Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in **Architettura per il Progetto Sostenibile**

Tesi di Laurea Magistrale

Valutazione della sostenibilità economica dei progetti: un'applicazione congiunta dell'approccio Life Cycle Cost Analysis e del metodo Analytic Hierarchy Process

Relatore:
Prof.ssa Elena Fregonara

Correlatore:
Arch. Diego Ferrando

Candidato:
Silvia Gazzera

Matricola:
239878

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

INTRODUZIONE....5

CAPITOLO 1

STRUMENTI DI VALUTAZIONE ECONOMICA DEL PROGETTO: APPROCCI FINANZIARI..9

1.1 Discounted Cash Flow Analysis (DCF)....10

1.2 Life Cycle Cost Analysis (LCCA) o Life Cycle Costing (LCC) 14

1.2.1 Aspetti metodologici....15

CAPITOLO 2

STRUMENTI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI: APPROCCI MULTICRITERI....22

2.1 Analisi Multicriteri....23

2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)....26

2.3 Introduzione del concetto di ciclo di vita nel metodo AHP....32

CAPITOLO 3

PROPOSTA METODOLOGICA E APPLICAZIONE A UN CASO STUDIO....38

3.1 Descrizione della metodologia....39

3.2 Presentazione del caso studio....41

3.2.1 Stato di fatto e di progetto....41

3.2.2 Dati energetici e di impatto ambientale....47

3.2.3 Costo nel ciclo di vita e fattibilità economica (LCC e DCF)....48

3.2.4 Problemi nell'identificare l'alternativa migliore....56

3.3 Costruzione del modello....58

3.3.1 Individuazione dell'obiettivo....58

3.3.2 Individuazione del set di alternative 58
3.3.3 Definizione dei criteri di valutazione 62
3.3.4 Descrizione delle quattro alternative 67
3.4 Applicazione del modello 75
3.4.1 Matrice 1 – Obiettivo 76
3.4.2 Matrice 2 – Sostenibilità ambientale 77
3.4.3 Matrice 3 – Qualità del progetto architettonico 78
3.4.4 Matrice 4 – Sostenibilità economica 79
3.4.5 Matrice 5 – Life Cycle Cost Analysis (LCC) 80
3.4.6 Matrice 6 – Comfort termico e acustico dell'ambiente interno 83
3.4.7 Matrice 7 – Impatti ambientali 87
3.4.8 Matrice 8 – Discounted Cash Flow Analysis (DCF) 92
3.5 Interpretazione dei risultati 94
3.6 Output del software 98

CONCLUSIONI 103
BIBLIOGRAFIA 106
RINGRAZIAMENTI
ALLEGATO A 111

INTRODUZIONE

Il tema della sostenibilità energetico-ambientale nei progetti edilizi è ormai ampiamente trattato e regolamentato dalla normativa e i principali riferimenti a livello europeo sono le direttive sulla prestazione e sull'efficienza energetica (rispettivamente corrispondenti alle Direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE), entrambe aggiornate dalla 2018/844/UE.
Tuttavia, l'aspetto della sostenibilità che, da sempre, interessa maggiormente l'investitore è quello della sostenibilità economica del progetto, poiché si tratta di quel criterio che molto spesso finisce per essere decisivo al momento della scelta.[1] Infatti, la dimensione del costo non solo può far decidere al soggetto interessato di abbandonare un certo progetto, ma, soprattutto, influisce in maniera decisiva in ogni fase, da quella preliminare fino alla realizzazione vera e propria dell'opera, ad esempio facendo ricadere la scelta su un certo materiale, elemento o finitura.

Esiste una grande quantità di metodi per valutare la fattibilità economica di un progetto, ma solo più recentemente è stato riconsiderato il concetto di analisi del costo nel ciclo di vita di un prodotto, per mezzo della tecnica del Life Cycle Costing (LCC), regolata dalla ISO 15686-5 del 2017[2] e prima ancora dalla ISO 15686-5 del 2008.[3]

---

[1] FREGONARA E., Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, FrancoAngeli, Milano 2015.

[2] ISO 15686-5:2017, *Buildings and constructed assets – Service life planning* – Part 5: *Life Cycle Costing*.

[3] ISO 15686-5:2008, *Buildings and constructed assets – Service life planning* – Part 5: *Life Cycle Costing*.

Parallelamente, la fase iniziale di un progetto deve esplorare tutti gli aspetti che lo compongono, che saranno presi in considerazione al momento di effettuare determinate scelte. Dal momento che in molti casi i dati raccolti e le analisi condotte portano a risultati contrastanti, uno strumento utile a chiarificare le relazioni che sussistono tra i vari elementi e a individuare le priorità secondo le esigenze del caso, sono le tecniche Multicriteria.[4]
Queste tecniche, però, se da un lato si adattano molto bene alle applicazioni in campo progettuale, hanno dei limiti riconosciuti, tra cui la scarsa oggettività che ne caratterizza alcune fasi. Per questo motivo molto spesso esse vengono integrate con l'applicazione di altri approcci.

Partendo dalla letteratura esistente, in questa tesi si proverà ad associare l'approccio multicriteria Analytic Hierarchy Process (AHP) di Thomas L. Saaty all'analisi del costo nel ciclo di vita LCC, al fine di risolvere un problema decisionale su un caso studio. Sul piano metodologico l'obiettivo è quello di fornire maggiore oggettività e solidità al risultato dell'AHP, attraverso l'apporto dei dati numerici provenienti dalla metodologia LCC.
L'applicazione pratica che viene condotta comprende anche altri strumenti per la quantificazione degli indicatori misurabili di alcuni criteri per la valutazione delle opzioni di progetto, quali il Discounted Cash Flow Analysis (DCF), anch'esso di natura economico-finanziaria e considera anche gli impatti sull'ambiente e la qualità del progetto.

La struttura del testo è articolata in tre capitoli.
Il primo introduce i due sopracitati strumenti per la valutazione economico-finanziaria e ambientale dei progetti, il DCF e l'analisi LCC, sintetizzandone gli aspetti metodologici principali.
Il secondo capitolo entra nel merito dell'analisi Multicriteria e si concentra nell'illustrare più nello specifico il metodo AHP. Inoltre, nell'ultimo paragrafo

[4] FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

si introduce il tema dell'applicazione integrata di LCC e AHP e si riportano alcuni articoli rintracciati nella letteratura in merito.
Nell'ultimo capitolo, relativo all'applicazione pratica, si descrive innanzitutto la metodologia che si intende utilizzare e si presenta il caso studio. Nel terzo e quarto paragrafo, cuore della metodologia AHP, si costruisce la struttura gerarchica del modello, selezionando le alternative e i criteri di valutazione e, in seguito, vengono riportate tutte le matrici di confronto a coppie e i risultati parziali che ne derivano. Il quinto e sesto paragrafo si focalizzano sui risultati finali dell'applicazione e la relativa interpretazione e, in ultimo, i passaggi sviluppati con il supporto del software Super Decisions (Creative Decisions Foundation),[5] che ne ha supportato il calcolo.
Le conclusioni riassumono il lavoro svolto e i principali risultati evinti.

[5] https://www.superdecisions.com/ (08/2019)

Capitolo 1.

Strumenti di valutazione economica del progetto: approcci finanziari

1.1 Discounted Cash Flow Analysis (DCF)

L'approccio Discounted Cash Flow Analysis è uno strumento che si utilizza «per la verifica della fattibilità (della probabilità di successo) di un investimento immobiliare».[1] Si tratta di un metodo molto utilizzato, soprattutto nel contesto internazionale, che permette di definire i flussi in entrata e in uscita in un dato periodo di tempo che viene scelto per condurre l'analisi.
Grazie all'utilizzo di un quadro di flussi di cassa attualizzati, è possibile capire se i ricavi che derivano dalla vendita o dalla locazione di un investimento siano maggiori dell'ammontare del capitale investito nella fase iniziale e durante tutto l'arco del periodo considerato per l'analisi. Inoltre, serve a individuare non solo la somma totale da investire nel progetto, ma anche a prevedere i costi, distribuiti in costanti intervalli di tempo, che periodicamente si dovranno sostenere.

Indicatori

Per stabilire se un progetto sia economicamente fattibile, quindi, è necessario che la differenza tra la somma dei flussi di cassa attualizzati in entrata e quelli in uscita, anch'essi attualizzati, sia positiva. Questa sommatoria attualizzata è detta Valore Attuale Netto (VAN) o Net Present Value (NPV) e viene espressa dalla formula seguente:

$$NPV = \sum_{t=1}^{N} \left[\frac{Ricavi}{(1+r)^t} - \frac{Costi}{(1+r)^t} \right]$$

[1] Cfr. FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015, p. 46.
In generale, i concetti espressi in questo paragrafo si possono ritrovare interamente e spiegati in maniera più approfondita nel testo FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015 (capitolo 3 - Componenti di costo e fattibilità economico-finanziaria).

dove r è il saggio di sconto, N il periodo considerato per l'analisi espresso in numero di anni e $1/(1+r)^t$ è il fattore di sconto riferito a ciascun anno t. Affinché un progetto sia considerato economicamente conveniente è necessario che l'NPV sia positivo, il che significa che i ricavi sono maggiori dei costi previsti.
Tuttavia, questo indicatore non permette di confrontare progetti diversi perché dipende direttamente dalla dimensione dell'intervento: costi e ricavi vengono calcolati a partire dai m^2, quindi un progetto di dimensioni molto estese avrà certamente un VAN più elevato di un progetto di dimensioni più ridotte.

Per questo motivo è necessario il calcolo di un altro indicatore, il Tasso Interno di Rendimento (TIR) o Internal Rate of Revenue (IRR). Si tratta del tasso di sconto che viene calcolato ponendo l'NPV uguale a zero e rappresenta «il tasso massimo che l'operatore accetterebbe prima di incorrere in perdite»:[2]

$$\sum_{t=1}^{N}\left[\frac{\text{Ricavi}}{(1+r)^t} - \frac{\text{Costi}}{(1+r)^t}\right] = 0$$

Perché il progetto sia fattibile è necessario che l'IRR sia maggiore del saggio di sconto effettivamente utilizzato nell'analisi DCF.
Inoltre, questo dev'essere anche maggiore di un 'TIR soglia', cioè un tasso di sconto che viene calcolato a parte sulla base della comparazione del progetto in esame con interventi simili.

L'ultimo indicatore da prendere in considerazione è il tempo di ritorno dell'investimento, ossia il Pay-back Period (PBP), il quale misura il tempo che occorre all'investitore per recuperare il capitale investito. Se il PBP risulta maggiore del periodo considerato nell'analisi, il progetto non è ritenuto vantaggioso per l'investitore.

---

[2] Cfr. FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015, p. 47.

Questo indicatore è utile per il confronto fra progetti alternativi come ad esempio nei casi di interventi di retrofit energetico su edifici esistenti.

Flussi di cassa

I flussi di cassa in uscita, o negativi, sono sostanzialmente rappresentati dai costi di investimento, cioè tutte quelle spese che devono essere sostenute nelle fasi dell'orizzonte temporale del progetto considerato. I costi di investimento si possono dividere in costi di non costruzione e costi di costruzione: i primi sono relativi a tutte le uscite legate alla fase preliminare e di avvio del progetto (come ad esempio il costo di acquisizione del terreno, le spese tecniche, gli oneri di urbanizzazione e i contributi sul costo di costruzione), mentre i secondi riguardano i costi legati alla fase di realizzazione vera e propria (ossia il costo al m^2 della costruzione dell'edificio e dei vari servizi annessi al progetto).

I flussi in uscita, invece, dipendono dalla destinazione futura dell'immobile in progetto, cioè se è previsto uno scenario di vendita o di gestione.
Nel primo caso, i flussi in entrata corrispondono agli incassi ottenuti dalle vendite e sono concentrati per la maggior parte nella fase iniziale del periodo considerato.
Nello scenario con gestione si ipotizza che l'immobile sia dato in locazione, dunque i ricavi consistono, per esempio nel caso di interventi nel comparto residenziale, nei canoni di affitto, che, a differenza della condizione della vendita, sono distribuiti in maniera più o meno costante durante tutto l'arco del progetto. In questo caso, però, l'investitore si trova a dover investire periodicamente somme di capitale aggiuntivo, sostenendo i cosiddetti costi operativi, i quali comprendono le tasse, le assicurazioni, i costi di gestione e le spese di manutenzione ordinaria e straordinaria al fine di mantenere in buone condizioni il bene immobile. I ricavi, quindi, vanno espressi al netto dei

costi operativi e devono comunque comprendere una quota di sfitto e il valore di dismissione dell'immobile previsto.[3]

Inoltre, è importante sottolineare la possibilità di calcolare il flusso di cassa in diversi modi. Quelli che verranno utilizzati nei prossimi capitoli sono il flusso di cassa *unlevered* e il flusso di cassa *levered*.
L'*unlevered cash flow* è il flusso di cassa economico del progetto, il quale non tiene conto della presenza di eventuale capitale a prestito. È costituito semplicemente dalla differenza tra i flussi di cassa in entrata e quelli in uscita, entrambi attualizzati.
Il *levered cash flow*, invece, è il flusso di cassa effettivamente a disposizione dell'investitore e tiene conto della leva finanziaria, per questo rappresenta il flusso finanziario. Infatti, ipotizzando l'investimento di una percentuale di capitale proprio e l'utilizzo di capitale a prestito per la restante parte dell'ammontare necessario, si comprendono nel calcolo del flusso di cassa l'andamento dell'erogazione del finanziamento, le rate del rimborso e le spese ad esso annesse.

Per ulteriori approfondimenti sugli aspetti teorici ed operativi del metodo, si rimanda alla vasta letteratura disponibile;[4] qui si omettono tali approfondimenti essendo il metodo, di fatto, molto noto e consolidato.

---

[3] Cfr. FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015.

[4] Cfr. BRAVI M., FREGONARA E., *Promozione e sviluppo immobiliare. Analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Celid, Torino 2004.
BROWN G.R., MATYSIAK G.A., *Real estate investment. A capital market approach*, Financial Times Prentice Hall, Harlow 2000.
JAFFE A.J., SIRMANS C.F., *Fundamentals of Real Estate Investment*, Third ed., Prentice Hall, New Jersey 1995.

1.2 Life Cycle Cost Analysis (LCCA) o Life Cycle Costing (LCC)

Life Cycle Costing (LCC) o Life Cycle Cost Analysis (LCCA)[5] è uno strumento nato per la valutazione economica di diverse alternative selezionate per lo sviluppo di un progetto. Può essere impiegato sia nei casi di nuova costruzione sia per qualsiasi intervento su un edificio esistente.
Questo strumento di valutazione si sviluppa a partire dal concetto di Life Cycle Thinking (LCT), il quale si fonda sull'idea di considerare tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto edilizio come facenti parte di un unico sistema. In particolare, esso è composto da sei fasi: avvio, pianificazione, progettazione, costruzione, esercizio/manutenzione/sostituzione e smaltimento/fine vita. Si tratta di un processo ciclico, che introduce anche la possibilità di riciclo e/o riuso di parte dei componenti del prodotto, applicando il concetto 'dalla culla alla culla'.
Sulla base del Life Cycle Thinking sono stati sviluppati altri metodi di valutazione, oltre all'analisi LCC, come ad esempio il Life Cycle Assessment (LCA).

