



## Scelte energetiche a scala di quartiere: non solo una questione monetaria. Un approccio SDSS per la definizione di scenari energetici urbani

importante per la trasformazione del quartiere “Crocetta” sono i “Costi di investimento” (30%) seguiti dal “PBP” (27%) e della “Riduzione della domanda di energia” (23%). La differenza di importanza in termini percentuali fra questi criteri è minima e riflette principalmente una strategia di profitto privato a breve termine. Il criterio “Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>” (18%) è considerato non fondamentale in vista di una riqualificazione energetica a livello di quartiere mentre la “Resilienza del sistema” (2%) è pressoché trascurabile. Durante il focus group infatti è emerso come le emissioni di CO<sub>2</sub> e la resilienza del sistema energetico non costituiscono ancora una preoccupazione percepita dagli abitanti. Dal punto di vista degli scenari, in linea con le risposte fornite durante il focus group, lo scenario di riqualificazione energetica migliore per il quartiere “Crocetta” è risultato lo Scenario 3 (Estremo, 47,50%) nella prospettiva di incentivare l'autonomia di scelta degli abitanti del quartiere.

Questo risultato è coerente rispetto all'importanza attribuita ai criteri poiché, benché gli stakeholder abbiano attribuito l'importanza maggiore al criterio “Costi di investimento”, hanno considerato come fondamentale anche i criteri “PBP” e “Riduzione della domanda di energia” le cui performance sono migliori nello Scenario 3. In tal senso, lo Scenario 3 è in grado di massimizzare tali aspetti contemporaneamente in una prospettiva a lungo termine considerando le preferenze soprattutto di investitori privati. Inoltre, lo Scenario 3 consentirebbe di perseguire obiettivi di sostenibilità ambientale come suggerito nel focus group da stakeholder di tipo pubblico poiché le emissioni di CO<sub>2</sub> verrebbero ridotte grazie all'utilizzo di energia pulita. Lo Scenario 3 quindi sembrerebbe in grado di conciliare aspetti solitamente in antitesi.

Al contrario, gli stakeholder presenti al focus group hanno

considerato lo Scenario 2 (Conservativo, 29,3%) meno interessante dello Scenario 3 poiché, benché sia finanziariamente più accessibile, non raggiunge le performance richieste in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>. Infine, lo Scenario 1 (Aumento del teleriscaldamento, 23,46%) è risultato il meno interessante nonostante le ottime performance dei “Costi di investimento”. Gli stakeholder infatti hanno replicato che una strategia di tipo CENT non sia perseguibile dal punto di vista ambientale e energetico. Inoltre, il monopolio dell'energia insito nello Scenario 1 non è allineato con l'idea di profitto e sviluppo degli investitori privati.

Grazie ai risultati ottenuti attraverso il metodo MACBETH (Tabella 3) durante il focus group è scaturita un'interessante discussione fra gli stakeholder in merito al fatto che gli scenari alternativi proposti e comparati fossero solo alcune delle possibili soluzioni perseguibili per la riqualificazione energetica del quartiere. Gli stakeholder hanno quindi sviluppato alcuni ragionamenti svincolati dalle alternative proposte ma supportati dalla Dashboard, la quale consente di comparare i dati di differenti edifici in termini grafici e tabellari.

Gli stakeholder infatti, hanno avuto la possibilità di simulare scenari alternativi di sviluppo energetico definiti *what-if* in funzione dei parametri messi a disposizione dalla Dashboard.

I partecipanti hanno quindi utilizzato lo strumento in modo interattivo, selezionando in tabella gruppi di edifici, modificandone la tipologia di impianto di generazione del calore e scegliendo le tecnologie di riqualificazione fra le seguenti opzioni: installazione di pompe di calore e fotovoltaico, allacciamento alla rete del teleriscaldamento, installazione di caldaie a condensazione di ultima generazione, sostituzione degli infissi e/o isolamento delle pareti verticali e orizzontali (Figura 5).

The screenshot shows a software interface with a table titled "Tools" and "Cost Analysis Selection". The table lists various system IDs with their corresponding costs and emissions. Below the table, there are configuration options for building refurbishment, heating system, and peak shaving.

