POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

LCC Analysis to evaluate the economic sustainability of technological scenarios on the district scale. - LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici

*Original*
LCC Analysis to evaluate the economic sustainability of technological scenarios on the district scale. - LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici alla scala del district / Fregonara, Elena; Carbonaro, Corrado; Pasquarella, Omar. - In: VALORI E VALUTAZIONI. - ISSN 2036-2404. - STAMPA. - 21:(2018), pp. 59-73.

*Availability:*
This version is available at: 11583/2721582 since: 2020-01-27T10:34:55Z

*Publisher:*
DEI

*Published*
DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

18 December 2025

# LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici alla scala del district

*Elena Fregonara*, Corrado Carbonaro**, Omar Pasquarella****

*parole chiave:* sostenibilità economica, life cycle cost analysis alla scala del district, global cost, retrofit energetico, scenari tecnologici, urban regeneration

## Abstract

*L'analisi delle alternative tecnologiche di progetto si profila quale passaggio cruciale per la verifica della sostenibilità economico-ambientale e, di conseguenza, per orientare Amministrazioni Pubbliche e operatori privati nelle scelte di investimento nel retrofit dei patrimoni verso Energy-Efficient Buildings. Per interventi di nuova costruzione o di retrofit energetico di edifici esistenti o di complessi di edifici, non si può però prescindere da una loro collocazione territoriale e da una più ampia visione infrastrutturale.*

*Nel saggio si propone l'applicazione dell'approccio Life Cycle Cost Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici opzionali. Assumendo i principi metodolgici dell'approccio LCCA, ampiamente esplorati alla scala del building, si prova a ragionare alla scala del district, affrontando la complessità che questa più ampia prospettiva di scala comporta. Al contempo, si propone l'applicazione dell'approccio LCCA su un caso già oggetto di un precedente intervento di retrofit: un "intervento di post retrofit" inquadrato in un contesto tecnologico e di mercato diversamente maturo.*

*Si propone la simulazione su un caso reale enucleato dal progetto europeo "Concerto AL Piano", sviluppato all'interno del programma "Concerto", cofinanziato dal Direttorato Generale Energia e Trasporti della Commissione Europea, sviluppato nel periodo settembre 2007 – agosto 2013.*

*Si assume in premessa il principio – emergente nella recente letteratura di settore – che una strategia progettuale a scala territoriale che integri differenti tecnologie di produzione energetica (teleriscaldamento da cogenerazione a gas, fotovoltaico, solare termico), sia preferibile a soluzioni focalizzate su singole tecnologie di generazione di energia (solo fotovoltaico, solo cogenerazione o solo solare termico), rinunciando a infrastrutture energetiche a scala di distretto urbano.*

*Le potenzialità offerte passando dalla scala del singolo edificio alla scala del sub-segmento territoriale e in compresenza di più fonti energetiche, evidenziate dai risultati, comportano certamente un cresciuto grado di complessità, a livello di sistemi e a livello valutativo. Complessità che può portare, però, ad importanti aperture per la governance territoriale e la definizione di politiche coerenti con gli obiettivi di contenimento energetico, con i requisiti di performance richiesti e, al contempo, sostenbili sul piano economico-finanziario.*

## 1. INTRODUZIONE

Attualmente la riqualificazione dello stock edilizio esistente, considerato nel suo contesto territoriale, offre molte aperture interessando come noto un settore particolarmente energivoro. Considerato che il tasso di sostituzione di edifici esistenti con edifici nuovi è solamente 1-3% all'an-

no circa, un rapido rilancio di misure di retrofit a larga scala è essenziale per una tempestiva riduzione dell'uso globale di energia. Inoltre, è essenziale per riattivare le opportunità di investire in trasformazioni urbane che, in prospettiva, potranno gradualmente cambiare aree strategiche delle città, permettendo l'avvio dei processi di trasformazione a "*smart cities*": opportunità com'è noto frenate dall'avvento della crisi economico-finanziaria che ha coinvolto il mercato immobiliare e il settore delle costruzioni [Brondino *et al*., 2011; Fregonara *et al*., 2017].

Per questo, la definizione dei requisiti energetici minimi (D.M. 26/06/2015) con implicazioni a livello di costi, per edifici nuovi e esistenti, è un aspetto chiave a livello europeo. Così emerge dal quadro internazionale delle regole e delle politiche per la sostenibilità energetico-ambientale degli edifici, con rilevanti ricadute per le discipline estimali e valutative [Fregonara *et al*., 2016]. In particolare, l'analisi delle alternative tecnologiche di progetto si profila quale passaggio cruciale per la verifica della sostenibilità economico-ambientale e, di conseguenza, per orientare le Amministrazioni Pubbliche e gli operatori privati nelle scelte di investimento nel retrofit dei patrimoni verso *Energy-Efficient Buildings* [Gluch *et al*., 2004; Schneiderova Heralova, 2014].

Ciò premesso, nel saggio si assume lo stato dell'arte di teorie e modelli per la valutazione economica dei progetti e, in relazione al quadro internazionale in materia di politiche energetiche, lo si rivisita in chiave "tecnologico-economica". Come premessa, si recepiscono e si sviluppano alcune parti trattate nella Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, discussa presso il Politecnico di Torino da Omar Pasquarella nell'A.A. 2015/2016, dal titolo "Life Cycle Cost Analysis per la sostenibilità economica di interventi di nuova costruzione/retrofit energetico dal building al district: il caso del progetto europeo "Concerto AL Piano", Relatore Elena Fregonara, Correlatore Corrado Carbonaro.

Il fuoco è poi posto sul concetto di "*life cycle*" recependo obiettivi e principi del *Life Cycle Thinking* [Glundes, 2016]: il ciclo di vita è cruciale per i processi di *decision-making* in presenza di opzioni tecnologiche alternative, alle diverse scale di produzione/costruzione (singolo materiale, singolo componente, sistemi alla scala di edifico-impianto) o a diversi livelli territoriali (scala dei progetti di trasformazione complessi, scala del *district*, scala urbana) [Edwards *et al*., 2003; Caputo *et. al*., 2013; Ristimäki *et al*., 2013; Han *et al*., 2014]. In particolare, si assume l'approccio *Life Cycle Costing (LCC)*, o *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*, quale strumento di supporto alle decisioni fra alternative di progetto in presenza di criteri di efficienza, di efficacia, di costi e benefici nel breve/lungo termine [Gluch *et at*., 2004]. Fondamento della metodologia LCC (Standard ISO 15686:2008 - Part 5) è il concetto di *Global Cost* (Standard EN 15459:2007), che include i costi energetici degli edifici, gli investimenti iniziali, l'eventuale valore residuo dei beni/componenti, rapportati ad opportuni saggi di sconto annuali.

Obiettivo del lavoro è sperimentare l'approccio LCCA alla scala del *district*, superando le più frequenti applicazioni sviluppate alla scala del *building*, già esplorato in letteratura [Goh *et al*., 2015]. Due sono i livelli di risultati attesi: da un lato, la replicabilità dell'approccio nel caso di complessi edilizi simili per epoca, tipologia edilizia, caratteristiche costruttive, prestazione energetica e, come spesso avviene, stato di conservazione; dall'altro, l'estendibilità dell'approccio LCCA dal singolo edificio a porzioni territoriali urbane.

Si propone la simulazione su un caso concreto enucleato dal progetto europeo "Concerto AL Piano", sviluppato all'interno del programma "Concerto", cofinanziato dal Direttorato Generale Energia e Trasporti della Commissione Europea, nel periodo settembre 2007 – agosto 2013. Il progetto "Concerto AL Piano", si ricorda, assumeva l'obiettivo di innescare processi di rigenerazione urbana a scala di edificio e di quartiere, attraverso la riqualificazione energetica e ambientale del tessuto esistente. Focalizzandosi sul quartiere "Cristo" della città di Alessandria, il progetto prevedeva interventi di retrofit energetico e architettonico di un complesso residenziale di proprietà dell'Agenzia Territoriale per la Casa (ATC) di Alessandria, comprensivo di 299 alloggi distribuiti in 11 edifici residenziali, un nuovo complesso residenziale denominato "nuovo Eco-Villaggio", composto da 104 appartamenti ad elevata sostenibilità energetico-ambientale, una nuova residenza per anziani di proprietà dell'ATC Alessandria e la rete di tele riscaldamento di quartiere, alimentata da una centrale di cogenerazione a gas [Pagani *et al*., 2016]. L'intento più generale del progetto era dimostrare come la rigenerazione urbana, attraverso il retrofit energetico e la realizzazione di nuovi edifici ad elevata sostenibilità, doveva avvenire attraverso interventi integrati in grado di unire le logiche di implementazione tecnologica, alla scala dell'edificio, a quelle di infrastrutturazione urbana, alla scala del quartiere.

Dal punto di vista economico, il caso è particolarmente interessante perchè si riferisce ad un contesto reale, che affianca interventi di retrofit energetico di edifici esistenti a interventi di nuova costruzione, consentendo di ragionare come detto alla scala di distretto ubano e per comparazione con approcci tecnologici (e normativi) differenti [Pagani *et al*., 2016].

Ciò considerato, obiettivo della ricerca è la proposta di una modalità operativa in grado di:

- analizzare scenari tecnologici differenti in grado di rispondere ai requisiti di performance energetica, al fine di individuare quello preferibile in termini di sostenibilità economica;
- supportare il confronto fra configurazioni tecnologiche limitate a dotazioni alla scala di edificio e interventi per la dotazione di infrastrutture energetiche condivise alla scala di quartiere [Pagani *et al*., 2016].

Più precisamente, si vuole esplorare se gli interventi alla scala del distretto urbano possano garantire, a livello energetico-economico, il raggiungimento di soluzioni preferibili – in termini costo-ottimali –, rispetto ad interventi alla scala dell'edificio. L'estensione dell'ambito di applicazione

dal *building* al *district* assume peraltro i potenziali vantaggi resi dalla replicabilità degli interventi di retrofit energetico sul patrimonio edilizio esistente, o nei casi di grandi operazioni edilizie che spesso intercettano sub-segmenti territoriali omogenei per tipologie e sistemi di valori immobiliari.