Il metodo LCA, normato dalla ISO 14040:2006, valuta la sostenibilità energetico-ambientale di un prodotto, che può essere un intero edificio o i singoli elementi che lo compongono, durante un periodo di tempo stabilito.
L'analisi LCC, invece, viene definita dalla norma ISO 15686-5:2017, che aggiorna quella del 2008 e che ha come obiettivo una valutazione economica del progetto, non limitandosi ai soli costi di costruzione, ma comprendendo anche tutti i costi legati alla fase di esercizio vera e propria dell'edificio e considerando, quindi, sia i costi sia i benefici a lungo termine. Questa

[5] Questo paragrafo riassume la metodologia LCC, che può essere ritrovata nella sua forma più completa e approfondita sul testo di FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015 (capitolo 4 – Analisi dei costi in ottica Life Cycle Thinking).

metodologia si applica al fine di calcolare il costo globale (Life Cycle Cost, LCC) dell'intervento in esame. Paragonando i costi globali delle diverse alternative messe a confronto, è possibile individuare l'opzione che soddisfa i requisiti richiesti in maniera ottimale.

Non è detto, comunque, che la scelta ottimale sia quella che presenta costi di investimento iniziali elevati e maggiori benefici futuri, infatti l'analisi LCC permette di superare questo metodo decisionale semplificato, grazie all'inserimento dei costi di gestione previsti in un arco temporale a lungo termine. È uno strumento importante per il supporto alla progettazione, dal momento che favorisce il controllo dei costi e mostra le ripercussioni nel lungo periodo delle scelte intraprese fin dalle fasi preliminari del progetto. Consente anche, dove necessario, lo sviluppo di una sorta di "piano di manutenzione" pensato in modo strategico tenendo conto del costo globale. Inoltre, essendo applicabile ad ogni progetto permette anche il confronto tra un'alternativa di nuova costruzione e una di ristrutturazione, andando così a calcolare l'efficacia in termini di benefici del costo iniziale sostenuto.

1.2.1 Aspetti metodologici

Periodo di analisi

Si tratta del periodo che si sceglie per svolgere l'analisi LCC. È strettamente legato al ciclo di vita dell'oggetto e dipende fortemente dalla durata della vita di servizio che si prevede in progetto.
Non può essere stabilito in generale, perché dipende dallo scopo dell'analisi e deve essere concordato in base dalle esigenze della committenza.
Normalmente, la durata del periodo scelto per l'analisi va dai 25 ai 50 anni, perciò è necessario attualizzare i costi futuri, attraverso un saggio di sconto stabilito, in modo da rendere confrontabili costi che si presentano in maniera distribuita lungo tutto l'arco del periodo in esame.

Costi

Il Life Cycle Cost (o Global Cost) è dato in forma semplificata da:

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

ovvero dalla somma dei 'costi rilevanti' (C_t), attualizzati all'anno t e con un saggio di sconto applicato, r. I 'costi rilevanti' sono quelle voci di costo che cambiano tra le diverse alternative di progetto messe a confronto, il cui variare influenza i diversi costi globali ottenuti, diventando così determinanti nella scelta della soluzione ottimale.

Secondo la normativa vigente ISO 15686-5:2017,[6] i 'costi rilevanti' da considerare nell'analisi LCC comprendono:

- i costi di costruzione, che si presentano nella fase iniziale e che sono relativi non solo all'edificio in sé, ma anche, eventualmente, a quelle opere a completamento del progetto (aree verdi, parcheggi, …) e includono anche le spese di progettazione;
- i costi di esercizio o di gestione (C_g), tra i quali ad esempio i costi di riscaldamento, acqua calda sanitaria e energia elettrica, tasse, distribuiti in tutto il periodo di tempo considerato;
- i costi di manutenzione (C_m) (ordinaria e straordinaria), distribuiti come i costi di esercizio durante tutto l'arco temporale considerato;
- i costi di fine vita sono da considerarsi in questa analisi solo se il manufatto non presenta un valore residuo e dunque se risulta necessaria la demolizione e lo smaltimento dell'opera.

I cosiddetti 'costi non rilevanti' e, dunque, esclusi dall'analisi sono:

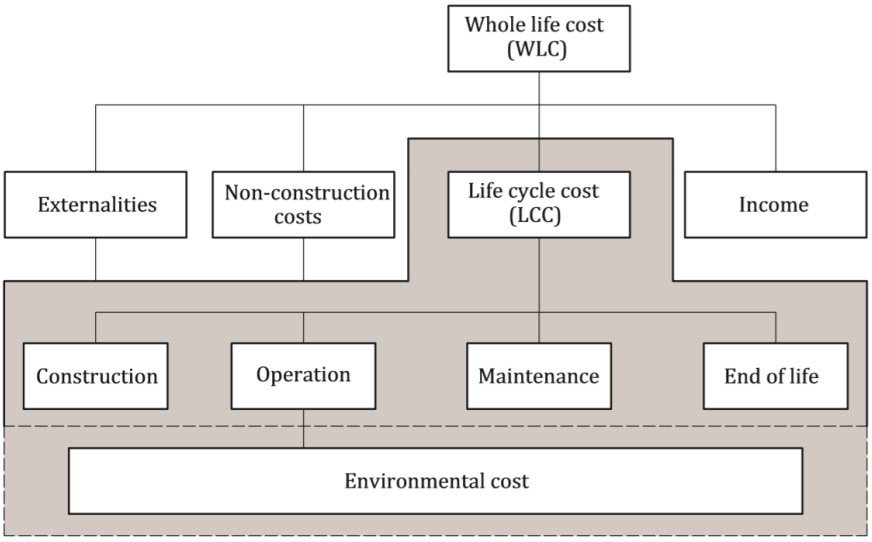
- le esternalità, cioè caratteristiche non monetizzabili;
- i costi di non costruzione (costo del terreno, tasse, interessi e spese finanziarie, etc);

[6] ISO 15686-5: 2017, Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 5: Life-cycle costing.

- i ricavi dalle vendite o dagli affitti.

L'insieme dei 'costi rilevanti' e 'non rilevanti' sopra citati costituiscono il Whole Life Cost (WLC), come raffigura lo schema in figura 1.1, ossia una categoria di costo generale che valuta l'intero ciclo di vita dell'oggetto considerato e include il Life Cycle Cost.

FIGURA 1.1 - ISO 15686-5: 2017, Whole Life Cost (WLC) e Life Cycle Cost (LCC).



Alla luce di queste distinzioni, la formula precedente può essere riscritta più precisamente (ma sempre in forma semplificata) come:

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

Dove C_i è il costo di investimento iniziale e V_r è il valore residuo dell'oggetto. Algebricamente quest'ultima voce di costo può avere segno positivo o negativo in base al fatto che l'elemento abbia mantenuto un valore residuo alla fine del periodo considerato o se, al contrario, debba essere smaltito. Come accennato sopra, nel caso in cui l'edificio abbia mantenuto un valore residuo (V_r positivo) non viene calcolato nell'analisi LCC, ma è da considerarsi parte del WLC, dal momento che rientra nella categoria dei ricavi.

Indicatori

Una volta raccolti tutti i dati e le voci di costo, il confronto delle diverse opzioni di progetto avviene grazie a degli indicatori sintetici.

- Il Valore Attuale Netto (VAN) o Net Present Value (NPV) è la sommatoria attualizzata di tutti i flussi di cassa durante il ciclo di vita del progetto. Rappresenta la differenza tra le entrate totali ricavate dall'investimento e il costo necessario per realizzarlo ed è definito dalla seguente formula:

$$NPV = \sum_{t=1}^{N} \left[\frac{Ricavi}{(1+r)^t} - \frac{Costi}{(1+r)^t} \right]$$

  nella quale r è il saggio di sconto e N il numero di anni del periodo considerato. Perché l'intervento sia realizzabile è necessario che NPV ≥ 0, cioè che i ricavi siano maggiori dei costi.
  Questa formula, però, è valida quando si valuta la fattibilità economica di un progetto, ad esempio attraverso la metodologia del Discounted Cash Flow Analysis (DCF). Nell'approccio LCC, invece, il VAN è costituito soltanto dalla somma dei "costi rilevanti" (C_t) attualizzati, dal momento che sono escluse tutte le voci di ricavo e, dunque, si scrive come:

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

  L'NPV, però, non è sufficiente da solo a determinare la convenienza economica di un progetto ed è quindi necessario avvalersi di altri indicatori.

- Uno di questi è il Pay-back Period (PBP), cioè il tempo di ritorno, espresso in numero di anni, del capitale inizialmente impiegato nell'investimento e, perché il progetto sia ritenuto accettabile, esso deve essere inferiore al periodo totale preso in considerazione per

l'analisi. Può essere un indicatore molto utile quando, nonostante i costi di investimento iniziale siano molto elevati, si prevede un notevole risparmio nella fase di gestione: in questo caso il tempo di ritorno del capitale può essere più breve che in altre alternative. Inoltre, si parla di Simple Pay-back Period (SPB) quando le entrate sono trattate in modo semplificato, non attualizzate e ipotizzate costanti nel tempo, mentre è detto Discounted Pay-back Period (DPB) il tempo di rientro calcolato considerando il flusso di cassa dei rientri non costante durante il periodo in esame, bensì utilizzando il flusso di cassa cumulato delle diverse entrate attualizzate mediante un tasso di sconto stabilito. Per il calcolo del DPB, quindi, è necessario conoscere non solo il costo iniziale dell'investimento e il totale delle entrate (da cui poi risalire a una media annua), come avviene per il SPB, ma occorre prevedere le entrate di ogni frazione temporale in cui è stato suddiviso il periodo in esame.

- Il risparmio ottenuto dall'investimento, invece, è indicato dal Net Savings (NS), calcolabile come semplice differenza tra i costi globali di due alternative di progetto, le quali sono state valutate in un arco temporale di pari durata e a cui sia stato applicato lo stesso saggio di sconto:

$$NS = LCC_A - LCC_B$$

LCC_A e LCC_B non considerano le entrate vere e proprie, tuttavia comprendono i costi della fase di gestione e bisogna tenere presente che costi di gestione bassi possono essere intesi come risparmi (spesso resi possibili da soluzioni tecnologiche pensate solo in una delle due alternative, A o B). Dunque, NS rappresenta il valore attualizzato dei risparmi ottenuti durante la fase di gestione dell'edificio, al netto dei costi di costruzione. Quindi, a partire dalla formula sopra riportata, si può stabilire che quando NS è positivo, cioè con un costo globale di A maggiore di quello di B, è preferibile l'alternativa B, perché permette di ottenere risparmi maggiori, mentre

con NS negativo il costo globale di B è maggiore di quello di A, perciò è migliore il caso A.

- Il Savings to Investment Ratio (SIR) rappresenta l'efficacia del costo sostenuto in termini di risparmi ottenuti nella fase di gestione ed è calcolato come il rapporto tra i risparmi (O_s) e costi di investimento aggiuntivi (A_i):

$$SIR = \frac{O_s}{A_i}$$

  Perché l'investimento sia ritenuto accettabile il SIR dev'essere maggiore di 1 e, in caso di confronto tra due alternative, è preferibile l'opzione che presenta un SIR più elevato.

- Infine, un ulteriore indicatore da considerare è l'Adjusted Internal Rate of Return (AIRR), il quale si calcola a partire dal SIR, considerando quindi i reinvestimenti intermedi necessari e misura il rendimento annuale di un progetto:

$$AIRR = (1+r)(SIR)^{\frac{1}{N}} - 1$$

  Perché sia considerato accettabile il rendimento annuale dev'essere maggiore del saggio di sconto r applicato e, come per il SIR, tra due opzioni a confronto è sempre preferibile quella con un AIRR più elevato.

Interpretazione dei risultati

Siccome l'analisi LCC può essere applicata a ogni tipologia di progetto e può avere gli obiettivi più diversi, è necessario in questa fase tenere a mente le richieste della committenza e la finalità dell'analisi.
Si deve tenere conto, inoltre, che molti dei dati inseriti nell'analisi sono previsioni di costi o di entrate future e si tratta di dati talvolta difficili da definire, anche perché molto spesso l'intervallo di tempo considerato è medio-lungo, perciò non si tratta di una metodologia che fornisce un risultato esatto

e matematico, bensì un risultato che può essere modificato anche notevolmente al variare di alcune condizioni. Per questo motivo è importante articolare l'analisi LCC considerando numerose alternative con diversi scenari e l'esito dev'essere interpretato e confrontato con i risultati di altre analisi svolte parallelamente.

Capitolo 2.

Strumenti di supporto alle decisioni: approcci multicriteri

2.1 Analisi Multicriteri

Le analisi multicriteri sono composte da un insieme di metodi di valutazione, tra loro anche molto differenti, per lo più applicabili a qualsiasi campo e problema, i quali sono particolarmente utili a supportare il processo decisionale riguardante la scelta della migliore alternativa disponibile. Ad esempio, queste tecniche vengono frequentemente utilizzate nei casi di rigenerazione urbana, i quali implicano forti cambiamenti sotto diversi aspetti (dalla viabilità, agli impatti sociali ecc.), dal momento che permettono di valutare il problema sotto tutti i punti di vista.

Riccardo Roscelli, in *Misurare nell'incertezza* del 2005, spiega la caratteristica di multidimensionalità che contraddistingue un determinato problema: «le analisi multicriteri intendono fornire una base razionale a problemi di scelta caratterizzati da molteplici criteri, partendo dal presupposto che, in un contesto sociale, gli obiettivi (progetti di rinnovo urbano, infrastrutture e servizi, mercato del lavoro ecc.) sono caratterizzati da un profilo multidimensionale, detto 'vettore (w)' degli elementi, che ingloba tutti gli attributi rilevanti per la loro completa specificazione: ossia indicatori economici (wE), sociali (wS), fisico-spaziali (wF), ambientali (wA) e culturali (wC): w = (wE + wS + wF + wA + wC).»[1]
Posto l'obiettivo che si desidera raggiungere con l'intervento in programma, queste analisi permettono di scegliere la migliore tra le alternative selezionate, grazie a una valutazione fatta sulla base di una vasta gamma di criteri di varia natura. La determinazione dei criteri di valutazione è sicuramente una fase fondamentale dell'analisi ed è ottenuta mediante la scomposizione del problema, creando, dove necessario, una gerarchia tra i diversi livelli di criteri e sotto-criteri, in base alla loro importanza e specificità.

[1] ROSCELLI R. (a cura di), *Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali*, Celid, Torino 2005, p. 33-34.

È possibile distinguere queste tecniche di valutazione in base alle possibili alternative e alla natura dei dati che esse utilizzano.
La prima differenziazione che è necessario fare è quella che divide le tecniche in base al numero di possibili soluzioni tra cui dev'essere effettuata la scelta: sono detti multicriteri discreti quei metodi utilizzati nei casi in cui la scelta avviene tra un numero finito di alternative possibili, mentre i metodi multiobiettivo continui vengono impiegati qualora le possibili opzioni a disposizione siano teoricamente infinite.
Nella prima categoria, ossia quella delle tecniche multicriteri discrete, è tuttavia doveroso fare un'ulteriore distinzione in base alla tipologia di dati che esse devono trattare. Infatti, alcuni metodi, detti cardinali (o "hard"), sono impiegati nel caso in cui la scelta avvenga utilizzando informazioni quantitative, mentre, quando si deve lavorare con dati non quantificabili, i quali necessitano dell'impiego di una scala di misura ordinale per essere valutati, si utilizzano tecniche di natura qualitativa, dette anche "soft". Esistono poi dei problemi più complessi che richiedono l'utilizzo di dati sia quantitativi sia qualitativi: in questo caso si possono applicare tecniche di valutazione multicriteri con dati misti. Appartiene a quest'ultima categoria il metodo dell'Analythic Hierarchy Process (AHP), sviluppato da Thomas L. Saaty.