System Id	Maintenance Cost	Emissions (kg CO <sub>2</sub> )	Yearly O&M Cost (€)	Yearly Fuel Cost (€)
<input checked="" type="checkbox"/> 10114	2784	14728	2784	12728
<input checked="" type="checkbox"/> 10118	3000	49758	3000	42999
<input type="checkbox"/> 10120	2554	18475	2554	15965
<input checked="" type="checkbox"/> 10122	2106	9295	2106	8033
<input type="checkbox"/> 10132	2166	10047	2166	8682
<input checked="" type="checkbox"/> 10138	2540	13605	2540	11757
<input type="checkbox"/> 10152	2370	11520	2370	9956
<input checked="" type="checkbox"/> 10162	3000	36512	3000	31552
<input type="checkbox"/> 10164	2246	12309	2246	10637
<input checked="" type="checkbox"/> 10183	1500	15511	1500	12404

Showing 1 to 10 of 221 entries 217 rows selected

Cost

Configure refurbishment

Building refurbishment

Building refurbishment: windows  Building refurbishment: walls and roof

Heating system refurbishment

PV installation + Heat pump  Connection to DH  New condensing GAS boiler  Don't change

Peak shaving

Peak shaving

Compute

Figura 5 - Simulazione di scenari alternativi: scelta dei parametri

In funzione delle scelte operate dagli stakeholder in tempo reale durante il focus group, la Dashboard ha restituito le performance degli scenari ipotizzati (Figura 6). I primi due grafici mostrano le differenze fra la situazione energetica attuale e quella simulata in termini di consumo energetico (kWh) e emissioni di CO<sub>2</sub>; il grafico a torta mostra in termini percentuali i sistemi di generazione di calore ipotizzati nello scenario simulato.

Questa funzionalità si è rivelata essere estremamente interessante per gli stakeholder privati e pubblici. Gli stakeholder privati infatti hanno avuto la possibilità di visualizzare differenti alternative di riqualificazione energetica al fine di acquisire informazioni in termini di interessi economici privati. Gli stakeholder pubblici invece hanno acquisito una maggiore consapevolezza in termini di salvaguardia ambientale del territorio.

#### 4. CONCLUSIONI

L'articolo riporta un'esperienza di processo decisionale in ambito energetico strutturato grazie all'utilizzo congiunto di diversi strumenti e metodi: uno strumento SDSS, una AC, e una AMC.

In particolare, l'articolo mostra alcuni dei possibili contributi che possono essere portati dall'utilizzo congiunto di metodi di valutazione tradizionali e strumenti di visualizzazione per passare da una prospettiva di edificio a una di

quartiere supportando politiche distrettuali energetiche includendo analisi di tipo quantitativo e qualitativo.

Nel caso illustrato, l'AC ha costituito la base dati integrata nella Dashboard, stimando valori di costo finanziari, economici e ambientali che sono elementi chiave nelle trasformazioni urbane di tipo energetico. Questo ha consentito diverse attività durante il focus group, quali: la visualizzazione di dati geo-riferiti e non geo-riferiti, la consultazione di informazioni aggregate e puntuali in merito alle performance delle ipotesi di scenario, la definizione in tempo reale di nuovi scenari *what if* a partire dalle preferenze degli stakeholder.

La Dashboard si è rivelata estremamente utile nel supportare il processo decisionale strutturato grazie al metodo multicriteriale MACBETH poiché ha consentito di sviluppare valutazioni di tipo integrato e ha aiutato il raggiungimento del consenso (AbuSada e Thawaba, 2011) considerando contemporaneamente effetti a lungo e breve termine, interessi conflittuali e prospettive di sviluppo socio-economiche (Wang *et al.*, 2009) e fornendo un ordinamento di priorità di criteri e alternative progettuali.

I futuri sviluppi del lavoro prevedono: l'applicazione del framework valutativo all'intero quartiere "Crocetta" o in altri distretti al fine di ampliare la scala territoriale di analisi; la stima di variabili di tipo sociale come, ad esempio, l'anagrafica degli abitati su base statistica per comprendere meglio l'utilizzo degli edifici considerati; integrare l'AMC nello strumento SDSS.