Alla luce di queste premesse, il saggio si articola come segue: nella sezione 1 si presenta il quadro normativo di riferimento sul tema. La sezione 2 è dedicata alla descrizione del contesto di applicazione, con riferimento al caso-studio prescelto. Nella sezione 3 si presenta la metodologia, declinata in analisi dei consumi energetici attesi e analisi economica. In sezione 4 si illustrano i risultati dell'analisi energetico-economica. La sezione 5 conclude lo scritto.

## 2. FRAMEWORK NORMATIVO

Il nodo delle politiche energetiche negli ultimi decenni è stato, come detto in apertura, al centro del dibattito politico internazionale. In sinergia, le comunità scientifiche coinvolte si sono dimostrate particolarmente attive nel supportare, con contributi metodologici e sperimentazioni applicative, la definizione delle politiche stesse o il recepimento e trasposizione degli indirizzi normativi comunitari in norme di livello locale. Intorno a due Direttive europee fondamentali e ad alcuni Standard internazionali si articola la sinossi delle norme, accomunate dall'obiettivo di promuovere il miglioramento delle performance energetiche degli edifici e di uniformare gli indirizzi metodologici volti a supportarne le azioni pratiche.

Di seguito sono menzionate le principali norme assunte a riferimento per il lavoro qui presentato:

- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Off. J. Eur. Union (2010);
- Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) n. 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council, Off. J. Eur. Union (2012) on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements;
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC e 2006/32/EC;
- Standard ISO 15686:2008, Buildings and constructed assets – Service-life planning, particularly Part 5: Life Cycle Costing, prepared by Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life;
- Standard EN 15643-4: 2011, Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance;
- Standard EN 16627:2015 - Sustainability of construction works. Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods;
- Standard EN 15459:2007 - Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings.

## 3. CONTESTO DI SPERIMENTAZIONE

Il progetto "Concerto AL Piano" discende da un'iniziativa promossa dalla Commissione Europea. Il titolo "Concerto" è stato scelto in linea con l'idea che i programmi proposti prevedessero la partecipazione di numerosi attori sociali per perseguire obiettivi ambiziosi all'interno di processi di trasformazione urbana. Il programma europeo, che coinvolge 58 comunità in 22 progetti esemplari, ha lo scopo di affrontare, a scala di quartiere urbano, le problematiche legate al concetto di sostenibilità in relazione allo sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili, posto l'obiettivo di massimizzare l'efficienza energetica a scala di edificio e di quartiere.

Ogni progetto Concerto affronta la complessità intrinseca ai processi di trasformazione e rigenerazione urbana, grazie alla messa a regia di molteplici competenze appartenenti al mondo della Pubblica Amministrazione, degli investitori privati e della ricerca. L'esperienza di Concerto AL Piano ha rappresentato l'occasione per sperimentare le "tattiche" applicabili per raggiungere l'obiettivo della sostenibilità energetica a scala urbana: l'approccio integrato alla progettazione urbana trova il suo maggiore significato nella possibilità di essere ampliato e replicato in modo strategico nelle città. La generazione dei progetti Concerto ha prodotto, in seno ai direttorati tecnici della Comunità Europea, l'esperienza necessaria per passare dalla scala del quartiere alla scala della città, facendo tesoro delle *Lessons Learnt* e lanciando il nuovo programma di sperimentazione denominato "Smart Cities" [Mosannenzadeh *et al.*, 2017].

La città di Alessandria, partecipando al progetto "Concerto", ha avuto la possibilità di comprendere l'importanza della pianificazione strategica dell'uso delle risorse energetiche a scala urbana, alimentando nuove partnership tra soggetti pubblici e privati e un più esteso know-how supportato dal confronto con altre realtà europee e contesti di ricerca. L'esperienza, infatti, è stata il punto di partenza di un percorso che ha portato poi all'adesione al Patto dei Sindaci. Quest'ultimo, come noto, consiste in un'iniziativa della Comunità Europea che coinvolge le città nello sviluppo di Strategic Energy Action Plans, piani urbani di gestione dell'energia, posto l'obiettivo di raggiungere la diminuzione del 20% delle emissioni di $CO_2$ entro il 2020.

L'area del progetto "Concerto AL Piano", già interessata da un programma di interventi previsti dal Contratto di Quartiere II, è esemplare quale porzione con grandi vuoti urbani e con rilevanti problemi di integrazione sociale, degrado urbano ed edilizio, mancanza di servizi. L'area in oggetto è uno dei tanti vuoti presenti nella periferia urbana, un interstizio tra lottizzazioni di edilizia sociale, costruiti senza alcuna integrazione con l'esistente. Da una rapida lettura

del territorio emergono le cesure che compromettono il tessuto urbano, i vuoti che ne caratterizzano la discontinuità e le antiche matrici territoriali (dalle cascine alle fortificazioni urbane) ancora visibili, ma negate dalle lottizzazioni del secondo dopoguerra.

Il progetto propone soluzioni in grado di ovviare alle problematiche dei contesti urbani frammentati e degradati con una corretta riqualificazione dell'esistente, promuovendo una più ampia mixité sociale, edificando nuove residenze e servizi attraverso la dotazione di infrastrutture per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, rigenerando il tessuto urbano.

Infine, il progetto europeo "Concerto" ha permesso alle istituzioni locali di rendere più ambizioso il progetto di rigenerazione urbana, grazie alla possibilità di avvalersi delle esperienze e delle competenze dei partners europei coinvolti e agli ulteriori incentivi per la sostenibilità energetica a scala di quartiere e di edificio, basata sullo sfruttamento di fonti rinnovabili.

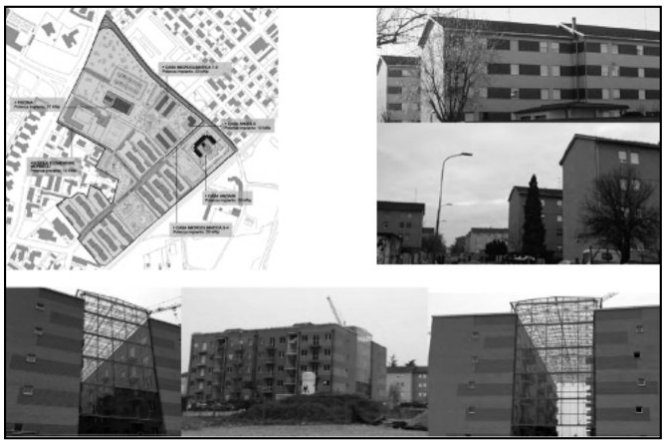

**Figura 1 -** *Area di progetto "Concerto AL Piano". Renew: edifici di edilizia residenziale pubblica ante e post retrofit. New: case microclimatiche*

Più precisamente, il progetto prevede un approccio integrato alla progettazione, condiviso da tutti gli stakeholders (comune, professionisti, istituzioni, abitanti, imprese), con interventi sia a scala di edificio, implementandone le dotazioni di involucro e di impianto termico, sia a scala di quartiere, attraverso la realizzazione di un nuovo "Distric Heating" alimentato da una centrale di cogenerazione a metano. Tale scelta progettuale discende dalla volontà propria dei progetti del programma Concerto: verificare la convenienza economica ed energetica della generazione distribuita dell'energia, con centrali locali di cogenerazione di quartiere alimentate da fonti rinnovabili. Le sperimentazioni dell'ultimo decennio suggeriscono infatti che la generazione diffusa possa determinare vantaggi sia in termini economici sia in termini di efficienza globale del sistema energetico urbano [Manfren *et al.*, 2011; Martin-Martinez *et al.*, 2017].

Nelle simulazioni energetiche sviluppate nell'ambito del progetto sono state individuate soluzioni che, pur condividendo i principi di una progettazione a più scale, fossero capaci di massimizzare configurazioni tecnologiche fra loro alternative. Il range di soluzioni, a scala territoriale, presenta performance energetiche che variano dalla classe F alla classe A4, secondo la classificazione presentatta nel D.M 26/06/2015 sui requisiti minimi energetici degli edifici.

A livello strategico è stato sviluppato un programma di rigenerazione urbana che può essere riassunto in quattro punti fondamentali:

- progettazione partecipata per l'individuazione di obiettivi condivisi e la comunicazione dei risultati raggiunti;
- progettazione con metodiche di analisi della sostenibilità energetico-ambientale, al fine di controllare e simulare i risultati delle scelte progettuali;
- ricorso a sistemi tecnologici integrati e tipologie architettoniche efficienti e non comuni, per garantire elevate performances in ambito di sostenibilità energetica e di comfort abitativo;
- verifica e monitoraggio dei risultati per validare i metodi da replicare in altre parti della città e per eventualmente intervenire in caso di necessità di implementazione dei risultati.

A livello tattico il progetto prevede, invece, di attuare tre linee d'intervento:

- New-costruzione di nuovi eco-building residenziali e di una rete di tele-riscaldamento di quartiere, alimentata da una centrale a cogenerazione per un totale di 104 alloggi;
- Re-New – riqualificazione di un complesso edilizio residenziale sociale con 300 abitazioni di proprietà dell'Agenzia Territoriale per la Casa della Provincia di Alessandria (ATC);
- New Social Elderly – realizzazione di una nuova casa anziani da parte dell'ATC di Alessandria, per ospitare una comunità di anziani in un edificio residenziale a basso consumo energetico;
- Retrofit – promozione di interventi di riqualificazione energetica di una vasta area urbana di Alessandria, allo scopo di diffondere la cultura della sostenibilità, reperire informazioni diffuse sulla qualità edilizia e le dotazioni tecnologiche del tessuto urbano, sviluppare una strategia di intervento a macro scala in base al modello energetico costruito sulla base dei feed-back ricevuti dall'azione di riqualificazione.