In generale, tutte queste tecniche di valutazione si basano sulla costruzione di matrici per trovare la soluzione che più di altre soddisfa l'obiettivo prefissato.
La matrice di valutazione (E) è data dal confronto delle alternative con i criteri: ogni elemento della matrice rappresenta l'impatto che quell'alternativa ha rispetto al dato criterio e può essere di tipo ordinale o cardinale.
La matrice di priorità (W) è costituita dal peso, o priorità, di ogni criterio rispetto all'obiettivo. La determinazione dei pesi può avvenire attraverso vari metodi (ad esempio il confronto a coppie) ed è una fase molto delicata, perché cambiare le priorità può significare modificare direttamente l'ordine di preferenza delle alternative e dunque il risultato dell'analisi. Inoltre, i pesi assegnati possono variare molto a seconda del soggetto che conduce l'analisi,

ciò significa che non si tratta di valori assoluti, ma di giudizi che dipendono fortemente dal contesto specifico. Questa matrice, comunque, non è sempre necessaria; infatti nei casi più semplici, già durante la costruzione dalla matrice E, risulta facilmente individuabile quell'alternativa che soddisfa tutti i criteri meglio delle altre.
Infine, la matrice di stima o di apprezzamento (S) viene costruita sulla base delle due matrici precedenti, E e W.

La valutazione, inoltre, necessita dell'utilizzo di indicatori, detti "indicatori di performance", anch'essi di varia natura, che hanno lo scopo di chiarire e quantificare l'efficacia dell'alternativa in esame, rispetto a quel dato criterio, al quale sono strettamente legati. Durante l'analisi confluiscono all'interno della matrice di valutazione, in maniera aggregata quando sono numerosi e anche questi, così come i pesi, incidono pesantemente sulla determinazione del risultato finale.

Si deve sottolineare che non tutte le tecniche possono essere adatte per qualsiasi problema, anzi è importante valutare la scelta del metodo più appropriato caso per caso. Inoltre, ci si deve premurare di rendere il risultato dell'analisi chiaro a chi ne dovrà usufruire, specificando la metodologia applicata, i criteri presi in considerazione e la scala di priorità assegnatagli e le eventuali approssimazioni che è stato necessario introdurre.

2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Come accennato precedentemente, l'AHP è una metodologia di analisi che, in base all'obiettivo fissato e rispetto a un set di criteri, oltre a permettere di identificare l'alternativa ottimale, mostra anche la scala di priorità per gli elementi di ogni livello. Utilizza diverse tipologie di dati, sia qualitativi che quantitativi.

Questo metodo è stato sviluppato da Thomas L. Saaty intorno al 1970, in Pennsylvania ed è, ancora oggi, molto utilizzato, proprio grazie alla sua versatilità. Infatti, può essere utilizzato per risolvere una moltitudine di casi di carattere diverso, perché la sua struttura le permette di adattarsi e considerare tutti i principali parametri decisionali che variano da caso a caso. Per questo motivo è un metodo ampiamente utilizzato per supportare le decisioni nella fase di progetto a qualsiasi scala, da quella urbana fino a quella architettonica, ad esempio, per la scelta della tipologia di serramento preferibile in un appartamento su cui si interviene.
Come illustrato nel testo *Misurare nell'incertezza*, a cura di Riccardo Roscelli,[2] il metodo dell'AHP segue tre principi, i quali scandiscono le tre principali fasi del procedimento:

1. La scomposizione gerarchica del problema;
2. Il metodo dei giudizi comparati;
3. La sintesi delle priorità.

Scomposizione gerarchica del problema

Il primo passo per applicare la metodologia AHP per la risoluzione di un problema è quello di scomporlo in elementi semplici; questi, in base alle loro caratteristiche, vengono raggruppati in livelli, i quali devono comprendere

[2] Cfr. LOMBARDI P., "L'Analytic hierarchy process e i suoi sviluppi" In ROSCELLI R. (a cura di), *Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali*, Celid, Torino 2005, p. 41-59.

elementi omogenei tra loro. I livelli possono comprendere un numero limitato di elementi (massimo 9 o 10) e sono collegati tra loro tramite relazioni di gerarchia.

In questo modo si vanno a creare delle strutture gerarchiche del tipo:

- Obiettivo (primo livello)
- Criteri (secondo livello)
- Sotto-criteri (terzo livello, facoltativo)
- Alternative (ultimo livello)

Questo schema raccoglie e organizza gli elementi utili alla risoluzione del problema e le relazioni che li legano ed è detto gerarchico, dal momento che i livelli inferiori dipendono da quelli superiori. Ogni struttura gerarchica comprende l'obiettivo, un livello di criteri e uno di alternative tra cui operare la scelta. La presenza del livello dei sotto-criteri, invece, è facoltativa e dipende dalla quantità e dalla natura dei criteri selezionati per la scelta.

L'obiettivo rappresenta ciò che si vuole raggiungere con l'intervento in progetto, che potrebbe essere la necessità di individuare l'alternativa di progetto più sostenibile e più conveniente per l'investitore nel caso di un'analisi fatta su un intervento immobiliare, oppure l'alternativa che possa portare maggiori benefici al tessuto urbano e sociale circostante, nel caso di un intervento a scala più ampia. L'obiettivo occupa il primo livello, ossia nella gerarchia condiziona tutti gli elementi sottostanti.
I criteri e sotto-criteri vengono scelti caso per caso e sono quei fattori in base ai quali dev'essere effettuata la scelta. Possono essere molto specifici, numerici, oppure qualitativi e ampi.
Per quanto riguarda le alternative, esse occupano sempre il livello più in basso nella gerarchia e anche queste possono essere in un numero limitato.
È consigliato limitare il numero di criteri e alternative, in modo da semplificare i passaggi successivi e ridurre le eventuali incoerenze ed errori.

Metodo dei giudizi comparati

Questo principio si basa sul confronto a coppie tra gli elementi dello stesso livello rispetto a un elemento del livello superiore, dal momento che, in base alla struttura gerarchica precedentemente costruita, i primi dipendono dai secondi.
Questo passaggio avviene assegnando al confronto tra due elementi un numero da 1 a 9, basandosi sulla scala fondamentale proposta da Saaty.

TABELLA 2.1 – Scala fondamentale di T. L. Saaty, in ROSCELLI R. (a cura di), Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali, Celid, Torino 2005. [3]

Intensità della preferenza	Definizione	Spiegazione
1	Importanza uguale	I due elementi contribuiscono in pari modo al raggiungimento dell'obiettivo
3	Moderata importanza	Il giudizio è leggermente a favore di un elemento rispetto all'altro
5	Importanza forte	Il giudizio è decisamente a favore di un elemento rispetto all'altro
7	Importanza molto forte	La predominanza dell'elemento è ampiamente dimostrata
9	Estrema importanza	L'evidenza a favore di un elemento è del massimo ordine
2, 4, 6, 8	Valori intermedi tra due giudizi adiacenti	Quando è necessario un compromesso
Valori razionali	I rapporti derivano dalle scale	Se si è dovuta forzare la coerenza per ottenere i valori

In pratica, quando si confrontano due elementi dello stesso livello ci si chiede quale sia più importante rispetto all'elemento del livello superiore oppure

[3] Cfr. LOMBARDI P., "L'Analytic hierarchy process e i suoi sviluppi" In ROSCELLI R. (a cura di), *Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali*, Celid, Torino 2005, p. 45.

quale lo soddisfi di più. L'elemento che risponde a questa domanda ottiene un punteggio tratto dalla scala di Saaty, che è maggiore di 1, mentre quello meno importante il suo reciproco (cioè minore di 1). Inoltre, il metodo permette anche di differenziare i vari gradi di importanza, potendo assegnare punteggi da 1 a 9. Il valore massimo assegnabile è 9, perché secondo alcuni studi, si tratta del numero massimo di opzioni che un individuo può essere in grado di gestire in modo coerente (T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York, 1980).

Questi valori assegnati vengono raccolti nelle matrici di confronto. In particolare, si avrà un numero di matrici pari al numero di elementi totali individuati nella struttura gerarchica, eccetto quelli dell'ultimo livello, le alternative.
Per ogni livello vengono formate *m* matrici, dove *m* indica il numero di elementi del livello superiore al quale esso è subordinato, di ordine (n x n), dove *n* rappresenta, invece, il numero di elementi di quel livello che devono essere confrontati tra loro.

Immaginiamo di dover risolvere una struttura gerarchica composta da:
- Un solo obiettivo (o_1);
- Criteri (m_1, m_2, ⋯, m_n);
- Sotto-criteri (j_1, j_2, ⋯, j_n);
- Alternative (k_1, k_2, ⋯, k_n).

In questo caso si avranno:
- una matrice di ordine (m_n x m_n) per il confronto dei m_n criteri rispetto all'obiettivo o_1;
- m_n matrici di ordine (j_n x j_n) per il confronto dei j_n sotto-criteri rispetto ai m_n criteri;
- j_n matrici di ordine (k_n x k_n) per il confronto delle k_n alternative rispetto ai j_n criteri.

Si tratta pertanto di matrici quadrate che godono della proprietà della reciprocità. Infatti, la diagonale è occupata interamente da valori pari a 1, in quanto si tratta del confronto di un elemento con se stesso. Inoltre, grazie alla proprietà della reciprocità, sarà necessario risolvere solo una metà della matrice, mentre l'altra viene completata di conseguenza.

o_1	m_1	m_2	…	m_n
m_1	1		Valori	
m_2		1	reciproci	
…			…	
	Giudizi			
m_n				1

TABELLA 2.2 – Esempio di matrice di confronto a coppie dei criteri rispetto all'obiettivo.

A questo punto è possibile calcolare la scala di priorità tra gli elementi di ogni livello della struttura gerarchica.

Sintesi delle priorità

Questo passaggio serve a calcolare la scala di priorità di ogni elemento del livello, rispetto all'elemento di riferimento del livello soprastante. Ogni matrice, quindi, ha come risultato un vettore dei pesi che esprime la preferenza di ogni elemento del livello; questo non è altro che l'autovettore principale della matrice.

Per ottenerlo si può ricorrere al calcolo dell'autovalore o alla procedura della media geometrica.

Una volta ottenuto l'autovettore è necessario moltiplicarlo per il peso dell'elemento rispetto al quale è stato effettuato il confronto (elemento del livello superiore). A questo punto si può procedere con la somma degli autovettori pesati per ottenere i pesi totali di tutte le alternative, i quali devono poi essere normalizzati. Solo a questo punto è reso chiaro in quale misura ciascuna alternativa contribuisca al raggiungimento dell'obiettivo generale.

In questa tesi, la fase di calcolo attraverso l'utilizzo del software specifico Super Decisions.[4]

Sempre per mezzo di questo software viene calcolato anche il valore di RC, cioè il rapporto di consistenza della matrice. Questo valore serve a verificare l'attendibilità della matrice. Infatti, durante l'assegnazione dei pesi, potrebbero esserci errori dati dall'incongruenza tra loro dei valori assegnati, dal momento che il cervello umano riesce a gestire in maniera logica solo un numero limitato di relazioni tra elementi. È considerato tollerabile un valore di RC minore o uguale a 0,10, mentre per valori superiori è consigliato 'aggiustare' i pesi assegnati.

[4] https://www.superdecisions.com/ (08/2019).

2.3 Introduzione del concetto di ciclo di vita nel metodo AHP

Come già introdotto, la necessità di valutare un progetto durante il suo intero ciclo di vita, si unisce, d'altro canto, all'esigenza di comprendere nell'analisi numerosi altri criteri utili dalla decisione, oltre a quello della sostenibilità economica e ambientale.
Come si è visto, gli strumenti per affrontare queste tipologie di analisi sono molteplici: per quanto riguarda l'analisi del ciclo di vita dal punto di vista ambientale ed economico-finanziaria ci si può servire rispettivamente della LCA (Life Cycle Assessment) e dell'LCCA (Life Cycle Cost Analysis, illustrato precedentemente; per quanto riguarda invece l'analisi multicriteria, le tecniche utilizzate sono numerose, ma in questa ricerca si è deciso di concentrarsi su uno dei più diffusi, ovvero l'AHP (paragrafo 2.2).

Questo studio nasce dalla consapevolezza dei limiti di questa tecnica di analisi multicriteria, i quali sono stati riconosciuti in molti studi precedenti. Infatti, i cosiddetti 'punti deboli' di questa analisi sono diversi e la accompagnano in tutte le sue fasi: a partire dall'individuazione dell'obiettivo da raggiungere e del set di alternative, fino alla difficoltà di giungere a una scomposizione del problema in elementi semplici (definizione di criteri e di sotto-criteri) che possa considerarsi oggettiva e condivisibile.[5]
A questo si aggiunge il fatto che spesso vengono tralasciati alcuni criteri la cui misurazione risulta più complessa, ma che comunque dovrebbero essere tenuti in considerazione durante la scelta, perché possono influenzare considerevolmente il progetto e il suo contesto.
Inoltre, un'altra fragilità del sistema è rappresentata dall'assegnazione dei punteggi, passaggio che contribuisce in maniera decisiva a determinare il risultato finale e, dunque, a stabilire la preferenza di un'alternativa rispetto ad

[5] FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

un'altra. L'assegnazione dei punteggi della scala di Saaty durante la fase di confronto a coppie dipende fortemente dai soggetti convocati a svolgere l'analisi e tiene scarsamente in considerazione la partecipazione dell'utente finale.
Per questa ragione i tentativi di applicazione congiunta del metodo AHP con altre tecniche sono numerosi e ciò è testimoniato dalla presenza di molta letteratura al riguardo.
Si è deciso di utilizzare l'AHP, anche perché, oltre ad essere uno dei metodi più diffusi, si adatta molto bene alla valutazione dei progetti sia di nuova costruzione sia di retrofit.

Questo lavoro di tesi, in particolare, cerca di affrontare l'applicazione congiunta del metodo AHP con l'approccio al ciclo di vita nella valutazione degli investimenti nell'ambito immobiliare, con particolare focus sull'aspetto economico e finanziario.

È stata condotta una ricerca bibliografica approfondita riguardo alle applicazioni e alle possibili interazioni tra l'approccio Life Cycle Costing e il metodo AHP e, in effetti, alcuni recenti articoli hanno affrontato e sperimentato l'applicazione congiunta di queste due tecniche per supportare il processo decisionale nei più svariati ambiti. In questo paragrafo si intende riassumere la principale bibliografia che è stata rintracciata al riguardo.