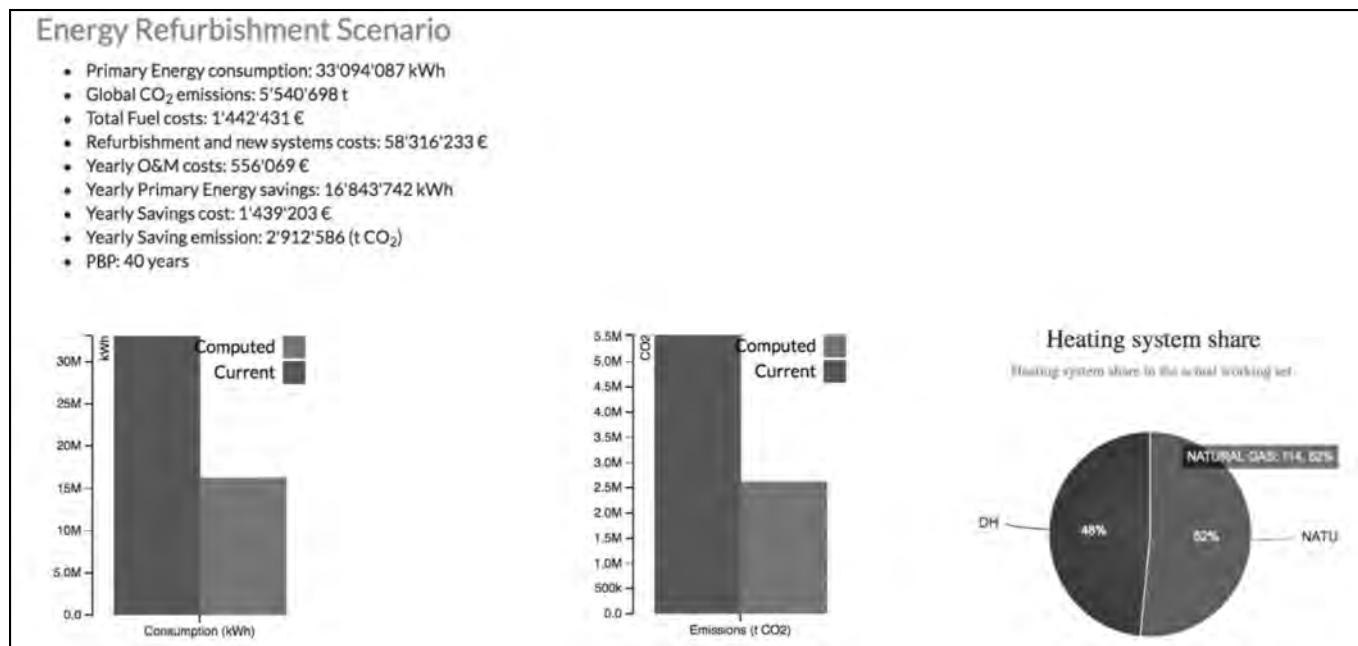


Figura 6 - Simulazione di scenari alternativi: risultati grafici

\* Francesca Abastante, Isabella Maria Lami, Patrizia Lombardi, Jacopo Toniolo, Dipartimento Interateneo di Scienze Progetto e Politiche del Territorio (DIST). Politecnico di Torino, 39 Viale Mattioli, 10125 Turin, Italy.  
e-mail: francesca.abastante@polito.it; isabella.lami@polito.it; patrizia.lombardi@polito.it; jacopo.toniolo@polito.it