## 4. FRAMEWORK METODOLOGICO

Il corpo dello studio fonda su un'analisi a due fasi: 1) analisi dei consumi energetici attesi; 2) analisi economica. Più precisamente, i risultati della fase 1) confluiscono, quali dati di input, nella fase 2).

A conclusione della fase 2) si evincono le soluzioni finali, in

termini di soluzioni preferibili dal punto di vista energetico-economico.

La fase 1) - valutazione dei consumi energetici attesi, è a sua volta articolata nei seguenti passaggi:

- individuazione di soluzioni energetico- efficienti per il miglioramento della performance energetica dell'involucro degli edifici e del sistema edificio-impianto, attraverso il miglioramento dei componenti di involucro, l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento di quartiere e la dotazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili;
- definizione di differenti scenari sulla base di combinazioni di soluzioni tecnologiche alternative tra loro;
- calcolo dei consumi di energia primaria per ciascuno scenario, a seguito del calcolo dei fabbisogni per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'energia elettrica ad uso domestico;
- confronto degli scenari tecnologici in relazione ai relativi consumi energetici attesi.

La fase 2) - valutazione economica, è a sua volta articolata nei seguenti passaggi:

- calcolo del Life Cycle Cost per ciascuno scenario, in termini di Global Cost, quindi con riferimento all'intero ciclo di vita degli edifici e recependo i risultati dell'analisi dei consumi energetici attesi;
- calcolo degli indici di performance economica attraverso l'approccio Life Cycle Cost Analysis;
- comparazione degli indicatori economici degli scenari alternativi rispetto allo "scenario base";
- individuazione di variabili critiche e sviluppo della Sensitivity Analysis (deterministica);
- individuazione della soluzione preferibile dal punto di vista sia energetico sia economico.

Di seguito sono richiamati alcuni aspetti metodologici di dettaglio.

## 4.1 Analisi dei consumi energetici attesi: aspetti metodologici

La metodologia adottata per l'analisi dei consumi energetici effettivi degli edifici esistenti e per l'analisi dei consumi energetici previsti degli edifici di nuova costruzione può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- i consumi di energia primaria degli edifici esistenti, sia antecedenti sia susseguenti agli interventi di retrofit, sono quantificati sulla base dei consumi di energia elettrica e termica desunti dalle bollette fornite dall'ATC di Alessandria, per il periodo 2006-2012;
- i consumi di energia primaria degli edifici di nuova costruzione (Nuovo Eco Villaggio e Nuova casa anziani) sono calcolati tramite simulazioni prodotte mediante il software TERMUS (prodotto e distribuito da ACCA software S.p.A.), in conformità con la norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- i consumi attesi relativi agli impianti di produzione di energia elettrica e termica da fonti rinnovabili sono calcolati mediante il software TERMUS e conformemente alla normative UNI EN ISO 11300 - parti 4 e 5;
- il computo della produzione di energia da impianto di cogenerazione e distribuzione dell'energia termica ed elettrica è svolto sulla base delle simulazioni effettuate dalla compagnia responsabile del progetto della rete di teleriscaldamento nella versione del 2011, concidente con un rendimento di primo principio del 86.5%, di cui il 39.6% del totale è dedicato alla produzione di energia elettrica (opera non realizzata e sostituita in base al progetto prodotto da un'altra società di fornitura di servizi energetici);
- il calcolo dell'apporto di energia primaria dovuto alla presenza di serre solari è effettuato tramite il software TERMUS, in conformità con la norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- l'analisi dell'energia termica risparmiata a seguito dello sfruttamento della tecnologia ad Atrio solare è simulato considerando, in fase di bilancio energetico degli edifici, i muri rivolti verso l'atrio microclimatico e rivolti verso vani non riscaldati ai sensi della norma UNI EN ISO 11300 - parte 1;
- il valore adottato per le perdite di calore dovute a dispersioni della rete di teleriscaldamento di quartiere è pari al 10%, in relazione alle indicazioni fornite dal rapporto "Indagine conoscitiva sul settore del teleriscaldamento (IC 46)";
- il valore adottato per le dispersioni dovute alla distribuzione e al trasporto dell'energia elettrica prodotta dal cogeneratore coincide con quella delle piccole reti di distribuzione: 2,2 % (Fonte Autorità Energia Elettrica e Gas);
- nel caso di prelievo di energia elettrica direttamente dalla rete nazionale è stato considerato un rendimento pari a 0,413, in considerazione dell'ammontare delle inefficienze di generazione, distribuzione e trasporto;
- i dati di input relativi alla conducibilità termica, alla permeabilità al vapore e alla densità dei materiali d'involucro sono attinti dalle schede tecniche dei materiali adottati negli interventi edilizi, mentre per i muri esistenti sono ipotizzati in relazione alla banca dati del software TERMUS, conformemente alla UNI EN ISO 1600 - parte 1.

## 4.2 Analisi economica: aspetti metodologici

Dal punto di vista economico si propone l'applicazione dell'approccio LCCA, il cui fondamento metodologico è rintracciabile, si è detto, nello Standard ISO 15686–5:2008 - Buildings and constructed assets – Service-life planning (documento predisposto dal Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC 14, Design life). In particolare si assume la metodologia illustrata in Part 5 - Life Cycle Costing.

Com'è noto, l'approccio è utilizzato per quantificare e comparare proposte progettuali alternative, in termini di costi

e di potenziali risparmi, considerati questi rispetto all'intero ciclo di vita e rispetto a categorie di costo rilevanti (Flanagan, 1983; Schmidt, 2003; Fregonara *et al.*, 2017 a,b). Solitamente, nei progetti di intervento immobiliari attraverso l'approccio LCCA si comparano, sulla base di criteri di efficienza ed efficacia, diverse soluzioni tecnologiche che possono essere riferite a singole componenti, singoli materiali, sistemi o interi edifici. Risulta poi utile ricordare che l'approccio è adatto a trattare sia interventi di nuova costruzione sia interventi di adeguamento energetico/retrofit di edifici esistenti, incluso il caso del patrimonio storico. Scopo generale del metodo è infatti la comparazione di diverse soluzioni tecnologiche sulla base dei relativi costi nel ciclo di vita, o definire graduatorie di preferibilità fra progetti fra loro alternativi.

Nella letteratura recente si rintracciano applicazioni che considerano sistemi alla scala di edificio (per esempio sistemi di illuminazione, riscaldamento-raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria), focalizzandosi sulla quantificazione di costi di breve o lungo termine e di benefici potenzialmente prodotti (solitamente nella forma di risparmi, o "costi negativi").

I risultati sono usualmente espressi attraverso il calcolo di indicatori quantitativi quali: Net Present Value (NPV), Net Present Cost (NPC), Net Savings (NS), Simple/Discounted Pay Back Period (SPB/DPB), Savings to Investment Ratio (SIR), Adjusted Internal Rate of Return (AIRR). Essenziale per il calcolo è disporre preventivamente di dati di input sui costi rilevanti, sui profili di costo di ogni opzione, di dati finanziari (Langdon, 2007; König *et al.*, 2010).

Il cuore del metodo LCCA è il calcolo del Global Cost nei termini definiti nello Standard EN 15459:2007, poi specificati nelle relative Guidelines e nel Commission Delegated Regulation (EU) N. 244/2012, emanate a seguito della Direttiva 2010/31/EU – EPBD recast. Come noto, il calcolo del Global Cost rimanda a due possibili approcci: il metodo del costo globale e il metodo delle annualità. Il primo è qui proposto per analogia con i metodi consolidati per la valutazione della fattibilità economica dei progetti (in particolare con l'approccio Discounted Cash-flow Analysis che, come l'approccio LCCA, presenta un'impostazione di calcolo basata su flussi di cassa attualizzati).

Formalmente, come ripreso in recenti studi (Corrado *et al.*, 2014; Becchio *et al.*, 2015) il Global Cost prevede la somma dei costi di investimento iniziali (non attualizzati), cui si aggiunge la somma dei costi annuali sostenuti durante l'esercizio del bene, nell'arco temporale di riferimento (vita utile), dedotti i valori residui finali, tutti attualizzati. I valori residui finali possono essere presenti qualora i sistemi/componenti presentino una vita utile più lunga della vita utile dell'intero edificio. Formalmente, il modello generalizzato risulta come segue [EN 15459:2007]:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} \left( C_{a,i}(j) \cdot R_d(i) \right) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

dove: $C_{G(\tau)}$ = costo globale (riferito all'anno inizale $\tau_0$); $C_I$ = costi di investimento iniziali; $C_{a,i\,(j)}$ = costo annuale all'anno *i* del componente *j*, il quale include i costi operativi annuali (costi per l'energia, costi operativi, costi di manutenzione) e i costi per la sostituzione periodica; $R_{d\,(i)}$ = fattore di sconto durante l'anno *i*; $V_{f,\tau(j)}$ = valore residuo del componente *j* alla fine del periodo di caclolo, riferito all'anno iniziale. I costi debbono essere opportunamente attualizzati, essendo riferiti all'intero periodo di calcolo; formalmente, il fattore di sconto $R_d$ si presenta come:

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p$$

dove: *p* è il numero di anni e *r* rappresenta il saggio di sconto reale, definito con riferimento al contesto territoriale in cui si colloca l'analisi.

In sintesi, il calcolo del Global Cost proposto in questo studio si basa sulle seguenti assunzioni:

- per condurre il calcolo si adotta il "metodo del costo globale" (alternativo al metodo delle annualità);
- i costi di investimento iniziali sono relativi agli interventi di nuova edificazione/retrofit prefigurati secondo diversi scenari tecnologici. In particolare, per gli edifici esistenti si considerano i costi di retrofit energetico attraverso impianti termici e misure di implementazione tecnologica di involucro, mentre per gli edifici nuovi si considerano i costi di costruzione;
- fra i costi rilevanti si considerano i costi operativi e i costi di manutenzione;
- il (eventuale) valore residuo dei beni/sistemi/componenti/materiali e i costi di fine vita/smaltimento non sono considerati.