La ricerca è partita da un recente articolo pubblicato su Valori e Valutazioni,[6] in cui viene presentata l'integrazione del metodo AHP con l'uso di approcci al ciclo di vita (LCC e LCA) e con il metodo Delphi. Quest'ultimo basa le analisi sulle testimonianze di esperti, *leader* nei settori per i quali vengono convocati, che sono chiamati a esprimere dei giudizi sugli scenari di progetto. Questo metodo, quindi, servendosi della partecipazione di più soggetti con

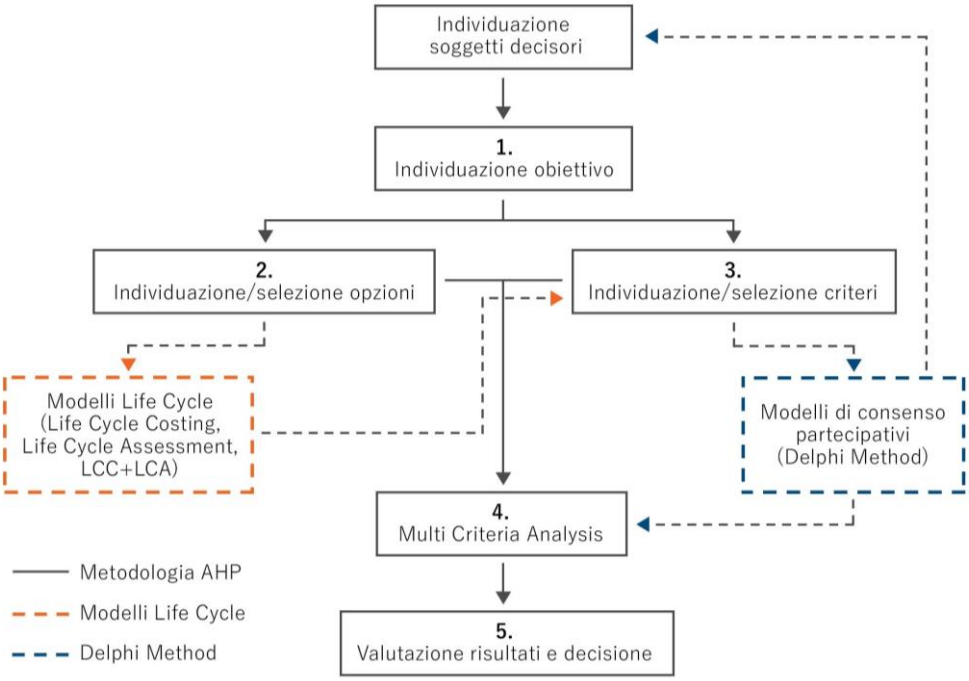
[6] Cfr. FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

competenze specifiche, «fornisce maggiore robustezza alla validazione degli ordinamenti finali dell'AHP».[7]

L'articolo, inoltre, suggerisce quale potrebbe essere il contributo delle metodologie basate sull'approccio al ciclo di vita, come LCA e LCC, all'analisi AHP. Innanzitutto, possono costituire essi stessi dei singoli criteri di valutazione, oppure possono essere applicate nella definizione del set di alternative, cioè il risultato dell'analisi LCA e LCC potrebbe essere determinante per stabilire se un'alternativa di progetto debba essere valutata attraverso l'analisi AHP o se, invece, sia da escludersi a priori, a causa di risultati non soddisfacenti.

Lo schema prodotto dalle autrici illustra la proposta metodologica per l'integrazione di queste tre tecniche di valutazione.

FIGURA 2.3 – Rielaborazione del workflow per l'applicazione congiunta di questi tre metodi a partire da: FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.[8]



[7] FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

[8] FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

L'articolo, inoltre, riassume le caratteristiche del Delphi Method e i passaggi significativi che lo compongono. Viene illustrato come, all'interno dell'analisi AHP, esso crei un collegamento stretto tra la fase di identificazione delle alternative e dei criteri di valutazione e quella dell'individuazione dei soggetti decisori.

Un caso di applicazione che si avvicina molto a quello che viene presentato in questa tesi si trova in un articolo pubblicato su Procedia Engineering nel 2017, ad opera di Re Cecconi et al.[9] L'obiettivo degli autori è quello di selezionare l'intervento di retrofit più vantaggioso su Palazzo Savoia Assicurazioni e Riassicurazioni, a Milano. L'edificio è stato costruito nel 1971, su progetto di Gio Ponti, Antonio Fornaroli, Alberto Rosselli.
Gli autori ipotizzano tre possibili interventi, che vengono comparati con il caso base, ossia il 'non intervento' che mantiene le condizioni attuali dell'edificio.
Per individuare la scelta preferibile si servono dell'integrazione di diversi strumenti: la tecnica di analisi multicriteria AHP, l'analisi LCC, il metodo Delphi e la modellazione BIM (Building Information Model) e BEM (Building Energy Model).
In particolare, l'analisi LCC, come spiegato anche nell'articolo precedente, viene usata come criterio di valutazione, insieme all'ipotetico abbassamento dei ricavi da locazione a causa della diminuzione di superficie affittabile e, infine, un criterio di carattere architettonico ed estetico.
Il risultato dell'analisi ha mostrato come l'opzione preferibile fosse quella che prevedeva un intervento di entità intermedia, mentre i progetti che comprendevano interventi aggiuntivi, come la sostituzione degli infissi e il miglioramento della performance termica attraverso l'inserimento di un cappotto esterno, implicavano un Life Cycle Cost decisamente più elevato.
Come conseguenza del fatto che l'analisi del Life Cycle Costing era ritenuta il criterio nettamente più importante rispetto agli altri (61%), le opzioni con

[9] RE CECCONI F., TAGLIABUE L. C., MALTESE S., ZUCCARO M., (2017), *A multi-criteria framework for decision process in retrofit optioneering through interactive data flow*, Procedia Engineering, n. 180, pp. 859-869.

l'NPC più elevato erano state scartate, anche se avevano ottenuto i punteggi migliori sotto il profilo architettonico.
Gli autori concludono con una riflessione sull'utilità dell'applicazione congiunta degli strumenti sopra elencati e, al fine di rendere più completa una eventuale nuova applicazione futura, suggeriscono di ampliare il modello AHP, aggiungendo altri criteri ed elementi per la valutazione, come ad esempio i dati sulla sostenibilità ambientale.

Nel contesto internazionale, Opher et al. propongono l'integrazione di queste tecniche per individuare la strategia più sostenibile tra quattro diversi scenari di trattamento delle acque reflue in un contesto urbano tipo.[10] Essi si chiedono come ridistribuire in maniera ottimale le acque grigie al fine di diminuire la domanda di acqua. Gli autori 'misurano' la sostenibilità della ridistribuzione a diverse scale (urbana, dell'isolato e edilizia) sotto tre aspetti: economico con l'analisi LCC, ambientale con l'LCA e sociale con sLCA (social Life Cycle Assessment). Inoltre, i giudizi sono basati sulla consultazione di un gruppo di esperti.
L'AHP individua l'alternativa più conveniente, che corrisponde allo scenario di distribuzione delle acque grigie alla scala dell'isolato, poiché ottiene punteggi più elevati in tutte le categorie.

Tuttavia, l'utilizzo della tecnica AHP congiunta ad approcci legati al ciclo di vita non sono state sperimentate soltanto per supportare le scelte riguardanti interventi edilizi o opere ingegneristiche, ma si trovano in letteratura casi di applicazioni anche in altri settori, tra cui quello agricolo. Infatti, già nel 2016, Falcone et al. avevano proposto l'utilizzo delle tecniche LCC e LCA congiunto

[10] OPHER T., FRIEDLER E., SHAPIRA A., (2019), *Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales*, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 24, n. 7, pp. 1319-1332.

all'approccio multicriteria VIKOR, per valutare la sostenibilità di differenti viticolture in Calabria. [11]

Nel 2018, inoltre, è stato pubblicato un articolo da De Luca et al. concernente problematiche decisionali riguardanti la coltivazione di ulivi, anch'essi in Calabria.[12]
In particolare, essi intendono selezionare la migliore tecnica di diserbo, tra il diserbo chimico, meccanico e il diserbo con bassi dosaggi di erbicida. Così come in Opher et al., lo studio viene condotto utilizzando l'AHP associato alle tre tecniche legate al ciclo di vita (analisi LCC, LCA e sLCA), provando così a integrare all'analisi multicriteria dati legati agli impatti ambientali, economici e sociali. È interessante notare come ogni categoria di impatto viene divisa in più sottocategorie, misurate attraverso indicatori quantificabili numericamente. Viene così individuata l'alternativa che risulta preferibile, oltre che la categoria di criteri e indicatori che risultano avere un peso maggiore per i soggetti interessati. Nelle conclusioni gli autori suggeriscono l'uso di questo modello per risolvere problemi decisionali in ambito sia pubblico sia privato.

[11] FALCONE G., DE LUCA A.I., STILLITANO T., STRANO A., ROMEO G., GULISANO G., (2016), *Assessment of Environmental and Economic Impacts of Vine-Growing Combining Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing and Multicriterial Analysis*, Sustainability, Vol. 8, n. 793.

[12] DE LUCA A.I., IOFRIDA N., FALCONE G., STILLITANO T., GULISANO G., (2018), *Olive growing scenarios of soil management: integrating environmental, economic and social indicators from a life-cycle perspective*, Acta Horticulturae 1199, pp. 209-214.

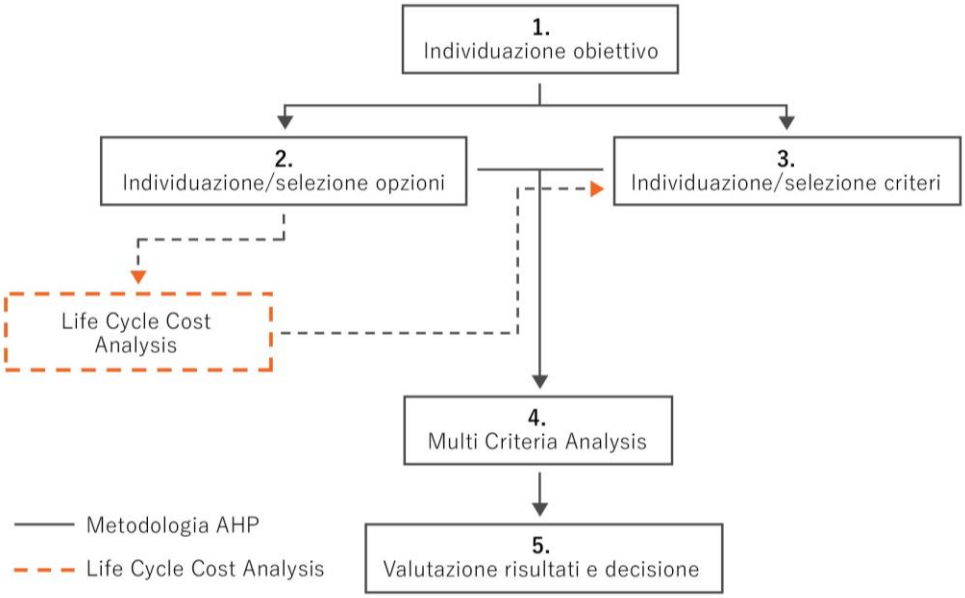
Capitolo 3.

Proposta metodologica e applicazione a un caso studio

3.1 Descrizione della metodologia

A partire dai casi rintracciati nella letteratura, nel presente capitolo viene proposta l'applicazione congiunta delle tecniche AHP e LCC per il caso studio descritto nel paragrafo 3.2.
L'applicazione in questo capitolo seguirà la struttura dello schema seguente, elaborato a partire da quello riportato in figura 2.3, tratto dall'articolo di Fregonara e Coscia (2019).

FIGURA 3.1 – Workflow per l'applicazione congiunta dei metodi AHP e LCC. Fonte: rielaborazione dell'autrice da: FREGONARA E., COSCIA C., *Analisi Multi Criteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.



L'analisi LCC verrà quindi usata sia nella fase di selezione delle alternative sia in quella di definizione dei criteri.
A differenza dell'articolo non è stato possibile in questo contesto associare l'applicazione del metodo Delphi, a causa della difficoltà organizzativa che sarebbe derivata della formazione e consultazione del *team* di esperti.
Un ulteriore sviluppo futuro che un nuovo caso studio di applicazione congiunta potrebbe considerare, potrebbe essere proprio l'aggiunta di questo

metodo, oltre che l'integrazione di altri approcci al ciclo di vita, come ad esempio l'analisi LCA.

In questo capito viene suddivisa la struttura dell'applicazione nei cinque paragrafi che seguono: il 3.2 descrive il progetto oggetto dell'applicazione, il 3.3 identifica gli elementi considerati rilevanti al fine del raggiungimento dell'obiettivo e, su questa base, propone la struttura gerarchica dell'analisi AHP, mentre gli ultimi tre sviluppano l'applicazione vera e propria, quindi l'assegnazione dei punteggi alle matrici di confronto, la lettura ed interpretazione dei risultati finali e, infine, la descrizione dei passaggi eseguiti mediante il software Super Decisions.

3.2 Presentazione del caso studio

Si è deciso di sperimentare l'applicazione congiunta dei metodi AHP e LCC su un progetto sviluppato nel corso dell'Atelier 3R, ovvero l'Atelier finale di Progettazione, titolari proff. Cesare Griffa, Roberto Giordano e Rocco Curto, nell'anno accademico 2017/2018.
È stato scelto questo caso studio data la disponibilità della maggior parte dei dati necessari relativi al ciclo di vita dell'edificio, sia in termini di costi, sia di consumi, sia di impatti ambientali.

Il progetto si colloca nella zona Nord Est di Torino, oltre il Fiume Po, in particolare si affaccia su via Odoardo Tabacchi nella microzona n. 24 Collina (secondo l'O.I.C.T.).[1]

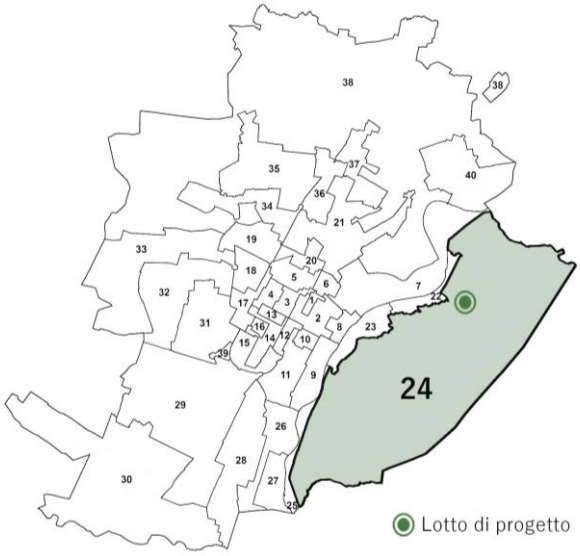


FIGURA 3.2 - Rielaborazione della mappa dell'Osservatorio Immobiliare della Città di Torino (O.I.C.T.), con l'articolazione del territorio comunale in 40 Microzone censuarie. Sono stati evidenziati il sito d'intervento e la microzona a cui appartiene.