## Bibliografia

- ABASTANTE F., LAMI I.M., *An analytical model to evaluate a large scale urban design competition*, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, Vol. 139(2), 2013, pp. 27-36.
- ABASTANTE F., *Multicriteria decision methodologies supporting decision processes: Empirical examples*, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, Vol. 149(3), 2016, pp. 5-18.
- ABASTANTE F., LAMI I.M., LOMBARDI P., *An integrated participative spatial decision support system for smart energy urban scenarios: A financial and economic approach*, *Buildings*, Vol. 7(4), 2017, DOI: 10.3390/buildings7040103.
- ABASTANTE F., CORRENTE S., GRECO S., ISHIZAKA A., LAMI I.M., *Choice architecture for architecture choices: Evaluating social housing initiatives putting together a parsimonious AHP methodology and the Choquet integral*, *Land Use Policy*, Vol. 78, 2018, pp. 748-762.
- ABASTANTE F., LAMI I.M., *An integrated assessment framework for the requalification of districts facing urban and social decline*, *Green Energy and Technology*, 2018, pp. 535-545, DOI: 10.1007/978-3-319-78271-3\_42
- ABASTANTE F., CORRENTE S., GRECO S., ISHIZAKA A., LAMI I.M., *A new parsimonious AHP methodology: Assigning priorities to many objects by comparing pairwise few reference objects*, *Expert Systems with Applications*, Vol. 127, 2019, pp. 109-120.
- ABUSADA J., THAWABA S., *Multicriteria analysis for locating sustainable suburban centers: A case study from Ramallah governorate, Palestine*. *Cities*, Vol. 28, 2011, pp. 381-393.
- ACZÉL J., SAATY T.L., *Procedures for synthesizing ratio judgments*, *J. Math. Psychol.*, Vol.27, 1983, pp. 93-102.
- ANDERSEN D.F., RICHARDSON G.P., *Scripts for group model building*, *Syst Dyn Interview*, Vol. 13(2), 1997, pp.107-129.
- ARCINIEGAS G., JANSSEN R., OMTZIGT N., *Map-based multicriteria analysis to support interactive land use allocation*, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, Vol. 25, 2011, pp. 1931-1947.
- BANA E COSTA C.B., VANSNICK J.C., *The MACBETH approach: Basic ideas*. In: *Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making*, 1997, pp. 86-88.
- BANA E COSTA C.A., ANTÃO DA SILVA P., CORREIA F.N., *Multicriteria evaluation of flood control measures: the case of Ribeira do Livramento*, *Water Resour. Manag.*, Vol. 18(3), 2004, pp. 263-283.
- BANA E COSTA C.A., DE CORTE J.M., VANSNICK, J.C., *Macbeth: Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique*. In: *Cochran J.J. (Ed.), Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Wiley Hoboken, NY, USA, 2010.
- BECCALI M., CELLURA M., MISTRETTA M., *Decision-making in energy planning. Application of the ELECTRE method at regional level for the diffusion of renewable energy technology*, *Renew. Energy*, Vol. 28, 2003, pp. 2063-2087.
- BECCHIO C., FERRANDO D.G., FREGONARA E., MILANI N., QUERCIA C., SERRA V., *The cost-optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in northern Italy*, *Energy and Buildings*, Vol. 127, 2016, pp. 590-602.
- BOUYSSOU D., MARCHANT T., PIRLOT M., PERNY P., TSOUKIAS A., VINCKE P., *Evaluation and decision models: a critical perspective*, Springer, Berlin, 2001.
- BURTON J., HUBACEK K., *Is small beautiful? A multicriteria assessment of small-scale energy technology applications in local governments*, *Energy Policy*, Vol. 35, 2007, pp. 6402-6412.
- CASSEN C., HAMDÍ-CHÉRIF M., COTELLA G., LOMBARDI P., TONIOLO J., *Energy Security Scenarios of Future Europe. Assessing the impacts of societal processes*, 3rd International Symposium on Energy Challenges and Mechanics (ECM3) - towards a big picture 2015, Aberdeen, Scotland, UK 7-9 Luglio 2015.
- CHAKHAR S., MARTEL JM, *Towards a spatial decision support system: Multi-criteria evaluation functions inside geographical information systems*, *Ann. Du Lamsade*, Vol. 2, 2004, pp. 97-123.
- CHALAL M.L., BENACHIR M., WHITE M., SHRAHILY R., *Energy planning and forecasting approaches for supporting physical improvement strategies in the building sector: A review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 64, 2016, pp. 761-776.
- D'ALPAOS C., BRAGOLUSI P., *Buildings energy retrofit valuation approaches: State of the art and future perspectives*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 20, 2018, pp. 79-94.
- DECRETO LEGISLATIVO 141, 2016, accessibile da [www.gazzettaufficiale.it](http://www.gazzettaufficiale.it) (Accesso effettuato il 5 Giugno 2018).
- ELEFANTE C., *The greenest building is... one that is already built*, *Forum Journal*, Vol. 21(4), 2007, p. 26.
- FASOLO B.; BANA E COSTA C.A., *Tailoring value elicitation to decision makers' numeracy and fluency: Expressing value judgments in numbers or words*, *Omega*, Vol. 44, 2014, pp. 83-90.
- FIGUEIRA J., GRECO S., EHRGOTT M., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer Berlin, Germania, 2005.
- HEAD B.W., *Wicked Problems in Public Policy*, *Public Policy*, Vol. 3(2), 2008, pp. 101-118.
- HUANG I.B., KEISLER J., LINKOV I., *Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends*, *Science of the Total Environment*, Vol. 409(19), 2011, pp. 3578-3594.
- HUGENTOBLER M., *QuantumGis*. In: *Shekhar S., Xiong H., (Eds), Encyclopedia of GIS*, Springer-Verlag, US, 2008, pp. 935-939.
- JANKOWSKI P., ANDRIENKO N., ANDRIENKO, G. *Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making*, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, Vol. 15, 2001, pp. 101-127.
- LAMI I.M., ABASTANTE F., *Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: Can the Analytic Network Process help?*, *Land Use Policy*, Vol. 41, 2014, pp. 11-20.
- LAMI I.M., ABASTANTE F., BOTTERO M., MASALA E., PENSA S., A