Formalmente, il calcolo del costo globale – qui semplificato rispetto al modello generalizzato e, inoltre, non considerando l'eventuale valore residuo di beni/sistemi/componenti/materiali e i costi di fine vita/smaltimento – si incardina sulla seguente equazione:

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^{N} \frac{C_0 + C_m}{(1+r)^t}$$

dove: *LCC* rappresenta il costo nel ciclo di vita; $C_i$ rappresenta i costi di investimento iniziali; $C_o$ rappresenta i costi operativi ed energetici (o di gestione); $C_m$ rappresenta i costi di manutenzione, t l'anno in cui i costi si presentano e *N* il numero di anni inclusi nell'intero arco temporale considerato per l'applicazione; *r* rappresenta il saggio di attualizzazione.

Si precisa che i dati di input relativi alle voci di costo rilevanti sono solitamente dedotti da analisi di mercato, per comparazione con interventi simili, oppure da banche dati precostituite, o ancora da indagini presso fonti fiduciarie (operatori del settore). La scelta dell'orizzonte temporale di riferimento per il calcolo – passaggio questo molto delicato –

è operata sulla base della vita stimata dell'edificio e delle sue componenti tecnologiche· Alcune indicazioni sui periodi di vita, anche di sistemi e componenti, sono deducibili dalle linee guida fornite nel documento Commission Delegated Regulation (EU) N. 244/2012, nonchè dal European Standard EN 15459:2007 (Annex A).

A partire da queste assunzioni di metodo è posto l'obiettivo di individuare la graduatoria di preferibilità di un set di scenari, definiti in precedenza in funzione di diverse soluzioni tecnologiche, o Energy Efficiency Measures (EEMs), sviluppando l'analisi economica illustrata in sezione 4.

## 5. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI ATTESI E ANALISI ECONOMICA

Come detto, per l'applicazione dell'analisi LCC è necessario disporre di dati sulla performance energetica degli edifici in relazione a scenari alternativi (EEMs), presupposto che ogni tecnologia inclusa nelle soluzioni progettuali implica differenti costi e differenti livelli di performance; tra questi scenari si dovrà selezionare la soluzione preferibile, o la relativa graduatoria di preferibilità, in termini economici ed energetici.

### 5.1 Analisi dei consumi energetici: applicazione

L'analisi dei consumi energetici attesi è prodotta a partire dalla prefigurazione di 6 scenari ottenuti distinguendo, per ciascuno, la porzione di nuova costruzione/retrofit e individuando le relative EEMs. Queste ultime sono declinate sulla base di differenti approcci di implementazione tecnologica a scala di edificio e a scala di quartiere: sistema involucro, sistema impianti, dotazione infrastrutturale ed energetica a servizio dell'area urbana oggetto di studio. Nell'analisi condotta non è considerato l'intervento New Social Elderly, in quanto non si dispone di tutti i dati relativi ai costi sostenuti per la realizzazione dell'edificio. Quindi, il costo riferito alla realizzazione dell'impianto di cogenerazione e della rete di teleriscaldamento è stato parametrizzato in funzione delle superfici realmente utilizzate nell'analisi degli scenari oggetto di indagine.

Le simulazioni sui consumi attesi dei 6 scenari sono effettuate rispetto ai requisiti di performance prescritti dalle normative di riferimento (D.G.R. 43-46/2009, D.M. 26/06/2015, prescrizioni al 2021), rispetto allo stato di fatto e alle indicazioni di progetto.

I differenti scenari si differenziano, per comparazione, rispetto all'intervento concretamente realizzato nel progetto "Concerto AL Piano" (nominato Scenario 3), secondo le seguenti strategie tecnologiche d'involucro e d'impianto:

- lo stato di fatto precedente agli interventi di retrofit completato con la valutazione previsionale dei consumi energetici del Nuovo Eco-Villaggio, come se fosse stato edificato secondo i limiti imposti dalla normativa regionale del 2009 (D.G.R. 43 e 46 del 2009) (Scenario 1);
- il progetto "Concerto AL Piano", ripensato nella condizione in cui gli edifici abbiano valori di trasmittanze termiche d'involucro coerenti con il quadro normativo di riferimento del 2009 e per i quali l'energia termica ed elettrica sia fornita dalla centrale a cogenerazione di quartiere, integrata da quella autoprodotta sugli edifici di nuova edificazione che copre rispettivamente il 60% del fabbisogno atteso di energia per l'acqua calda sanitaria e il 31% del fabbisogno di energia elettrica (Scenario 2);
- il progetto "Concerto AL Piano", modificato in modo che gli edifici abbiano valori di trasmittanza di involucro in linea con i limiti fissati al 2021 (D.M. 26/06/2015), e che il fabbisogno di energia sia soddisfatto solamente grazie a tecnologie solari posizionate su superfici pubbliche e private del quartiere (eliminando qualsiasi strategia di integrazione e ottimizzazione delle tecnologie energetiche a scala territoriale), supportate da caldaia a condensazione (per il picco di domanda e come back-up), sistema di accumulo e centralina di controllo e gestione (Scenario 4);
- il progetto in tutto simile allo Scenario 4 escluse le dotazioni tecnologiche d'involucro, in questo caso identiche a quelle concretamente realizzate in "Concerto AL Piano" (Scenario 5);
- la configurazione progettuale "limite", che massimizza l'utilizzo di fotovoltaico a scala di edificio, accoppiato ad un impianto termico con pompe di calore del tipo aria-acqua e che prevede edifici con tecnologie d'involucro uguali a quelle realmente realizzate nel progetto europeo (Scenario 6).

Gli scenari alternativi sono quindi comparati con lo Scenario 3, assunto come *base-case*.

Gli scenari 4, 5 e 6 sono caratterizzati dalla massimizzazione delle tecnologie solari, le quali richiedono una superficie di captazione molto estesa. La scelta di adottare tali scenari è effettuata al fine di verificare quanto sia economicamente preferibile l'adozione di una tecnologia, i cui costi sono in larga parte sostenuti da forme di finanziamento statale che ricadono direttamente sulla proprietà dell'immobile (il 65% del costo dell'investimento può essere dedotto fiscalmente in rate annuali di 10 anni secondo la Legge 27/12/2017, n. 205). La massimizzazione della superficie di captazione richiede certamente una quantità molto estesa di superficie di captazione ben esposta, che nel caso dello Scenario 6 consiste in 6650 $m^2$ di pannelli fotovoltaici.

Consapevoli della difficoltà che l'applicazione di tale misura energetica comporta, in particolare in un'area urbana seppure dotata di ampi spazi verdi, si è scelto di operare in tal senso al fine di rappresentare un "caso limite" di approccio sistemico alla progettazione energetico-ambientale a scala di quartiere. Si deve notare che, realisticamente, sarebbe necessario stipulare preventivamente accordi specifici con le istituzioni pubbliche al fine di collocare pensiline e tettoie negli spazi verdi che fungano da supporto alla generazione di energia privata: i soggetti privati, con la donazione di una quota delle detrazioni fiscali, pagherebbero l'occupazione delle superfici esposte delle pensiline pur mantenendo il vantaggio di una generazione di energia da

fonte rinnovabile comunque economicamente conveniente. Il governo locale riuscirebbe invece a sovvenzionare, almeno in parte, la realizzazione di piccole infrastrutture urbane (pensiline, tettoie, piccoli edifici per la gestione e manutenzione degli spazi pubblici) in virtù della cessione delle superfici coperte con la migliore esposizione solare.

Attraverso il programma per certificazioni energetiche TERMUS sono individuati i dati di consumo corrispondenti ai 6 differenti scenari di intervento.

Come si evince dalla Figura 2, il livello di consumo di energia primaria diminuisce progressivamente via via che si integrano soluzioni tecnologiche a scala di edificio con misure di produzione di energia a scala di quartiere. Soprattutto per le fonti rinnovabili, la necessità di spazio utile, soleggiato e non ombreggiato, non è sempre disponibile sulle coperture e sulle facciate degli edifici: la possibilità di ricorrere a superfici comuni, che implementino la produzione, risulta essere la più conveniente dal punto di vista energetico.

Coerentemente, le diverse prestazioni degli scenari analizzati corrispondono a differenti Classi Energetiche, come si evince dalla Figura 2.

Confrontando i risultati della simulazione dei consumi di energia primaria per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e per la produzione di energia elettrica ad uso domestico si evince che:

- il confronto tra i consumi dell'area di progetto prima e dopo il progetto "Concerto Al Piano" (Scenario 1 vs. Scenario 3) evidenziano come le misure tecnologiche scelte siano efficaci soprattutto per l'intervento di retrofit del complesso residenziale ATC, per il quale si ottiene una riduzione dei consumi del 60% circa che determina il raggiungimento della classe energetica D, mentre per il Nuovo Eco Villaggio la differenza ridotta delle soluzioni di involucro e il passaggio da una caldaia standard (norma 2009) alla rete di teleriscaldamento determina poco più che il salto di una classe energetica (riduzione del 13% dei consumi di energia primaria attesi);
- il confronto tra Scenario 2 e Scenario 3 evidenzia come per le nuove costruzioni le soluzioni di Concerto AL Piano forniscono risultati migliori del 5% rispetto alle prescrizioni a termini di legge per il 2021, in virtù delle migliori dotazioni tecnologiche d'involucro, mentre per il retrofit gli interventi di isolamento e di sostituzione dei serramenti nello Scenario 2 determinano una riduzione dei consumi attesi di energia primaria del 36%;
- il confronto tra gli Scenari 4 e 5 dimostra come, a parità di dotazioni di impianto, ovviamente il progetto che ricorre a misure di contenimento delle dispersioni più efficienti ottiene un migliore risultato; tale confronto evidenzia anche che, come riportato largamente nella letteratura scientifica [Mancarella, 2014] l'intervento più efficace è caratterizzato dall'implementazione integrata, in grado di coinvolgere l'intero sistema edificio-impianto (e non, solamente, uno dei due);
- poiché il metodo di classificazione energetica degli edifici non tiene conto dei consumi di energia primaria soddisfatti da fonte rinnovabile, lo Scenario 5, che prevede tecnologie d'involucro uguali, ma che massimizza il ricorso a fonti di energia solare al posto di fonti di cogenerazione a gas, ancorché ad alta efficienza, risulta preferibile rispetto allo Scenario 3 sia per i nuovi interventi (riduzione del 42% del consumo di energia primaria attesa) sia per gli interventi di riqualificazione (riduzione del 59% dei consumi attesi);
- il confronto tra i tre scenari che utilizzano solamente energia solare vede lo Scenario 6 come il più energeticamente sostenibile, in quanto, per la parte di energia termica, sfrutta in modo più efficiente l'energia elettrica da fotovoltaico, prodotta grazie all'accoppiamento con pompa di calore aria-acqua ad alta efficienza (Coefficient of Performance > 4).