3.2.1 Stato di fatto e di progetto

Il lotto di intervento si espande per 2.055 m^2 ed è occupato da due edifici ora inutilizzati. Ex sede della Nital (Nikon Italia), sono stati abbandonati da quando l'azienda ha spostato la sua sede altrove. Il primo edificio, che si affaccia su Largo Tabacchi, è una villa d'epoca, mentre la palazzina per uffici in via Odoardo Tabacchi è di costruzione decisamente più recente e di qualità

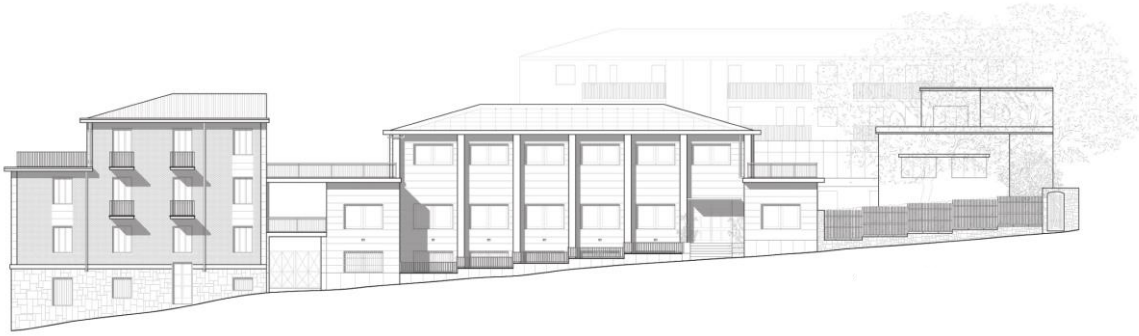
[1] http://www.oict.polito.it (03/09/2019).

inferiore. Quest'ultimo è composto due piani fuori terra e da un piano seminterrato che si estende oltre l'area di progetto, fino alla via Michelangelo Tonello, parallela a via Odoardo Tabacchi.

FIGURA 3.3 - Documentazione fotografica dello stato di fatto del 25 ottobre 2017: palazzina per uffici.

Il prospetto della palazzina per uffici riportato di seguito mostra una caratteristica che ha sicuramente influenzato la progettazione, cioè la presenza di un forte dislivello, circa 3 m, lungo via Odoardo Tabacchi, dovuto al fatto di trovarsi in una zona collinare.

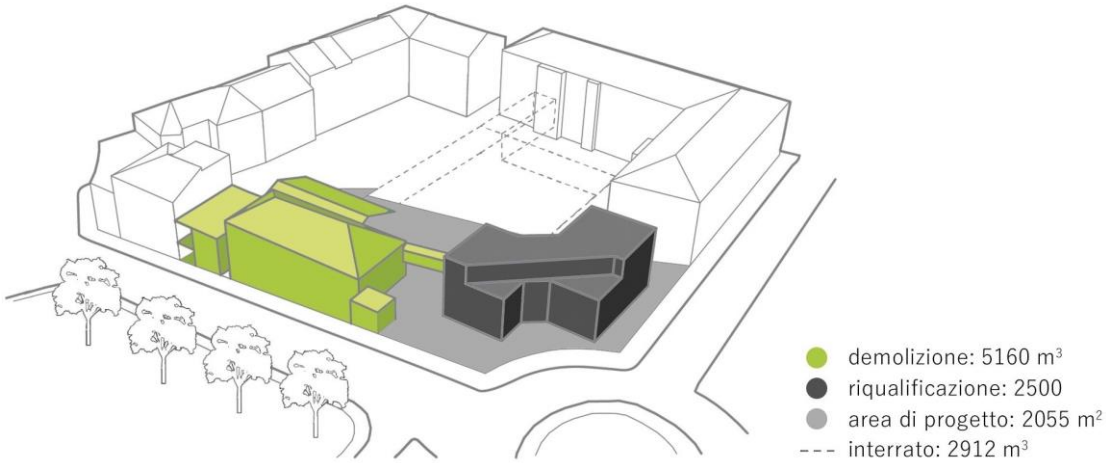
FIGURA 3.4 - Prospetto lungo via Odoardo Tabacchi dello stato di fatto.



Trattandosi di un edificio di pregio si è deciso di mantenere la villa su Largo Tabacchi, optando per un intervento di retrofit, mentre per quanto riguarda l'altro edificio, viste le pessime condizioni nel quale si trova, si è deciso per la demolizione e ricostruzione ex-novo dei piani fuori terra.

Inoltre, ragionando sulla presenza del dislivello, si è pensato che l'unico modo di utilizzare questo spazio fosse mantenere la struttura del seminterrato esistente, intervenendo con consolidamenti laddove necessario e modifiche interne per integrarlo al nuovo progetto.

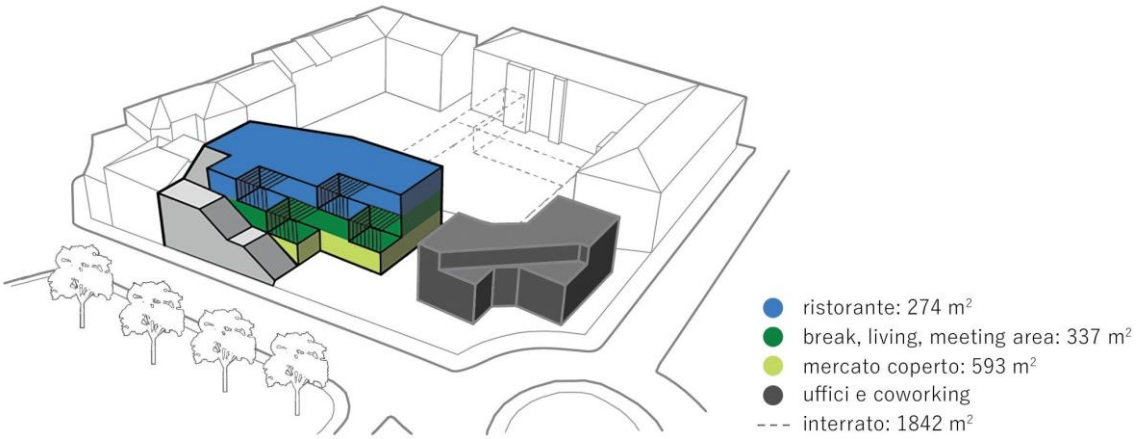
FIGURA 3.5 - Schema volumetrico delle preesistenze.



Dopo un'analisi dei servizi offerti e delle attività che si sono sviluppate in questa particolare zona di Torino, si è ipotizzato l'inserimento di un mercato di prodotti locali nel piano terra del nuovo edificio che fosse strettamente collegato con la produzione agricola dei territori circostanti.
I piani superiori, pensati come soppalchi che si affacciano sul mercato sottostante, ospitano attività di ristorazione, in cui è possibile consumare i prodotti venduti al piano terra. La concezione con cui è stato pensato non è tanto quella di un edificio costituito da tre piani distinti, ognuno con la propria attività indipendente e slegata dagli altri due e dal contesto, anzi, si può quasi dire che l'edificio ospiti un'unica destinazione d'uso volta allo svolgimento di una sola attività: promuovere le materie prime a chilometro zero, le piccole aziende locali e i loro prodotti artigianali.
In particolare, se al secondo piano è stato progettato l'inserimento di un ristorante propriamente detto, è il primo piano ad essere investito della funzione di collegamento concettuale, oltre che spaziale. Infatti, diversamente dal ristorante soprastante, questo è dedicato al "consumo veloce" tipico di un bar, ma i suoi salottini, tavoli e terrazzi permettono un momento di pausa e

possono diventare un punto di incontro tra amici o luogo dove trascorrere le pause pranzo. L'ultimo piano è organizzato con un ulteriore spazio coperto dedicato ad eventi enogastronomici, il quale si apre su un'ampia terrazza.
Infine, il piano seminterrato è stato recuperato e viene usato come parcheggio ad uso dell'attività commerciale soprastante, come punto di ritiro del servizio e-commerce ed è accessibile direttamente da via O. Tabacchi.
Nella villa, dopo un intervento di retrofit, si potrebbero ospitare spazi dedicati agli uffici per la gestione dell'attività di mercato e ristorazione e la parte rimanente potrebbe essere destinata a coworking.

FIGURA 3.6 - Schema volumetrico delle destinazioni d'uso in progetto.



Nelle pagine seguenti si riportano gli elaborati relativi al progetto architettonico (piante, prospetti e sezioni in scala 1:500) e alcune informazioni utili alla comprensione del progetto.

FIGURA 3.7 – Piante dei piani fuori terra.

FIGURA 3.8 –Vista su via O. Tabacchi.

FIGURA 3.9 – Prospetto su via O. Tabacchi e sezioni in scala 1:500.

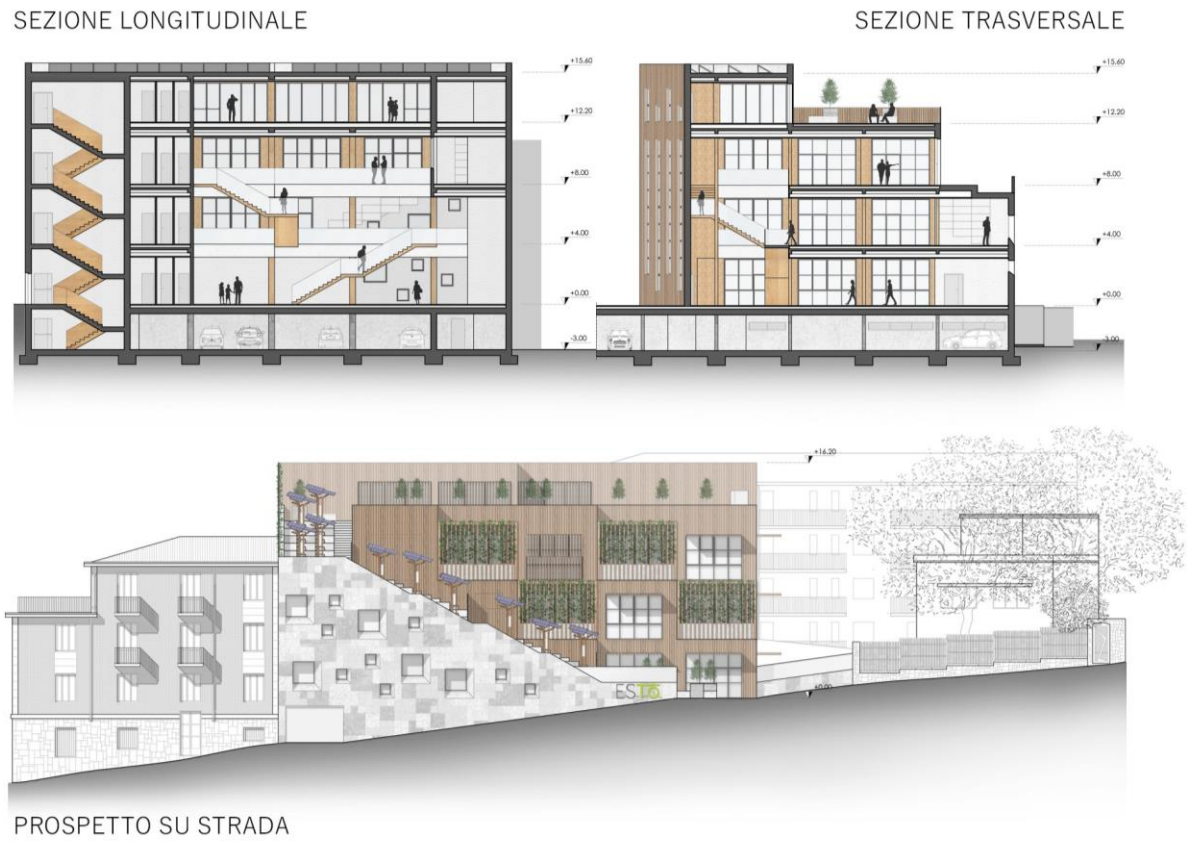
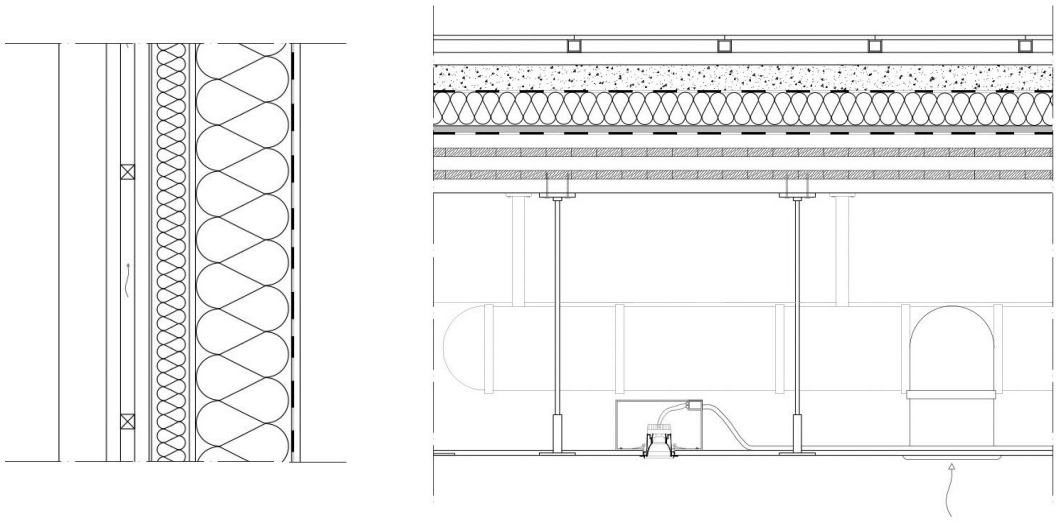


FIGURA 3.10 – Sezioni tecnologiche fuori scala di un tamponamento tipo in pannelli di legno e isolante di una chiusura verticale opaca (sinistra) e una chiusura orizzontale superiore opaca (destra).



3.2.2 Dati energetici e di impatto ambientale

Il calcolo del fabbisogno energetico è stato eseguito tenendo in considerazione una serie di fattori che, direttamente o indirettamente, influenzano il progetto.
A partire dalle trasmittanze dei vari elementi di involucro e da altri fattori, quali l'ombreggiamento, l'esposizione, le caratteristiche climatiche del sito in cui si sviluppa il progetto e i valori dimensionali degli elementi che lo caratterizzano, si è giunti al calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, espresso in MJ.
In particolare, l'edificio di progetto è caratterizzato da un fabbisogno annuale per il riscaldamento (Q_H) pari a 90.146 MJ e per il raffrescamento (Q_C) di 159.231 MJ, per un totale di 249.377 MJ, che equivale a circa 69.271 kWh/anno.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale del progetto, non è stata svolta un'analisi LCA, tuttavia sono stati calcolati i valori di Embodied Energy, l'indice di rinnovabilità e il rapporto tra Embodied Energy iniziale e periodica che caratterizzano il progetto.
Questo calcolo è stato supportato dal software IREEA, strumento sviluppato nella tesi di laurea di Demaria E. e Duzel A., il quale permette di calcolare i valori di Embodied Energy totale e periodica degli elementi del progetto e di verificarli rispetto ai valori limite della certificazione Minergie-A.[2]

In particolare, dopo aver inserito i dati dimensionali dell'edificio, il programma richiede per ogni materiale che compone le stratigrafie degli elementi opachi di specificare la densità, lo spessore, l'Embodied Energy totale (MJ/kg), l'Embodied Energy ottenuta da fonti rinnovabili e il numero di cicli sostitutivi che ogni elemento richiede nel suo ciclo di vita. Dopo aver aggiunto anche le informazioni richieste riguardo ai serramenti, il software calcola i valori totali

[2] DEMARIA E., DUZEL A., *Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building". Ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica*, tesi di laurea, rel. Giordano R., Serra V., Politecnico di Torino, a.a. 2015-2016.

dell'edificio che, in questo caso è caratterizzato da una EE_{TOT} di 48,81 kWh/m^{2}anno, un indice di rinnovabilità (IR_{EE}) pari al 52% e un rapporto tra Embodied Energy iniziale e periodica del 19%.
Questi indicatori vengono spiegati meglio nel paragrafo seguente (3.3.3).