MCDA and data visualization framework as a Problem Structuring Method (PSM) to address transport projects, Euro Journal of Decision Processes (EJDP), Vol. 2(3-4), 2014, pp. 281-312.

LAMI I.M., *Analytical decision-making methods for evaluating sustainable transport*. In: European Corridors, 2014, Springer International Publishing AG, Cham Switzerland.

LOMBARDI P., ABASTANTE F., TORABI MOGHADAM S., TONIOLO J., *Multicriteria Spatial Decision Support Systems for Future Urban Energy Retrofitting Scenario*, Sustainability, Vol. 9, 2017, 9, pp. 1252.

MALCZEWSKI J., *Gis and Multicriteria Decision Analysis*, Wiley Hoboken, NJ, USA, 1999, p. 392.

MATTINEN M.K., HELJO J., VIHOLA J., KURVINEN A., LEHTORANTA S., NISSINEN A., *Modeling and visualization of residential sector energy consumption and greenhouse gas emissions*, Journal of cleaner production, Vol. 81, 2014, pp. 70-80.

MITTLER M., *Financial Analysis of Energy-Efficiency Measures in Commercial Real Estate: Quantifying the value adding characteristics of energy-efficiency measures in commercial real estate through asset value increase and yield on investment*, Energy tech, Vol. 1, 2016.

PAHIO S., HEDMAN A., ABDURAFIKOV R., HOANG H., SEPPONEN M., KOUHIA I., MEINANDER M., *Energy saving potentials of Moscow apartment buildings in residential districts*, Energy and Buildings, Vol. 66, 2013, pp. 706-713.

PATTI E., RONZINO A., OSELLO A., VERDA V., ACQUAVIVA A., MACII E. *District Information Modelling and Energy Management*, IT Professional, Vol. 17(6), 2015, pp. 28-34.

PARLAMENTO EUROPEO, E.P.B.D. *Directive Recast 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*, Official Journal of the European Union, 2010.

SCOTT K., POLLITT M., *An assessment of the present and future opportunities for combined heat and power with district heating (CHP-DH) in the United Kingdom*, Energy Policy, Vol. 38(11), 2010, pp. 6936-6945.

SPRAGUE R.H., CARLSON E.D., *Building effective Decision Support Systems*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1982.

VENNIX J., *Group model building: facilitating team learning using systems dynamics*, Wiley, London, 2006.

VOLVA IOVAS R., TURSKIS Z., AVIŽA D., MIKŠTIEN R., *Multi-attribute selection of public buildings retrofits strategy*, Procedia Engineering, Vol. 57, 2013, pp. 1236-1241.

WANG J.J., JING Y.Y., ZHANG C.F., ZHAO J.H., *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making*, Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 13, 2009, pp. 2263-2278.

#### Sitografia

[www.dimmerproject.eu](http://www.dimmerproject.eu) (accesso effettuato il 24 Febbraio 2017).

[www.cesiumjs.org](http://www.cesiumjs.org) (accesso effettuato il 25 Marzo 2017).

[www.regione.piemonte.it](http://www.regione.piemonte.it) (accesso effettuato il 30 Marzo 2018).

[www.m-macbeth.com](http://www.m-macbeth.com) (accesso effettuato il 30 Marzo 2018).