La valutazione del bilancio energetico del *district* oggetto di intervento evidenzia come a scala di settore urbano sia importante sviluppare progetti che cerchino di assicurare contemporaneamente le tre seguenti condizioni:

1. la valutazione integrata dell'intero sistema edificio-impianto e non solamente dell'involucro o degli impianti termici o elettrici;
2. la massimizzazione dell'uso di fonti rinnovabili;
3. la generazione diffusa di energia integrando i sistemi produttivi a scala di edificio con quelli a scala di quartiere, attraverso lo sfruttamento, concordato con le istituzioni locali, di arredi e dotazioni comuni per la generazione diffusa dell'energia (quali ad esempio coperture di pensiline esposte a sud).

La realizzazione di infrastrutture diffuse (sistemi solari per la produzione di energia) o concentrate (centrali di cogenerazione con rete di teleriscaldamento) a servizio del quartiere determina, inoltre, la possibilità di ridurre i costi marginali di spesa per l'energia. Al proposito, si può ipotizzare che se la comunità si organizzasse in forma di "unico utente" per la fornitura di energia relativa all'area urbana di trasformazione (ad esempio in qualità di associazione locale di consumatori), potrebbe certamente riscontrare una migliore capacità contrattuale nei confronti dei fornitori di servizi energetici, traendone maggiori vantaggi economici.

## 5.2 Analisi economica: applicazione

Obiettivo dell'analisi economica è confrontare gli scenari tecnologici alternativi, prima descritti, al fine di supportare la definizione di strategie di progettazione tecnologica a scala di quartiere, assumendo due condizioni in premessa:

1. garantire la confrontabilità tra tutti gli scenari mantenendo le caratteristiche del progetto realizzato "Concerto AL Piano", maturate all'interno di un contesto unico;
2. aggiornare i costi di costruzione, di impianto e di gestio-

**Tabella 1 -** *Scenari di intervento*

**PRODUZIONE DI SIMULAZIONI E ANALISI DEI RISULTATI:**
**SCENARI DI INTERVENTO**

| | | INTEGRAZIONE TECNOLOGICA A SCALA DI QUARTIERE | RIFERIMENTO TRASMITTANZE INVOLUCRO | CALDAIA A BASSA EFFICIENZA (ng = 0,65) | (U : W/mqK) | | | (U : W/mqK) | CALDAIA A CONDENZAZIONE (ng = 0,95) | POMPE DI CALORE PER RISCALDAMENTO E ACS | CALDAIA STANDARD (ng = 0,75) | SISTEMA COGENERAZIONE | SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE | IMPIANTO SOLARE TERMICO | IMPIANTO FOTOVOLTAICO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FONTE ENERGETICA | | | GAS METANO | | | | | GAS METANO | ENERGIA SOLARE DA FV | GAS METANO | GAS METANO | FONTE MISTA (mix energetico nazionale) | ENERGIA SOLARE | ENERGIA SOLARE |
| - SCENARIO 1 | NEW | NO | D.G.R. 43-46 DEL 2009 | ---- | 0.30 | 0.33 | 0.33 | 2.00 | 100% Fab. riscaldamento e 40% Fab. ACS | ---- | 60% Fab. ACS | ---- | Fab. Uso Domestico | 60% Fab. ACS | ---- |
| | RE-NEW | | STATO DI FATTO (2009) | 100% Fab. riscaldamento e ACS | (1.00) | (0.92) | (1.50) | 2.00 | ---- | ---- | ---- | ---- | Fab. Uso Domestico | ---- | ---- |
| - SCENARIO 2 | NEW | SI Cogenerazione di quartiere più tecnologie solari | (D.M. 26/06/2015) PRESCRIZIONE AL 2021 | ---- | 0.26 | 0.26 | 0.22 | 1.40 | ---- | ---- | ---- | restanti quote Fab. E. E. riscaldamento e ACS | ---- | 60% Fab. ACS | 31% Fab. E. E |
| | RE-NEW | | | | | | | | | | | 100% Fab. E. E. riscaldamento e ACS | ---- | ---- | ---- |
| - SCENARIO 3 | NEW | SI Cogenerazione di quartiere più tecnologie solari | CONCERTO AL PIANO | ---- | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 1.60 | ---- | ---- | ---- | restanti quote Fab. E. E. riscaldamento e ACS | ---- | 60% Fab. ACS | 31% Fab. E. E |
| | RE-NEW | | | | 0.29 | (0.92) | 0.32 | 2.00 | | | | 100% Fab. E. E. riscaldamento e ACS | ---- | ---- | ---- |
| - SCENARIO 4 | NEW | SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere | (D.M. 26/06/2015) PRESCRIZIONE AL 2021 | ---- | 0.26 | 0.26 | 0.22 | 1.40 | Per picchi di domanda e di back - up | ---- | ---- | ---- | ---- | 100% Fab. ACS e riscaldamento | 100% Fab. E. E. |
| | RE-NEW | | | | | | | | | | | | | | |
| - SCENARIO 5 | NEW | SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere | CONCERTO AL PIANO | ---- | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 1.60 | Per picchi di domanda e di back - up | ---- | ---- | ---- | ---- | 100% Fab. ACS e riscaldamento | 100% Fab. E. E. |
| | RE-NEW | | | | 0.29 | (0.92) | 0.32 | 2.00 | | | | | | | |
| - SCENARIO 6 | NEW | SI Tecnologie solari su superfici comuni di quartiere | CONCERTO AL PIANO | ---- | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 1.60 | ---- | 100% Fab. ACS e riscaldamento | ---- | ---- | ---- | ---- | 100% Fab. pompa di calore e E. E. |
| | RE-NEW | | | | 0.29 | (0.92) | 0.32 | 2.00 | | | | | | | |

* E. E. = Energia Elettrica uso domestico  Fab = Fabbisogno  ACS = Acqua Calda Sanitaria

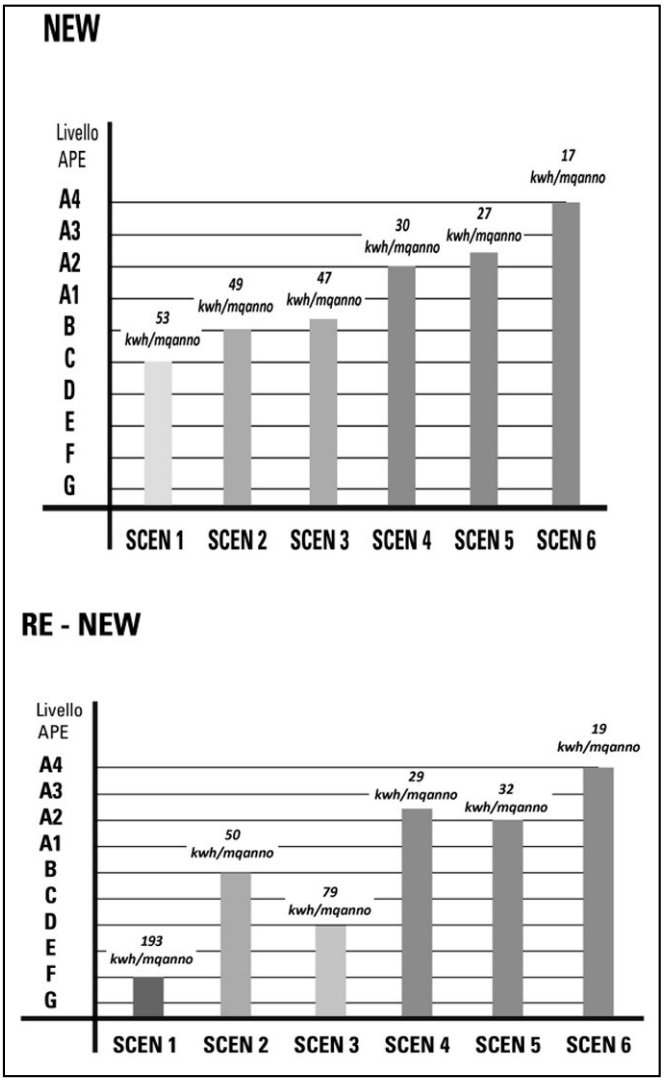


**Figura 2 -** *Performace energetica degli Scenari di intervento*

ne, allo scopo di fornire un framework progettuale più attuale possibile.

La prima condizione è garantita attraverso il mantenimento per tutti gli scenari delle stesse tipologie di intervento, modificando solo alcune dotazioni tecnologiche d'involucro o impiantistiche. Inoltre, per non alterare il contesto economico in seno al quale è stato sviluppato il progetto "Concerto AL Piano", è mantenuto per tutti gli scenari il quadro delle detrazioni fiscali e degli incentivi derivanti da norme nazionali e dai finanziamenti provenienti dall'Unione Europea. I progetti del programma europeo "Concerto", infatti, hanno previsto incentivi pari al 30% dei costi sostenuti per le misure di efficienza energetica relativi a:

- involucri di edifici esistenti o di nuova edificazione,
- impianti di generazione dell'energia da fonte rinnovabile;
- reti di teleriscaldamento alimentate da centrali a cogenerazione a scala di distretto alimentate da fonti rinnovabili (prevalentemente biomassa).