Un altro strumento utilizzato è stato il testo di Giordano R., che, grazie alla sezione dedicata alle schede prodotto, fornisce indicazioni fisico-tecniche, ambientali ed energetiche per molti materiali usati in edilizia. [3]

3.2.3 Costo nel ciclo di vita e fattibilità economica (LCC e DCF)

Il costo di costruzione stimato per l'intervento è di 1.763,26 €/m^2 e si articola come segue:

TABELLA 3.1 – Voci che costituiscono il costo di costruzione dell'edificio.

Opere provvisionali e noleggio	27.292,87 €
Struttura portante	98.455,63 €
Parete muratura	95.076,29 €
Parete legno	97.380,58 €
Partizioni verticali	116.653,58 €
Solai	341.514,10 €
Coperture	189.343,33 €
Gradonata	37.700,50 €
Serramenti	57.867,65 €
Porte interne	18.740,81 €
Ascensori	47.269,74 €
Fotovoltaico	98.000,00 €
Impianti (40%)	816.863,39 €
Altro (20%)	306.323,77 €
TOTALE (€)	**2.348.482,24 €**
Costo parametrico (€/m^2)	**1.763,26 m^2**

[3] GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010.

Per quanto riguarda la valutazione economica del progetto sono state condotte l'analisi nel ciclo di vita (LCC) e l'analisi dei flussi di cassa scontati (DCF) per verificare la fattibilità dell'intervento. Queste due metodologie di valutazione sono state sinteticamente illustrate rispettivamente nei capitoli 2.2 e 2.1.

Analisi LCC

La tabella A.2 nell'allegato A mostra l'analisi LCC condotta sull'edifico di progetto, articolata come segue:

- costi di non costruzione;
- costi di costruzione;
- costi operativi;
- costi di manutenzione;
- costi di fine vita e smaltimento;
- risparmi.

Per quanto riguarda i costi di non costruzione si tratta per lo più di spese legate alla fase iniziale dell'investimento.
Il costo del terreno è stato ipotizzato basandosi sulla delibera della Giunta Comunale della Città di Torino riguardo al valore delle aree fabbricabili relativamente a ogni Microzona.[4]
In seguito, quando verranno confrontati con quelli delle alternative, sarà importante notare come quasi tutti questi costi siano costanti, eccetto per il contributo sui costi di costruzione, perché quest'ultimo varia da un'opzione all'altra.
Nel caso in esame ammonta a 1.763,26 €/m^2 (tabella 3.1) a cui si devono aggiungere i costi delle opere annesse, come i parcheggi interrati e l'area

[4] TABELLA 1 - Valori medi delle aree fabbricabili a destinazione residenziale, box – posti auto singoli e doppi della Città di Torino ai fini dell'imposizione IMU – 2016.
http://www.comune.torino.it/tasse/imu/determinazione-base-imponibile-IMU-3.shtml#terreni (23/10/2019).

verde circostante, arrivando a una spesa complessiva superiore a 3,5 milioni di euro.

TABELLA 3.2 – Costi non relativi alla fase di costruzione.

NON CONSTRUCTION COST				
	[m²]	[€/m² SLP]	Totale [€]	[%]
Terreno	1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	37,28%
Spese d'atto	4%		102.823,48	1,49%
Oneri di Urbanizzazione 2°	1.699,00	34,61	58.802,39	0,85%
(al netto delle opere a scomputo)				
Contributo su Costo di Costruzione	5,0%	1.763,26	149.788,94	2,17%
Totale Non Construction Cost			**2.882.001,81**	**41,80%**

TABELLA 3.3 – Costi di costruzione.

LIFE CYCLE COST				
Construction Cost	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]
Verde Pubblico	330,00	60,00	19.800,00	0,29%
Parcheggi interrati	832,00	374,03	311.192,96	4,51%
Commerciale	1.699,00	1.763,26	2.995.778,74	43,45%
Totale	**2.861,00**		**3.326.771,70**	**48,25%**
Spese tecniche		8%	266.141,74	3,86%
Totale Construction Cost			**3.592.913,44**	**52,11%**

I costi operativi sono principalmente composti dal costo dell'energia elettrica, dell'acqua calda sanitaria e del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, oltre che da varie imposte.
In particolare, il costo dell'energia elettrica è stato stimato a partire da un valore di riferimento tratto dalla norma UNI EN 15193, arrivando ad ottenere un consumo di 41 kWh/m² all'anno, cioè 69.659 kWh annui. Questo valore è stato poi moltiplicato per l'importo in €/kWh in modo da trovare il costo annuo.

Anche per quanto riguarda il costo dell'acqua calda sanitaria è stato fatto un calcolo approssimativo, basato sul numero di coperti del locale.

Invece, il procedimento di calcolo del fabbisogno di riscaldamento e di raffrescamento è stato specificato nel paragrafo precedente (3.2.2), per questo nell'analisi LCC è stato sufficiente moltiplicare il valore 69.271 kWh/anno per il costo dell'energia utilizzata.

TABELLA 3.4 – Costi operativi.

Operation Cost	[kWh/anno]	costo parametrico	Totale [€]	[%]
Costi di Gestione		2%	8.756,14	0,13%
Costi di Assicurazione		0,03%	1.077,87	0,02%
Costi dell'Energia Elettrica	69.659,00	0,18	12.538,62	0,18%
Costo del Riscaldamento	69.271,39	0,18	12.468,85	0,18%
Costo ACS	35.838,99	0,18	6.451,02	0,09%
Tasse e spese di registrazione		0,50%	2.189,04	0,03%
Imposte di bollo		16,00	368,00	0,01%
Tasse sull'imponibile		43%	178.844,22	2,59%
Totale Operation Cost			**222.693,77**	**3,23%**

I costi di manutenzione ordinaria e straordinaria sono stati calcolati rispettivamente come l'8% del totale dei ricavi (ipotizzati in seguito in tabella 3.8) e l'1% del costo di costruzione.
Nei costi di fine vita, invece, la spesa per la demolizione è stata approssimata in base alla volumetria, mentre il calcolo del costo di smaltimento dei rifiuti è stato supportato dal software online Design Out Waste for Building.[5]

TABELLA 3.5 – Costi di manutenzione.

Maintenance	costo parametrico	Totale [€]	[%]
Costi di ordinaria manutenzione	8,0%	35.024,57	0,51%
Costi di manutenzione straordinaria	1,0%	35.929,13	0,52%
Totale Maintenance		**70.953,71**	**1,03%**

[5] http://dowtb.wrap.org.uk/ (01/2018).

TABELLA 3.6 – Costi di smaltimento e fine vita.

End of Life	[t]	[mc]	costo parametrico	Totale [€]	[%]
Costi di demolizione		10.282,00	20,00	205.640,00	2,98%
Costo di smaltimento dei rifiuti speciali	179,00		23,34	4.177,86	0,06%
Totale End of life				**209.817,86**	**3,04%**

Nella categoria dei risparmi vengono considerati lo scomputo degli oneri di urbanizzazione primaria, i contributi regionali per l'installazione dell'impianto fotovoltaico e i risparmi annuali sull'energia elettrica che questo genera.

TABELLA 3.7 – Flussi in entrata intesi come risparmi sui costi.

INCOME				
	[m^2]	costo parametrico	Totale [€]	[%]
Scomputo oneri di Urbanizzazione 1°	125,00	134,70	-16.837,50	-0,24%
Incentivi per raggiungimento requisiti energetici		65%	-63.700,00	-0,92%
Risparmi sull'energia elettrica		23,6%	-2.952,85	-0,04%
Totale Income			**-83.490,35**	**-1,21%**

Infine, è stato necessario ipotizzare un canone di locazione, perché, nonostante nell'analisi LCC non venga considerato come valore in sé, sulla base di questo vengono calcolate altre voci di costo: il costo di gestione, la tassa sull'imponibile e tutti i costi di manutenzione sopra riportati.
Per ottenere il canone di affitto dell'edificio in progetto si è deciso di basarsi sui dati dell'OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare), il quale indica come valori medi di locazione l'intervallo che va da 6,5 a 12 €/m^2 al mese per un edificio in condizioni conservative 'normali'.[6] Dal momento che questi importi sono riferiti ad attività commerciali medio-piccole, come ad esempio un piccolo negozio, o a supermercati, i quali, seppure nuovi e di maggiori dimensioni, conducono un'attività commerciale standard, si è deciso di

[6] https://wwwt.agenziaentrate.gov.it/servizi/Consultazione (15/09/2019).

utilizzare per questo progetto il valore massimo dell'intervallo, cioè 12 €/m^2 al mese. È comunque importante fare notare che si tratta probabilmente di una stima pessimistica, essendo il progetto fuori dallo standard considerato dall'OMI sia per la tipologia di attività che ospiterà sia per la qualità del costruito.

Per i parcheggi l'OMI non fornisce informazioni sui canoni di affitto di un parcheggio legato ad un'attività commerciale; pertanto ci si è basati sui valori di parcheggi coperti nel segmento residenziale in Microzona Michelotti.

TABELLA 3.8 – Ricavi dati dalla locazione.

BILANCIO GESTIONE						
Ricavi da locazione	n.	[m^2]	[€/m^2] annui	Totale Semestrale [€]	Totale Annuo [€]	[%]
Ristorante		1.699,00	144,00	122.328,00	244.656,00	55,88%
Parcheggi auto interrati		1.635,00	123,60	101.043,00	202.086,00	46,16%
Vacancy	2%	sui ricavi		-4.467,42	-8.934,84	-2,04%
Inflazione (annua)	1,50%					
Semestrale	0,75%					
Totale					**437.807,16**	**100,00%**

L'analisi LCC mostra un costo globale pari a 11.823.731,90 € applicando un tasso di sconto del 3% in un arco temporale di 30 anni.

Analisi DCF

Al contrario dell'analisi LCC, nel DCF anche i ricavi vengono considerati nel calcolo del NPV, il quale rappresenta la sommatoria attualizzata dei flussi di cassa durante il ciclo di vita del progetto.
L'analisi include tutti i costi che l'investitore deve sostenere: costi di non costruzione e costi di costruzione veri e propri del progetto e delle opere annesse. Come si può vedere in tabella 3.9, le opere di urbanizzazione primaria vengono scomputate, quindi non sono da considerare.

TABELLA 3.9 – Costi di investimento.

COSTI DI INVESTIMENTO					
Costi di non costruzione	n.	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	**[%]**
Terreno		1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	39,9%
Spese tecniche	8%		costi costruzione	266.141,74	4,1%
Spese generali intervento	2%		costi costruzione	66.535,00	1,0%
Oneri di Urbanizzazione 1° *(scomputo)*		~~125,00~~	~~134,70~~	~~16.837,50~~	0,0%
Oneri di Urbanizzazione 2°		1.699,00	34,61	58.802,00	0,9%
Contributi sul costo di costruzione	5%	1.699,00	1.763,26	149.789,00	2,3%
Totale				**3.111.855,50**	**48,3%**
Costi di costruzione	n.	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	**[%]**
Verde pubblico		330,00	60,00	19.800,00	0,3%
Parcheggi interrati		832,00	374,03	311.192,96	4,8%
Commerciale		1.699,00	1.763,26	2.995.778,74	46,5%
Totale				**3.326.771,70**	**51,7%**
TOTALE COSTI				**6.438.627,20**	**100%**

Il totale dei costi dev'essere a questo punto sottratto alla sommatoria attualizzata dei ricavi. I flussi in entrata sono dati dai canoni di locazione dell'immobile (come per l'analisi LCC, tratti dall'OMI), pari a 144 €/ m² all'anno per gli spazi adibiti ad attività commerciale e a 123,60 €/ m² all'anno per i parcheggi.

Si ipotizza una quota di *vacancy*, così come per l'analisi LCC, pari al 2% dei ricavi totali e la dismissione dell'immobile al 6%.
A questo punto sono stati definiti i ricavi lordi, però l'investitore durante la fase di gestione incorre ancora in numerose spese, che vanno a sommarsi ai costi iniziali dell'investimento, costituendo una parte dei flussi in uscita. A questa categoria appartengono le spese di manutenzione ordinaria e straordinaria, i costi di gestione e imposte varie.
Siccome i flussi del bilancio di gestione sono distribuiti in tutto l'arco temporale considerato sono soggetti a un'inflazione annua pari al 1,50% (non viene applicata ai costi di costruzione poiché sono spese imminenti, sottoposte all'investitore nella fase iniziale del periodo di tempo considerato).

TABELLA 3.10 – Bilancio di gestione.

BILANCIO DI GESTIONE					
Ricavi da locazione	n.	quantità	[€/m²] annui	Totale annuo [€]	[%]
Commerciale	m²	1.699,00	144,00	244.656,00	55,9%
Parcheggi interrati	m²	1.635,00	123,60	202.086,00	46,2%
Vacancy (sfitto + inesigibilità)	-2%	sui ricavi		-8.934,84	-2,0%
Dismissione immobile	6%	tasso di sconto			
Totale				**437.807,16**	**100%**
Costi operativi	n.	quantità	[€/m²] annui	Totale annuo [€]	[%]
Spese per manutenzione ordinaria	8%	sui ricavi		-35.024,57	41,4%
Accantonamento per manutenzione straordinaria	1%	costi costruzione		-35.929,13	42,5%
Costi di gestione *(property management)*	2%	sui ricavi		-8.756,14	10,4%
Assicurazioni	0,03%	val. catastale		-1.942,37	2,3%
Oneri fiscali	0,60%	val. catastale		-38.847,34	45,9%
Totale				**-84.570,42**	**100%**
Inflazione annua	1,50%				
REDDITO NETTO				**353.236,74**	

Come spiegato nel paragrafo 1.1, perché il progetto sia fattibile l'NPV dev'essere maggiore di zero e l'IRR dev'essere maggiore sia del saggio di

sconto effettivamente utilizzato nel progetto sia di un saggio soglia di riferimento (calcolato a parte).
L'investimento risulta conveniente sia nel caso in cui si impieghi interamente il capitale proprio, sia nel caso in cui si prenda una parte del capitale a prestito, infatti in entrambi i casi l'NPV è positivo e l'IRR è superiore al saggio di attualizzazione impiegato.
Le condizioni di finanziamento ipotizzate prevedono l'impiego di 50% di capitale proprio e di 50% a prestito, con periodo di rimborso di 30 anni e un tasso del 3,75% all'anno.

TABELLA 3.11 – Flussi di cassa del progetto.

FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED		
	annuo	equivalente di periodo
Saggio attualizzazione	**5,60%**	5,60%
NPV		**€ 1.072.727,54**
IRR (ann.)		**6,68%**
CONDIZIONI FINANZIAMENTO		
Leva (%)	50,0%	
Importo (€/000)	3.219.313,60	
Durata mutuo (anni)	30	
EURIRS 20 anni (%)	1,25%	
Spread (% / bps)	2,5%	
Tasso Annuale (%)	3,75%	
FLUSSO FINANZIARIO - CASH FLOW LEVERED		
	annuo	equivalente di periodo
Saggio attualizzazione	**7,45%**	7,45%
NPV		**€ 165.658,73**
IRR (ann.)		**7,76%**

3.2.4 Problemi nell'identificare l'alternativa migliore

Se nell'analisi LCC l'alternativa di progetto risulta essere la meno vantaggiosa, la valutazione della fattibilità economica attraverso il DCF mostra un risultato differente.

Dal momento che non esiste un'alternativa che possa essere ritenuta preferibile sotto tutti gli aspetti si è deciso di applicare la tecnica Multicriteria AHP a partire da questi risultati, unita al concetto di ciclo di vita, al fine di poter effettuare una scelta che tenga in considerazione il maggior numero di criteri, entro un arco temporale di media-lunga durata.

3.3 Costruzione del modello

Per iniziare l'analisi è necessario definire la struttura gerarchica del modello, chiarendo l'obiettivo dell'analisi, i criteri di giudizio e le alternative tra cui effettuare la scelta.

3.3.1 Individuazione dell'obiettivo

Obiettivo dell'analisi è identificare l'opzione di progetto migliore, ossia, in questo caso, quella che risulta essere maggiormente sostenibile rispetto tutti i punti di vista considerati.
Questo costituirà il primo elemento della struttura gerarchica del modello.

3.3.2 Individuazione del set di alternative

A questo punto, per poter applicare la metodologia AHP, risulta necessario formare un set di possibili alternative tra cui far ricadere la scelta finale.
Volendo condurre un'analisi che riguarda il ciclo di vita del progetto, si è deciso di optare per un set di alternative che si distinguessero tra loro per le diverse soluzioni tecnologiche e costruttive utilizzate.
Infatti, partendo dalle caratteristiche tecnologiche dell'edificio in progetto, si è scelto di provare a modificare i seguenti elementi:

- **Spessore dello strato isolante**: l'idea di ottenere un edificio che tentasse di ridurre i consumi puntando a sviluppare al massimo i sistemi passivi per il risparmio di energia, ha sicuramente portato a introdurre spessori considerevoli di isolante all'interno delle sezioni murarie. Riducendo lo strato di isolante da 28 a 14 cm nella parete in legno e da 16 cm a 12 cm in quella in muratura, cambieranno sia il fabbisogno energetico sia, di conseguenza, il costo.

- **Tipologia del vetro**: essendo l'edificio caratterizzato da una forte connessione con l'esterno e, per questo, specialmente nei prospetti sud-est e sud-ovest, dotato di numerose vetrate piuttosto ampie, può

essere interessante scoprire la loro incidenza e come influiscono sull'aspetto dei consumi. Così si è pensato di sostituire il triplo vetro scelto (4-12-4-12-4 mm) con un doppio vetro (4-12-4 mm).

- **Materiali del sistema costruttivo**: queste alternative ipotizzano che l'edificio sia interamente costituito riportando in tutti i muri perimetrali la stratigrafia che caratterizza la parete in muratura e pilastri di calcestruzzo armato del volume della scala, come avverrebbe nell'edilizia più tradizionale, invece del legno lamellare. In questa alternativa, l'edificio cambia interamente sotto molti punti di vista, innanzitutto perché si perde l'idea di progetto legata al legno, che vedeva in questo sistema costruttivo un'alta percentuale di materiale riciclabile alla fine del ciclo di vita e soprattutto proveniente da fonti rinnovabili. Inoltre, cambia drasticamente anche l'aspetto estetico, dal momento che non avrebbe senso rivestire la muratura con listelli di legno e perciò si avrebbe come risultato un edificio uniforme, totalmente rivestito in piastrelle di gres porcellanato.
  A livello di concept perderebbe in parte significato anche il volume della scala in sé, che non potrebbe più contare sul contrasto con il legno, il quale sicuramente permetteva ai due diversi materiali di esaltare l'uno l'altro.
  Quest'alternativa si ritiene degna di considerazione principalmente perché si tratta della tecnica costruttiva più utilizzata, in cui la maggior parte delle imprese è specializzata e, di conseguenza, anche meno costosa.

- **Presenza/assenza di impianto fotovoltaico**: dal momento che si tratta di un investimento oneroso, che incide pesantemente sul costo di costruzione, ma, al tempo stesso, è una variabile strettamente legata al il ciclo di vita, si è voluto, per ogni alternativa, valutare l'impatto della sua presenza/assenza.

Immaginiamo ora di combinare la variazione di questi quattro parametri creando tutte le alternative intermedie e per ciascuna di calcolarne il fabbisogno energetico, il costo di costruzione, il costo del ciclo di vita e i vari indicatori ambientali.
La seguente tabella riporta alcune delle possibili combinazioni, accompagnate dai valori che le caratterizzano.

TABELLA 3.12 – Sintesi delle alternative di progetto considerate.

	Materiali	**Isolante [cm]**	**Vetro**	**Impianto fotovoltaico**	**$Q_H + Q_C$ [kWh/anno]**	**Costo di costruzione parametrico [€/m² SLP]**	**IR_{EE} [%]**	**EE_{anno} [kWh/m² anno]**
1	Legno	14	Doppio	Assente	77.588	1.530,12	51	44,43
2	Legno	14	Triplo	Assente	72.908	1.547,34	51	48,24
3	Legno	14	Doppio	Presente	77.588	1.671,14	51	44,43
4	Legno	14	Triplo	Presente	72.908	1.688,37	51	48,24
5	Legno	28	Triplo	Assente	69.271	1.622,23	52	48,81
6	Legno	28	Triplo	Presente	69.271	1.763,26	52	48,81
7	Tradizionale	28	Triplo	Presente	71.060	1.518,49	31	46,78
8	Tradizionale	28	Triplo	Assente	71.060	1.377,46	31	46,78
9	Tradizionale	28	Doppio	Assente	75.364	1.360,23	31	42,45
10	Tradizionale	28	Doppio	Presente	75.364	1.501,26	31	42,45

Tuttavia, si tratta di una preselezione, infatti il metodo AHP prenderà in considerazione solo quattro delle alternative riportate in tabella, perché molte di queste mostrano, già a questo punto del lavoro, di essere inadatte al confronto.
Inoltre, un modello AHP che prevede una scelta tra dieci alternative è un modello molto complesso da sviluppare e da risolvere in tutti i suoi passaggi. Pensiamo, ad esempio, nel momento del confronto a coppie quanto sarebbe difficile, oltre che inutile, confrontare una decina di alternative che tra loro differiscono di un singolo parametro, arrivando così a una valutazione, specialmente nel caso di dati qualitativi, che non può che essere incerta e inaffidabile.
Un altro aspetto, che forse è il più rilevante, è che un'analisi di questo tipo sarebbe sicuramente poco funzionale all'obiettivo di questa tesi, che è quello

di chiarificare l'applicazione di questo modello in relazione al concetto di ciclo di vita, fornendo uno schema chiaro e ripetibile, che abbia la finalità di guidare nuove applicazioni in questo senso.

TABELLA 3.13 – Individuazione delle quattro alternative per l'analisi AHP.

		Materiali	**Isolante [cm]**	**Vetro**	**Impianto fotovoltaico**	**Materiali**	**Costo di costruzione parametrico [€/m² SLP]**	**NPC (LCC) [€]**	**IR_{EE} [%]**	**EE_{anno} [kWh/m² anno]**
A_1	5	Legno	28	Triplo	Assente	69.271	1.622,23	-11.425.550	52	48,81
A_2	6	Legno	28	Triplo	Presente	69.271	1.763,26	-11.823.732	52	48,81
A_3	9	Tradizionale	28	Doppio	Assente	75.364	1.360,23	-10.509.110	31	42,45
A_4	10	Tradizionale	28	Doppio	Presente	75.364	1.501,26	-10.844.637	31	42,45

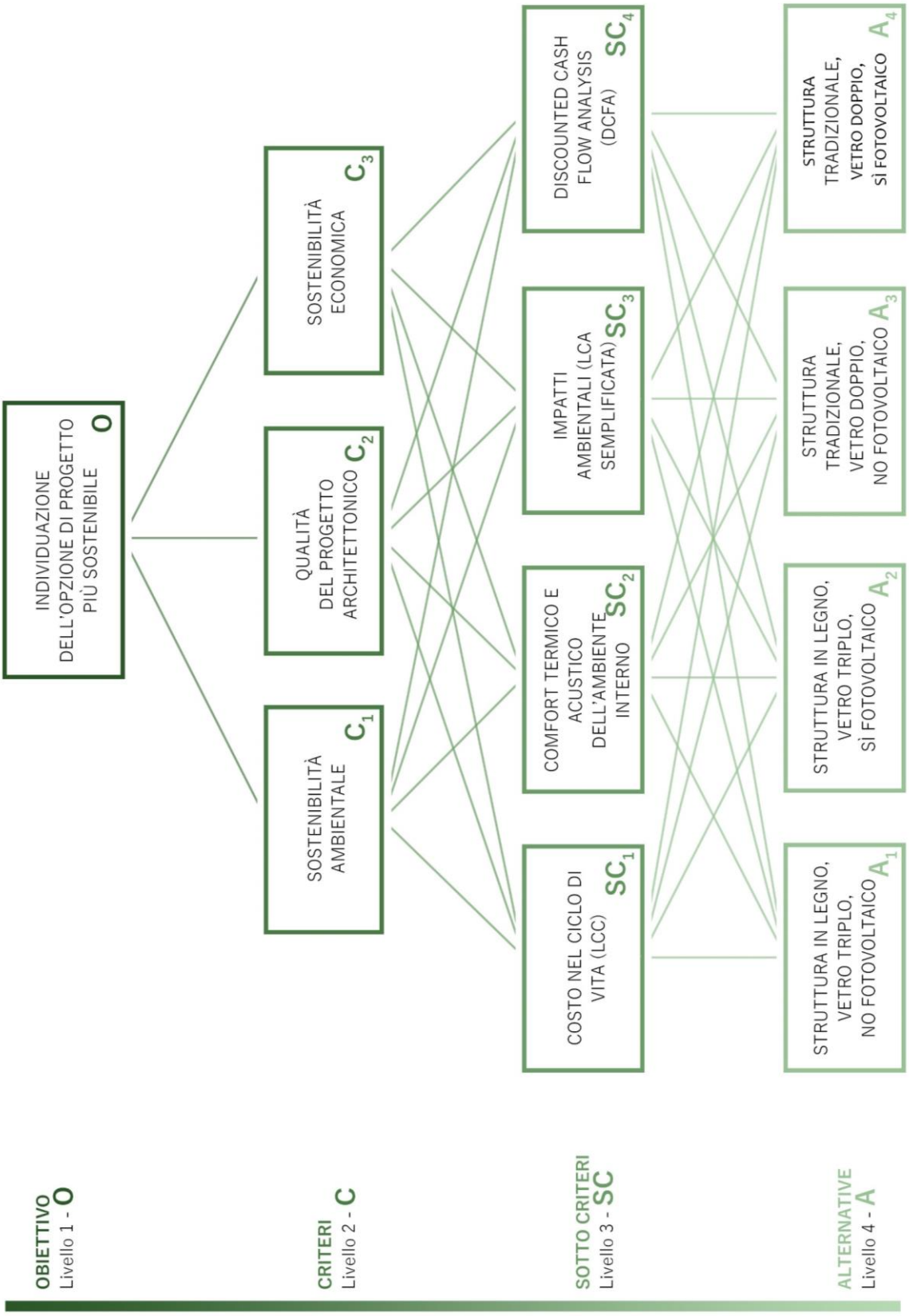
In conclusione, sono state scelte per l'analisi quattro soluzioni, uguali a due a due, eccetto per la presenza o meno dell'impianto fotovoltaico. Più precisamente avremo per le prime due alternative un edificio costruito in legno, con triplo vetro, in condizioni di presenza e assenza di impianto fotovoltaico, mentre nelle altre due il legno viene sostituito dal calcestruzzo armato per quanto riguarda la struttura portante e dalla muratura per i tamponamenti, doppi vetri e, di nuovo, le due opzioni si distinguono tra loro in base all'installazione del fotovoltaico.

3.3.3 Definizione dei criteri di valutazione

La selezione dei criteri è un passaggio molto delicato e dipende fortemente dalle alternative tra cui bisogna effettuare la scelta. I criteri di valutazione devono essere pertinenti, scelti caso per caso, in modo da sottolineare le differenze tra le diverse alternative. Nel caso in esame, le opzioni di progetto si differenziano esclusivamente per le tecnologie utilizzate e, dunque, anche i criteri di giudizio devono andare in quella direzione.

Per fare un esempio, se tra le diverse possibilità considerate per il progetto, variasse la destinazione d'uso dell'edificio, un criterio di valutazione interessante potrebbe essere l'impatto sulla viabilità della zona, perché un edificio commerciale sicuramente avrà delle conseguenze sulla circolazione o sul traffico diverse rispetto a una residenza. Se consideriamo, invece, di inserire questo criterio nel nostro caso studio, esso non sarà di alcun aiuto all'ottenimento di un risultato valido, dal momento la variazione della tipologia di vetro e del sistema costruttivo è irrilevante quando si valuta l'impatto sul traffico locale.
Inoltre, essi dipendono molto dal soggetto che effettua l'analisi ed è importante che siano coerenti con l'obiettivo fissato. Infatti, se l'obiettivo fosse quello di trovare una soluzione conveniente esclusivamente per l'investitore, probabilmente non terremmo conto, ad esempio, del comfort dell'ambiente interno e della qualità del progetto architettonico. Nel nostro caso si è scelto di dare molto spazio ai criteri economici e finanziari e a quelli legati alla sostenibilità ambientale, senza però dimenticare le esigenze dell'utente.
Per quanto riguarda la definizione della struttura gerarchica, in quest'analisi si è deciso di distinguere un primo livello di criteri di valutazione che verranno intesi con un'accezione più ampia e generica e un secondo livello di sotto-criteri, che comprendono quelli più specifici e tecnici. La struttura che ne risulta è, quindi, suddivisa in quattro livelli: obiettivo, criteri, sotto-criteri e alternative di progetto.

FIGURA 3.11 - Schema gerarchico.



Essendo i criteri scelti di varia natura, essi dovranno essere valutati in maniera diversa gli uni dagli altri: quelli di tipo qualitativo attraverso una scala ordinale di gradimento (alto, medio, basso), mentre per quelli di tipo quantitativo si utilizzano degli indicatori quantificabili, la cui scelta dipende anche dai dati a disposizione.
Nei paragrafi seguenti verranno spiegati nel dettaglio i criteri di valutazione selezionati e gli indicatori che li misurano.

Come già accennato sopra, i criteri sono stati suddivisi in due livelli e, in particolare, nel primo sono stati raccolti quelli che verranno trattati in maniera qualitativa e più generale:

- **Sostenibilità ambientale**, (C_1): qui viene intesa come ambito generale a cui si dovrà dare più o meno importanza durante il corso dell'analisi, in base alle priorità e all'obiettivo di questa analisi.

- **Qualità del progetto architettonico**, (C_2): si tratta di un criterio qualitativo, da valutare per mezzo di una scala ordinale: qualità alta, medio-alta, media, medio-bassa, bassa. Serve a esprimere il gradimento e la preferenza di un progetto rispetto a un altro ed è influenzata da fattori estetici e da considerazioni soggettive.