Nel caso quindi di "Concerto AL Piano", l'intervento di cogenerazione e la relativa rete di teleriscaldamento non possono essere oggetto di finanziamento europeo in quanto la centrale realizzata è alimentata a gas metano e non a biomassa.

Le altre voci di incentivo considerate nell'analisi economica sono relative alle detrazioni fiscali IRPEF (Imposta sul Reddito delle Persone Fisiche, secondo Legge 27/12/2017 n. 205) le quali, per il progetto "Concerto AL Piano", possono essere riassunte in:

- detrazioni fiscali del 65% per impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile, sia in caso di retrofit sia in caso di nuova costruzione;
- detrazioni fiscali pari al 65% dei costi per interventi di ristrutturazione per l'efficientamento d'involucro e sosti-

tuzione degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria;

- detrazioni fiscali pari al 50% dei costi sostenuti per gli interventi di ristrutturazione e manutenzione ordinaria, non riconducibili a interventi di implementazione dell'efficienza energetica dell'edificio.

La seconda condizione, relativa all'aggiornamento dei costi di intervento, è garantita attraverso l'individuazione puntuale di tutti i costi di ristrutturazione e di costruzione degli edifici residenziali e degli impianti energetici del progetto come riportato in Tabela 2. I costi di costruzione e di retrofit degli edifici sono dedotti da Computi Metrici Estimativi relativi ai progetti esecutivi. I valori riportati risalgono al periodo compreso tra il 2009 e il 2013, poi attualizzati sulla base del tasso di inflazione medio del periodo 2009-2017 fatto pari all'1,13% (fonte ISTAT). Come riportato in Tabella 2, alcune voci di costo sono invece aggiornate all'ultimo biennio, in relazione a prezzi medi correnti. L'aggiornamento dei costi ha quindi interessato le seguenti voci:

- costi per i pannelli fotovoltaici, interessati da un sensibile calo soprattutto rispetto alla fornitura;
- costi per la manutenzione degli impianti;
- costi per l'impianto termico, non previsto nel progetto realizzato in "Concerto Al Piano" (pompe di calore, caldaie a condensazione, sistemi di gestione e accumulo dell'energia termica).

Il processo di aggiornamento interessa anche il costo dell'energia termica ed elettrica, il cui valore scelto per l'analisi coincide con i valori forniti da Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente - ARERA, al 2018.

Nell'analisi economica, infatti, oltre al costo di costruzione sono inclusi i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, nonchè i costi relativi alla fornitura energetica per un arco di tempo di 20 anni, assunto quale orizzonte temporale.

Seguendo le indicazioni metodologiche della norma ISO 15686-5:2008, le voci di costo "rilevanti" e i relativi dati, riportati in Tabella 2, sono stati individuati per l'applicazione LCCA.

Operativamente, l'applicazione LCCA è svolta attraverso il calcolo del Global Cost e il calcolo degli indicatori di performance economica previsti dal modello; in particolare sono calcolati: Net Present Value – NPV, Pay-Back Period Simple/Discounted – SPB/DPB, Savings to Investment Ratio - SIR, Adjusted Internal Rate of Return – AIRR.

Per l'analisi sono assunti i seguenti dati di input finanziari:

- il saggio di sconto, assunto pari al 2,5 % definito in funzione del rischio collegato all'investimento. Il rischio è considerato piuttosto contenuto in virtù di considerazioni quali lo specifico mercato in cui l'intervento si colloca, i potenziali di risparmio generato dagli interventi di retrofit, le riduzioni fiscali, la messa in valore dei beni;
- l'orizzonte temporale dell'analisi fatto pari a 20 anni, in considerazione della durata di vita dell'elemento tecnologico di durabilità più breve, inserito nel progetto di intervento (impianto fotovoltaico/solare termico).

**Tabella 2 -** *Costi "rilevanti" per Scenari: costi di investimento, operativi e di gestione*

| TIPO DATO | COSTO | RIFERIMENTO |
|---|---|---|
| FORNITURA ENERGIA ELETTRICA | 0,25 €/KWh | ARERA 1° trimestre 2018 (T. monorario) |
| FORNITURA RISCALDAMENTO E ACS | 0,11 €/KWh | ARERA 1° trimestre 2018 |
| FORNITURA E POSA FOTOVOLTAICO | 2420 €/Kwp | Energia.it (Dati riferiti ad Aprile 2017) |
| FORNITURA E POSA SOLARE TERMICO | 1795 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| COSTO CENTRALE COGENERAZIONE (Compresi costi per la Rete per l'Intero quartiere) | 2.361.972 € | Concerto AL Piano (2014) |
| COSTO RETE COGENERAZIONE | 668 €/m | Prezzario regione Piemonte 2016 |
| FORNITURA E POSA POMPA DI CALORE - Scambiatore di Calore 350 kw + serbatoio 470 l | 9.485 € | Prezzario regione Piemonte 2016 |
| MANUTENZIONE IMPIANTO COGENERAZIONE (Costo annuo) | 8 €/Mwhanno | Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017) |
| MANUTENZIONE SOLARE TERMICO (Costo annuo) | 15 €/mq | Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017) |
| MANUTENZIONE FOTOVOLTAICO (Costo annuo) | 40 €/Kwp | Confindustria.it (Dati riferiti ad Aprile 2017) |
| FORNITURA E POSA ISOLAMENTO CAPPOTTO (Fibra di cellulosa) | 70 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA ISOLAMENTO SOTTOTETTO (EPS) | 65 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA ISOLAMENTO 1° PIANO F.T. (EPS) | 60 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA SERRAMENTI (U:2 W/mqk) | 330 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA SERRAMENTI (U:1,6 W/mqk) | 400 €/mq | Concerto AL Piano (2014) |
| | | |
| COSTI DI FORNITURA E POSA DEL NUOVO ECO-VILLAGGIO (NEW) | | |
| | | |
| INTERVENTI DI CARATTERE GENERALE | € | Riferimento |
| OPERE EDILI | 7.949.477 | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA IMPIANTI | 3.987.548 | Concerto AL Piano (2014) |
| OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA | 274.503 | Concerto AL Piano (2014) |
| SISTEMI PASSIVI (SPAZIO COMUNE E SERRE) | 1.691.523 | Concerto AL Piano (2014) |
| OPERE E DOTAZIONI PER PIATTAFORMA ISOLA ECOLOGICA | 4.968 | Concerto AL Piano (2014) |
| PROGETTAZIONE | 5% Costo di Costruzione | |
| | | |
| incentivi considerati | % | |
| OPERE DI RISTRUTTURAZIONE | - | L., 27/12/2017 n° 205 |
| SOSTITUZIONE DI IMPIANTI TERMICI (FORNITUR POSA) | - | L., 27/12/2017 n° 205 |
| FORNITURA E POSA DI IMPIANTI TERMICI DA FO RINNOVABILE | 65 | L., 27/12/2017 n° 205 |
| RETROFIT CON APPLICAZIONE/ SOSTITUZIONE SISTEMI D'INVOLUCRO AD ALTA EFFICIENA | - | L., 27/12/2017 n° 205 |
| | | |
| COSTI DI FORNITURA E POSA DEL RETROFIT DEL COMPLESSO RESIDENZIALE ATC (RENEW) | | |
| | | |
| INTERVENTI DI CARATTERE GENERALE | € | Riferimento |
| OPERE EDILI | 1.066.291 | Concerto AL Piano (2014) |
| FORNITURA E POSA IMPIANTI | 386.224 | Concerto AL Piano (2014) |
| OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA | 394.017 | Concerto AL Piano (2014) |
| SISTEMI PASSIVI (SPAZIO COMUNE E SERRE) | 393.719 | Concerto AL Piano (2014) |
| OPERE E DOTAZIONI PER PIATTAFORMA ISOLA ECOLOGICA | 5.880 | Concerto AL Piano (2014) |
| PROGETTAZIONE | 5% Costo di Costruzione | |
| | | |
| incentivi considerati | % | |
| OPERE DI RISTRUTTURAZIONE | 50 | L., 27/12/2017 n° 205 |
| SOSTITUZIONE DI IMPIANTI TERMICI (FORNITUR POSA) | 50 | L., 27/12/2017 n° 205 |
| FORNITURA E POSA DI IMPIANTI TERMICI DA FO RINNOVABILE | 65 | L., 27/12/2017 n° 205 |
| RETROFIT CON APPLICAZIONE/ SOSTITUZIONE SISTEMI D'INVOLUCRO AD ALTA EFFICIENA | 65 | L., 27/12/2017 n° 205 |

Inoltre, si assume lo Scenario 1 come scenario base di confronto dal momento che, per lo stesso, non sono previsti interventi di retrofit sugli edifici esistenti e la sola realizzazione di edifci di nuova costruzione secondo le prescrizioni normative di cui ai D.G.R. 43 e 46 del 2009. Per tale ragione, nei commenti riportati a seguire, non si considera lo Scenario 1. Per analoghe ragioni, si assume di omettere dall'illustrazione dei risultati l'indicatore Net Savings (NS), in quanto lo stesso è calcolato quale differenza fra l'applicazione "LCC caso base" e l'applicazione "LCC caso di confronto", per ogni Scenario: se il caso base, come in questa applicazione, non prevede misure di intervento confrotabili, l'indicatore risulta non significativo.

I valori ottenuti dal calcolo degi indicatori sono sintetizzati in Tabella 3, con evidenza sulle condizioni di accettabilità per ciascun indicatore.

In Figura 3 si presentano i risultati in forma grafica incluso, per completezza, il grafico degli andamenti comparati dei SPBP calcolati.

Dalla lettura della Tabella 3 e della Figura 3 risulta preferibile lo Scenario 6 che prefigura, ricordiamo, caratteristiche di involucro degli immobili simili a quelle dello Scenario 3, ma con un sistema impianto capace di soddisfare il fabbisogno energetico totalmente con pannelli solari fotovoltaici. Il valore NPV risulta infatti il più basso possibile rispetto agli Scenari di confronto assumendo un valore pari a 42899117 Euro; il rapporto risparmi/investimenti aggiuntivi (SIR) è > 1, in particolare 2.23; il valore del Tasso Interno di Investimento Aggiustato (AIRR) è superiore al saggio di attualizzazione applicato per il calcolo del NPV (2.5%), assumendo valore 6.7%. Inoltre, il periodo di tempo per il rientro del capitale investito, SPB, calcolato attraverso il flusso cumulato, risulta per comparazione il più breve (6 anni, Discounted 7 anni).

## 5.3 Analisi energetica e analisi economica: commenti ai risultati

Per concludere l'analisi è opportuno il confronto fra le performances dei differenti scenari, individuando le misure più convenienti dal punto di vista sia energetico sia economico, anche in considerazione dei margini di incertezza dovuti al carattere previsionale della valutazione.

**Tabella 3 -** *Sintesi dei risultati della LCC Analysis. Indicatori di performance economica*

| | NPV (Global Cost) (Euro) | SIR | AIRR | SPB (Anno) | DPB (Anno) |
|---|---|---|---|---|---|
| Condizioni di accettabilità | più basso possibile | accettabile > 1<br>non accett. < 1 | accettabile > 2,5%<br>non accett. < 2,5% | più basso possibile | |
| Scenario 2 | 48543323 | 1.63 | 5.0% | 8 | 9 |
| Scenario 3 | 48109799 | 1.76 | 5.4% | 7 | 8.5 |
| Scenario 4 | 51003631 | 1.51 | 4.6% | 8.5 | 10 |
| Scenario 5 | 50138844 | 0.40 | 4.2% | 9 | 11 |
| Scenario 6 | 42899117 | 2.23 | 6.7% | 6 | 7 |

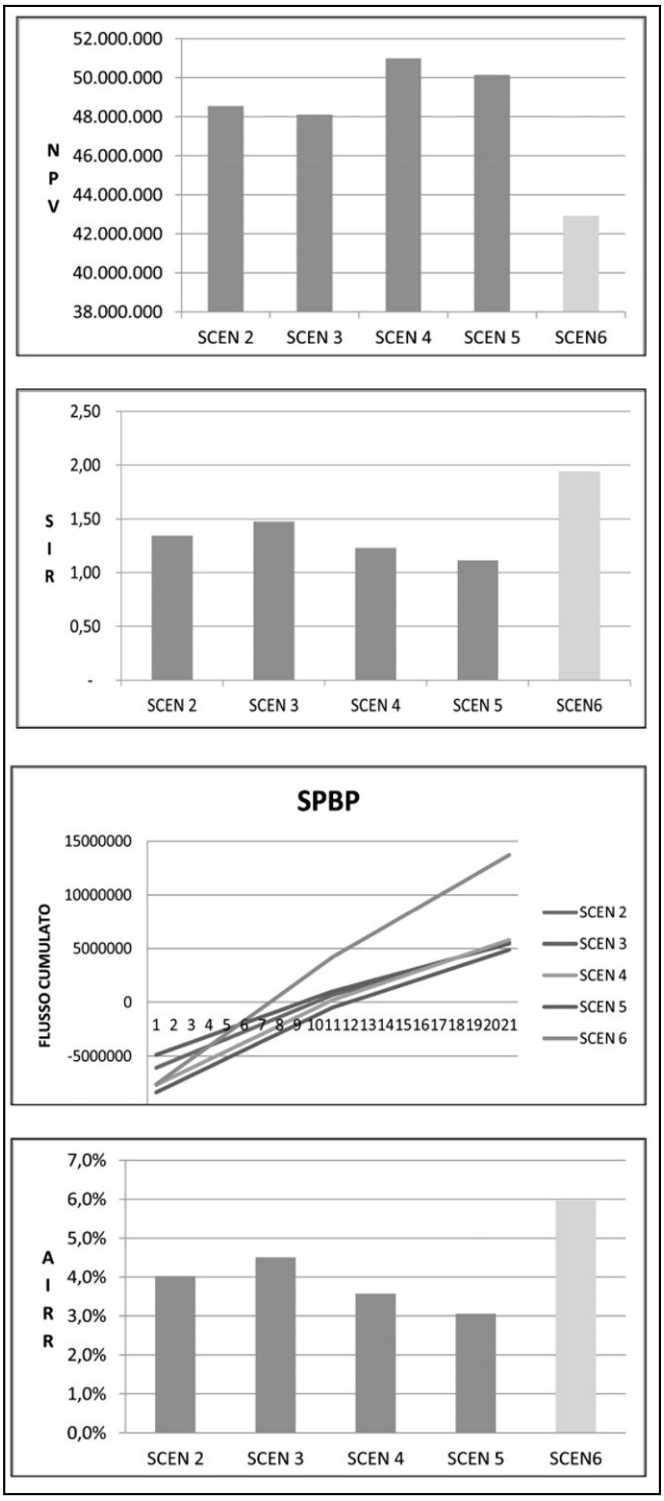


**Figura 3 -** *Indicatori di performance ecomonica: rappresentazione grafica*

Da una lettura congiunta dei risultati, come anticipato lo Scenario 6 risulta il più conveniente, usufruendo interamente del 65% di detrazioni fiscali (di cui non usufruisce

la rete di teleriscaldamento) e, allo stesso tempo, utilizzando nel modo più efficiente solo la fonte di energia rinnovabile grazie all'accoppiamento con pompe di calore ad alta efficienza. È pur vero, però, che la superficie utile necessaria a soddisfare il fabbisogno è eccessivamente rilevante e difficilmente disponibile in un'area urbana di grande/media densità. Così come è doveroso considerare che il ricorso al solo fotovoltaico, se non associato a sistemi di *storage* dell'energia prodotta, implicherebbe o una sovrapproduzione in alcuni periodi dell'anno e del giorno (se il sistema fosse progettato per garantire il fabbisogno giornaliero anche nella stagione invernale), o la necessità di energia durante la stagione fredda, se fosse progettato solamente in base al fabbisogno annuale atteso.

È interessante ancora notare come il progetto realizzato, Scenario 3, risulta essere il più appetibile dopo il caso "limite" (Scenario 6); ciò in linea con la letteratura internazionale che vede nello sfuttamento integrato delle fonti energetiche il migliore sistema di approvvigionamento energetico a scala soprattutto di quartiere. Il ricorso a tecnologie solari e alla rete di teleriscaldamento locale, alimentata dalla centrale a cogenerazione, rappresenta lo scenario più conveniente anche in termini economici.

Se si analizzano poi i risultati comparando le prestazioni delle diverse, specifiche componenti tecnologiche utilizzate nei differenti scenari (per esempio, confrontando caratteristiche impiantistiche con prestazioni di involucro), si possono evincere diverse "graduatorie di preferibilità". Senza entrare nel merito dei singoli risultati ottenuti dall'applicazione, è interessante notare, come comportamento generale, che non sempre un intervento capace di fornire prestazioni ottimali dal punto di vista energetico risulta essere anche il preferibile in termini di contenimento del costo globale. In termini ancora più generali, i risultati dell'analisi energetica e dell'analisi economica applicate ad opzioni alternative spesso non risultano fra loro correlati.

Questo dato di complessità è oggetto, peraltro, di recenti studi orientati alla sperimentazione di modalità operative per la produzione di analisi energetico-ambientali ed economiche congiunte, che assumono, quale principio di base, la necessità di ragionare in termini di perfomance globale (Thiebat, 2013; Fregonara *et al*., 2013).

Le considerazioni sinora espresse sono supportate, infine, dalla Sensitivity Analysis deterministica, applicata a partire dalla preliminare individuazione delle variabili critiche. In specifico, sono considerate come variabili critiche i costi per la sostituzione dei serramenti, per la fornitura e posa dell'isolamento, per il cogeneratore, per l'impianto fotovoltaico, per l'impianto solare termico, infine il costo per l'energia.

I risultati dell'analisi di sensitività, espressi in forma grafica in Figura 4, evidenziano come una variazione, anche minima, del costo del pacchetto di isolamento sia in grado di perturbare gli indicatori in modo significativo, seppure senza sovvertire il risultato finale.

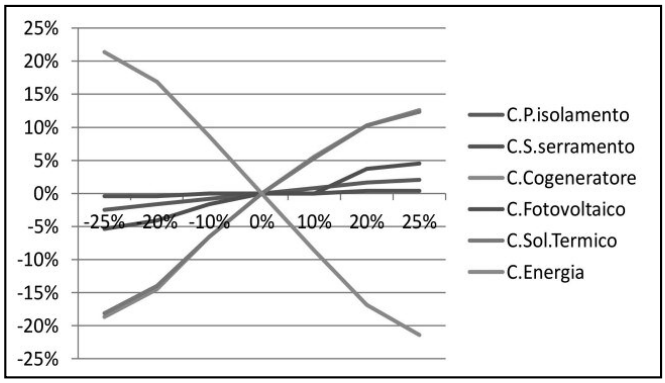


**Figura 4 -** *Sensitivity Analysis*

Le curve più ripide nello *spider graph* rappresentano, si ricorda, le variabili che più possono influenzare i risultati.

In conclusione è ancora utile rilevare, da un punto di vista squisitamente economico, che a seguito degli interventi prefigurati dai diversi scenari sono attesi impatti positivi in termini di messa in valore alla scala dell'intero district come dei beni in esso inclusi. Impatti riconducibili da un lato alla riqualificazione dell'intero sub-segmento territoriale, dall'altro, allo shift di Classe Energetica che interessa i manufatti. Anche questo conferma la crescente sensibilità del mercato immobiliare rispetto alle caratteristiche di perfomance energetica degli immobili, con ricadute sulla ricerca di settore. La prestazione energetica dei complessi edilizi è un elemento di qualità che si sta traducendo in valore, andando ad intressare i comportamenti dei soggetti sia pubblici sia privati, coinvolti nelle scelte di mercato e nei processi di *decision-making* (Morano *et al*., 2017; Bottero *et al*., 2017).

## 6. CONCLUSIONI

Il lavoro illustrato è stato l'occasione per sperimentare l'approccio LCCA su un contesto reale, riferito ad una scala territoriale circoscritta ma che comporta un significativo spostamento rispetto alla dimensione più solitamente trattata – il building -, con ricadute a livello di ricerca e sperimentazione. Inoltre, ha rappresentato l'occasione per sperimentare l'applicazione dell'approccio LCCA su un caso già oggetto di un precedente intervento di retrofit: un "intervento di post retrofit" inquadrato in un contesto tecnologico e di mercato diversamente maturo.

Ancora, ha permesso il confronto fra un progetto sviluppato a scala di distretto urbano, realizzato, sul principio che l'approccio più conveniente sia l'integrazione tra le tecnologie di produzione locale di energia (teleriscaldamento da cogenerazione a gas, fotovoltaico, solare termico), con un progetto in grado di massimizzare il ricorso alla tecnologia di generazione di energia da fonte solare, al contempo di semplice gestione e controllo (in particolare per lo scenario nel quale si ricorre al solo fotovoltaico).

Al di là dei risultati dell'applicazione metodologica, lo studio ha intenso stimolare la riflessione sulle potenzialità offerte passando dalla scala del singolo edificio alla scala del sub-segmento territoriale e in compresenza di più fonti energetiche, con tutte le implicazioni e complessità, a livello di sistemi e a livello valutativo, che ciò comporta. Complessità che può portare, però, ad importanti aperture per la governance territoriale e per la definizione di politiche coerenti con gli obiettivi di contenimento energetico, con i requisiti di performance richiesti e, al contempo, sostenbili sul piano economico-finanziario.

* **Elena Fregonara,** *Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino.*
e-mail: *elena.fregonara@polito.it*
** **Corrado Carbonaro,** *Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino.*
e-mail: *corrado.carbonaro@polito.it*
*** **Omar Pasquarella,** *Architetto.*
e-mail: *omarpasquarellaarchitetto@gmail.com*

**Ringraziamenti**
Si ringrazia il Professore Roberto Pagani, coordinatore del progetto Europeo "Concerto AL Piano", per la disponibilità e per il fondamentale supporto metodologico e scientifico. Un particolare ringraziamento è rivolto all'ATC di Alessandria per la preziosa sinergia sviluppatasi in seno al progetto, al Comune di Alessandria e alle imprese di costruzione, facenti parte della "Consulta", per la collaborazione sui temi tecnici e professionali, fondamentali per lo svolgimento del progetto "Concerto AL Piano".

**Bibliografia**

Becchio C., Ferrando D., Fregonara E., Milani N., Quercia C., Serra V., *The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin,* Energy Procedia, n. 78, 2015, pp.1039-1044.

Bottero M., Bravi M., Mondini G., Talarico A., *Building Energy Performance and Real Estate Market Value: an Application of the Spatial Autoregressive (SAR) Model,* in Stanghellini S., Morano P., Bottero M., Oppio A., *Appraisal: From Theory to Practice*, Springer, Berlin, 2017, pp. 221-230.

Brondino G., Curto R., Fregonara E., *Mercato crisi finanziaria: aspetti interpretativi e valutativi,* Valori e Valutazioni, 6, 2011, pp. 91-99.

Caputo P., Costa G., Ferrari S., *A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale*, Energy Policy 2013, 55, pp. 261-270.

Corrado V., Ballarini I., Paduos S., *Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the Italian residential building stock,* Energy Procedia, 45, 2014, pp. 443-452.

Decree of the President of the Italian Republic DPR 59, 2009, *Regulations for the application of the article 4, comma 1, letters a) e b), of the Legislative Decree 19 August 2005, no. 192, concerned with the application of the directive 2002/91/CE on energy efficiency of buildings (in Italian)*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 132, June 10, 2009.

Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC e 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC e 2006/32/EC.

DM 26/2/2017, *"Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".*

Edwards S., Bennett P., *Construction products and life-cycle thinking*. Industry and Environment, 2003, 26, 2, pp. 57-61.

European Committee for Standardization (CEN), *Standard EN ISO 15459:2007, Energy performance of buildings* - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings, Brussels, 2007.

European Parliament, *Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012* supplementing Directive 2010/31/EU, Brussels, 2012.

European Parliament, Directive 2010/31/EU *of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Union, Brussels, 2010.

European Committee for Standardization (CEN). *Standard EN ISO 15643-4: 2011*. Sustainability of Construction.

Works-Assessment of Buildings-Part 4: *Framework for the Assessment of Economic Performance*; European.

Committee for Standardization, Brussels, 2011.

European Committee for Standardization (CEN). *Standard EN ISO 16627: 2015*. Sustainability of Construction.

Works - *Assessment of Economic Performance of Buildings-Calculation Methods;* European Committee for Standardization, Brussels, 2015.

European Standard EN 13790. *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating. Distributed through the Comité Européen de Normalisation (International Committee on Standardization)*, Brussels, 2005.

Eurostat. Available online: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics (accessed on 10 February 2017).

Flanagan R., Norman G., *Life Cycle Costing for Construction*, Royal Institution of Chartered Surveyors, London, 1983.

Fregonara E., Curto R., Grosso M., Mellano P., Rolando D., Tulliani J.M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*, Journal of Urban Technology, N. 20, 2013, pp. 57-80.

Fregonara E., Giordano R., Rolando D., Tulliani J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*. Journal of Urban Technology, 2016, 23, 3-28.

Fregonara E., Giordano R., Ferrando D. G., Pattono S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, Buildings, Vol. 7 , n. 3, 2017 a, pp. 1-20.

Fregonara E., Lo Verso V.R.M., Lisa M., Callegari G., *Retrofit scenarios and economic sustainability. A case-study in the Italian context*. Energy Procedia, vol. 111C, 2017 b, pp. 245-255.

fregonara E., rolando D., semEraro p., *Energy performance certificates in the Turin real estate market,* Journal of European Real Estate research, 10, 2, 2017, pp. 149-169.

Gluch P., Baumann H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making,* Building and Environment, 2004, 39,5, pp.571-580.

Goh B.H., Sun. Y., *The development of life-cycle costing for buildings*. Building Research and Information, 2015, 44,3, pp. 319-333.

Gundes S., *The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability,* Procedia of Social and Behavioral Sciences, 216, 2016, pp. 916-922

Han G., Srebric J., Enache-Pommer E., *Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis,* Energy and Buildings, 2014, 79, pp. 223-231.

Italian Ministry for the economic development, *National guide lines for building energy certification*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana no. 158, July 10, 2009.

International Organization for Standardization. *ISO 15686:2008;* Buildings and Constructed Assets - Service-Life

Planning-Part 5: Life Cycle Costing; *ISO/TC 59/CS 14;* International Organization for Standardization, Geneva, 2008.

Italian Organization for Standardization. *UNI 8290-1:1981-Residential Building. Building Elements. Classification and Terminology;* Italian Organization for Standardization (UNI), Milan, 1981.

Langdon D., Life Cycle Costing (LCC) *as a contribution to sustainable construction: a common methodology – Final methodology, 2007*, http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm.

König H., Kohler N., Kreissig J., Lützkendorf T., *A life cycle approach to buildings. Principles, Calculations, Design tools*, Detail Green Books, Regensburg, 2010.

Mancarella P., *MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models,* Energy, Volume 65, 1 February 2014, Pages 1-17.

Manfren M., Caputo P., Costa G., *Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models,* Applied Energy, Volume 88, Issue 4, April 2011, Pages 1032-1048

Martín-Martínez F., Sánchez-Miralles A., Rivier M., Calvillo C.F., *Centralized Vs DIistributed Generation. A Model to Assess The Relevancfe of some Thermal and Electric Factors*. application to the spanish case study, Energy, Vol. 134, 1 September 2017, pp. 850-863.

Morano P., Tajani F., *The Break-Even Analysis applied to urban renewal investments: a model to evaluate the share of social housing financially sustainable for private investors,* Habitat International, vol. 59, 2017, pp. 10-20.

Mosannenzadeh F., Di Nucci M.R., Vettorato D., *Identifying and prioritizing barriers to implementation of smart energy city projects in Europe: An empirical approach,* Energy Policy, Volume 105, June 2017, Pages 191-201.

Pagani R.; Savio L.; Carbonaro C., *Lessons Learnt from an Urban Community: the "Concerto AL Piano" experience*. In: 9th International Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings and Smart Communities, Frankfurt, Germany, 16-18 March 2016. pp. 113-123.

Pagani R., Carbonaro C., Lorenzo S., *Conterto AL Piano : a sustainable urban demonstration project,* SBE16 Towards Post-Carbon Cities, Torino, 2016, pp. 459-468.

Pagani R., Savio L., Carbonaro C., Boonstra C., De Oliveira Fernandes E., *Concerto AL piano*. Sustainable urban transformations. FrancoAngeli, milano, 2016, pp. 1-171.

Regione Piemonte, *Prezzi di Riferimento per Opere e Lavori Pubblici Nella Regione Piemonte*; Torino, Assessorato alle opere Pubbliche, 2016.

Ristimäki M., Säynäjoki A., Heinonen J., Junnila S., *Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design,* Energy, 2013, 63,15, pp. 168-179.

Schmidt W.P., *Life Cycle Costing as Part of Design for Environment: Business Cases,* International Journal of Life Cycle Assessment, n. 8, 2003, pp. 167-174.

Schneiderova Heralova R., *Life Cycle Cost Optimization Within Decision Making on Alternative Designs of Public Buildings,* Procedia Engineering, 2014, 85, pp. 454-463.

Thiebat F., *Life-cycle design for sustainable architecture*, Techne, n. 5, 2013, pp.177-183.

Uni/Ts 11300-1, *Building energy performance - Part 1:* Evaluation of the energy need for space heating and cooling, 2014.

UNI/TS 11300-2, *Building energy performance - Part 2:* Evaluation of the primary energy need and of system efficiencies for space heating and domestic hot water production, 2014.

UNI/TS 11300-4:2016 - P*restazioni energetiche degli edifici – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*.

5- UNI/TS 11300-5:2016 - *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili*.