- **Sostenibilità economica**, (C_3): come per la sostenibilità ambientale, viene valutata l'importanza dell'ambito economico-finanziario, al fine di individuare l'opzione di progetto più sostenibile, inteso come miglior investimento.

Nel secondo livello, invece, sono compresi quei criteri più specifici e tecnici, che permettono di confrontare le alternative sotto l'aspetto delle differenze tecnologiche che li contraddistinguono.
In particolare, troviamo:

- **Life Cycle Cost**, (SC_1): come spiegato più approfonditamente nel capitolo 1, misura il costo nell'intero ciclo di vita del progetto. Gli indicatori propri di questa metodologia sono stati illustrati precedentemente, mentre in questa analisi ci si è limitati a considerare il Net Present Cost (NPC), i Net Savings (NS) e il Savings to Investment Ratio (SIR), i quali sono stati calcolati per mezzo di fogli Excel, riportati nell'allegato A.

- **Comfort termico e acustico dell'ambiente interno**, (SC_2): questo è stato considerato un unico criterio, però il comfort termico e acustico verranno 'misurati' separatamente.
  a) Il comfort termico è un dato quantificabile, nonostante in questo caso venga trattato in maniera semplificata, valutandolo, in maniera approssimata, mediante il confronto dei diversi valori di trasmittanza, U, che caratterizzano le varie stratigrafie dell'involucro. Anche se questo valore confluisce nel calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio, qui lo si considera singolarmente, non sotto il punto di vista del consumo energetico ma della qualità dell'ambiente interno percepita dall'utente.
  b) Il comfort acustico, invece, viene trattato come dato qualitativo, assumendo che un doppio vetro abbia un isolamento acustico inferiore e che quindi offra un livello di comfort più scarso rispetto a un serramento con triplo vetro.

- **Impatti ambientali**, (SC_3): si tratta di un criterio molto ampio e che può comprendere al suo interno una moltitudine di aspetti. In questa applicazione si è deciso di valutarlo attraverso i valori di Embodied Energy, dell'indice di rinnovabilità e del rapporto di Embodied Energy iniziale e periodica.
  a) L'Embodied Energy (EE_{TOT}) è misurabile in MJ/m^2; rappresenta tutta l'energia che è stata spesa per la produzione, costruzione e assemblaggio di un dato elemento, durante il ciclo di vita. Il valore

EE_{anno} rappresenta lo stesso valore di EE_{TOT} ma si tratta del valore annuale ed è espresso in kWh/m^{2}anno.

b) L'indice di rinnovabilità (IR_{EE}) qui viene calcolato come rapporto tra Embodied Energy proveniente da fonti rinnovabili (EE_{FR}) e quella totale, che comprende sia quella proveniente da fonti rinnovabili che non rinnovabili (EE_{FR} + EE_{FNR} = EE_{TOT}). Questo valore viene espresso come percentuale:

$$IR_{EE} = \frac{EE_{FR}}{EE_{TOT}}$$

c) Il valore EE_R, cioè il rapporto, espresso in percentuale, tra la quantità di Embodied Energy iniziale e quella che dev'essere spesa periodicamente per il mantenimento dell'edificio, ad esempio durante la manutenzione e sostituzione dei suoi componenti.

Questi indicatori sono calcolati grazie all'uso del software IREEA (3.2.2).

- **Discounted Cash Flow Analysis**, (SC_4): si tratta di un criterio quantitativo numerico, misurabile con gli indicatori VAN e TIR. Il DCF è una metodologia che calcola i flussi di cassa scontati in un dato periodo di tempo ed è uno strumento che valuta la fattibilità di un intervento (capitolo 1). Si vuole ricordare che, a differenza dell'LCC, il DCF tiene conto anche dei flussi in entrata, dati dai ricavi degli affitti distribuiti nei vari semestri. Ai fini dell'analisi viene considerata migliore l'alternativa con VAN e TIR più elevati.

  I calcoli eseguiti e l'impostazione dell'analisi DCF sono riportati nell'allegato B.

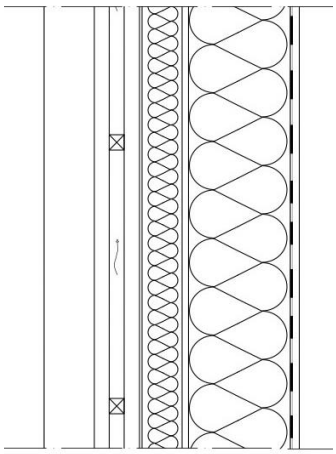
3.3.4 Descrizione delle quattro alternative

Dopo aver identificato i criteri e sotto-criteri e la conseguente struttura con cui si risolverà il problema decisionale in esame, in questo paragrafo vengono delineate le quattro alternative oggetto della scelta, già presentate sinteticamente nella tabella 3.13.
Nella presente sezione, quindi, vengono descritte in maniera schematica le differenze tra le diverse opzioni, riportando esempi delle tecnologie utilizzate e i dati riguardanti la prestazione energetica, ambientale ed economica.
Tuttavia, è necessario precisare che le sezioni riportate nelle figure di seguito fanno riferimento alle tecnologie più diffuse, ovvero costituenti la maggior parte degli elementi del progetto e non alla totalità delle stratigrafie presenti in esso.

Opzioni A_1 e A_2

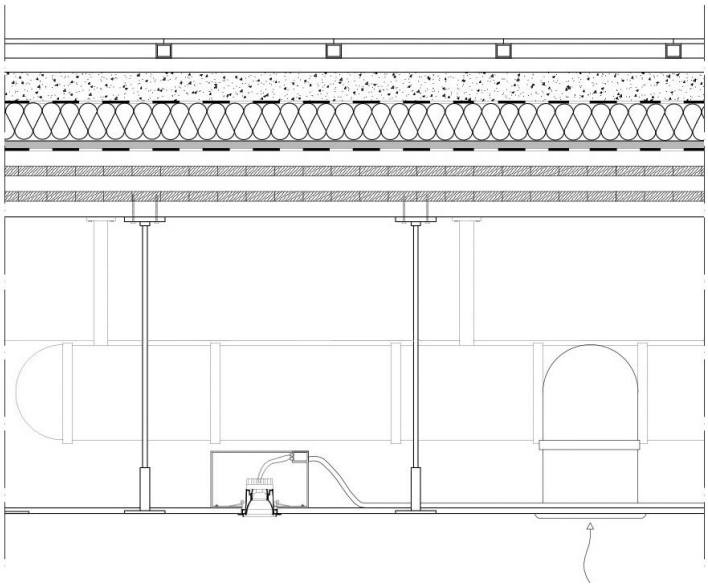
Queste due alternative presentano una struttura principalmente composta da travi e pilastri in legno lamellare, tamponamenti in panelli in OSB e fibra di legno e un rivestimento esterno in listelli di legno di abete, mentre per le chiusure orizzontali superiori sono stati utilizzati pannelli in XLAM.

FIGURA 3.12 – Sezione tecnologica di un tamponamento tipo in pannelli di legno e isolante di una chiusura verticale opaca.



- rivestimento in listelli di legno di abete: 3,00 cm
- intercapedine d'aria: 6,00 cm
- telo traspirante
- pannello isolante in fibra di legno riciclato: 8,00 cm
- pannello OSB: 1,25 cm
- pannello isolante in fibra di legno riciclato: 20,00 cm
- barriera al vapore
- pannello OSB: 1,25 cm

FIGURA 3.13 – Sezione tecnologica di una chiusura orizzontale superiore opaca.



- lastra in grès porcellanato riciclato: 1,00 cm
- intercapedine d'aria: 6,00 cm
- massetto alleggerito con vermiculite espansa: 6,00 cm
- guaina impermeabilizzante
- pannello isolante in fibra di legno riciclata: 8,00 cm
- isolante acustico: 1,50 cm
- barriera al vapore
- solaio in XLAM: 14,00 cm
- intercapedine d'aria: 61,00 cm
- lastra in cartongesso per controsoffitto: 1,25 cm

Per le aperture sono stati scelti serramenti in legno e alluminio e vetro triplo, con trasmittanze complessive fino a 1,19 W/m^{2}K, ma i valori variano in base alla tipologia e dimensione di finestra prevista.

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache: U = 0,13 W/m^{2}K
Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali opache: U = 0,22 W/m^{2}K
Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti: U = [1,19 – 1,58] W/m^{2}K

Gli indicatori per il sotto-criterio relativo agli impatti ambientali, le opzioni A_1 e A_2 sono caratterizzate da una EE_{anno} pari a 48,81 kWh/m^{2}anno, un valore di IR_{EE} che arriva al 52%, mentre l'EE_R è del 19% (3.2.2).[7]

- **A_1 - Privo di impianto fotovoltaico**

  Il costo di costruzione dell'alternativa A_1 ammonta a 1.622,23 €/m^2.

TABELLA 3.14 – Risultato dell'analisi LCC dell'alternativa A_1.

Non Construction Cost	2.870.021,31 €	42,97%
Construction Cost	3.334.134,67 €	49,92%
Operation Cost	215.427,14 €	3,23%
Maintenance	67.039,23 €	1,00%
End of life	209.817,86 €	3,14%
Income	-16.837,50 €	-0,25%
NPC (A_1)	**11.425.550,34 €**	

TABELLA 3.15 – Risultato dell'analisi DCF per l'alternativa A_1.

Totale costi	-6.163.075,73 €	
Ricavi da locazione (annui)	421.223,56 €	
Costi operativi (annui)	-81.159,78 €	
Reddito netto (annuo)	340.063,78 €	
	NPV (A_1)	**IRR (A_1)**
Unlevered Cash Flow	1.069.408,03 €	6,72%
Levered Cash Flow	**102.268,32 €**	**7,65%**

[7] Questi valori sono stati calcolati grazie al software IREEA, progettato in DEMARIA E., DUZEL A., *Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building". Ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica*, tesi di laurea, rel. Giordano R., Serra V., Politecnico di Torino, a.a. 2015-2016. Altrettanto indispensabile è stato il testo di GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010.

- **A_2 - Dotato di impianto fotovoltaico**
  Con l'aggiunta dell'impianto fotovoltaico, il costo di costruzione dell'alternativa A_2 è pari a 1.763,26 €/m^2.

TABELLA 3.16 – Risultato dell'analisi LCC dell'alternativa A_2.

Non Construction Cost	2.882.001,81 €	41,80%
Construction Cost	3.592.913,44 €	52,11%
Operation Cost	222.693,77 €	3,23%
Maintenance	70.953,71 €	1,03%
End of life	209.817,86 €	3,04%
Income	-83.490,35 €	-1,21%
NPC (A_2)	**11.823.731,90 €**	

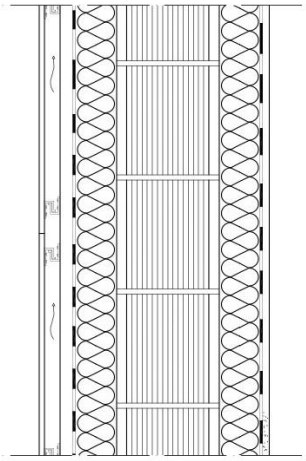
TABELLA 3.17 – Risultato dell'analisi DCF per l'alternativa A_2.

Totale costi	6.438.627,20 €	
Ricavi da locazione (annui)	437.807,16 €	
Costi operativi (annui)	-84.570,42 €	
Reddito netto (annuo)	353.236,74 €	
	NPV (A_2)	**IRR (A_2)**
Unlevered Cash Flow	1.069.408,03 €	6,72%
Levered Cash Flow	**102.268,32 €**	**7,65%**

Opzioni A_3 e A_4

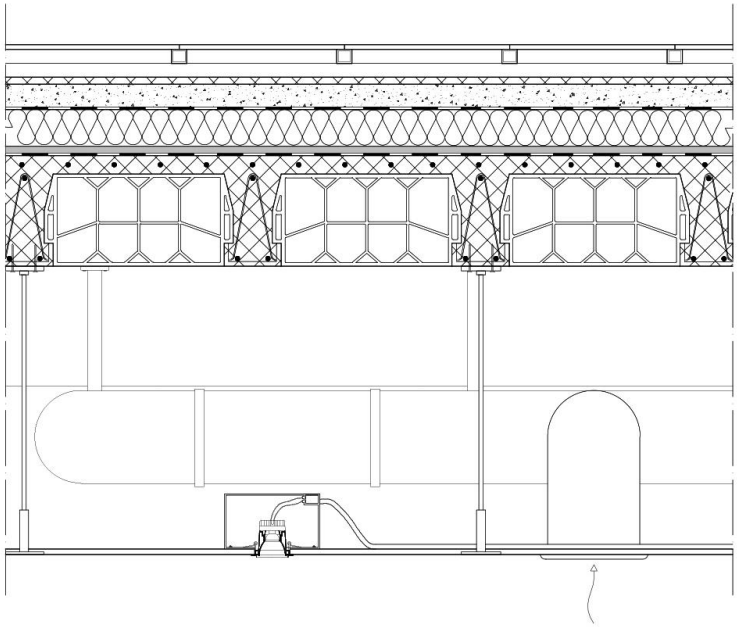
Si è deciso, quindi, di confrontare le prime due alternative con queste, caratterizzate da un sistema costruttivo più tradizionale: struttura portante in calcestruzzo armato, tamponamenti in muratura e rivestimento esterno in lastre di grès porcellanato. Gli elementi orizzontali sono in laterocemento, mentre il triplo vetro, utilizzato in A_1 e A_2, è stato sostituito da uno doppio.

FIGURA 3.14 – Sezione tecnologica di un tamponamento tipo in muratura di una chiusura verticale opaca.



- lastra in grès porcellanato riciclato: 1,00 cm
- sostegni in alluminio
- intercapedine d'aria: 6,00 cm
- telo antivento traspirante
- pannello isolante in fibra di legno riciclata: 8,00 cm
- mattoni forati: 20 x 20 x 25 cm
- pannello isolante in fibra di legno riciclata: 8,00 cm
- barriera al vapore
- lastra in cartongesso: 1,25 cm

FIGURA 3.15 – Sezione tecnologica di una chiusura orizzontale superiore opaca.



- lastra in grès porcellanato riciclato: 1 cm
- intercapedine d'aria: 6 cm
- massetto in calcestruzzo: 1,5 cm
- massetto con vermiculite espansa riciclata: 5 cm
- guaina impermeabilizzante
- pannello isolante in fibra di legno riciclata: 8 cm
- isolante acustico: 1,50 cm
- barriera al vapore

- solaio in laterocemento: 24 cm
- intercapedine d'aria: 61,00 cm
- lastra in cartongesso per controsoffitto: 1,25 cm

Inoltre, pur mantenendo lo stesso serramento in legno e alluminio con le stesse caratteristiche, si è deciso di sostituire il triplo vetro con uno doppio, con conseguente aumento delle trasmittanze.

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache: U = 0,20 W/m^{2}K
Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali opache: U = 0,25 W/m^{2}K
Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti: U = [1,46 – 1,80] W/m^{2}K

Dal punto di vista ambientale, se il valore di EE_{anno} si è lievemente ridotto a 42,45 kWh/m^{2}anno (a causa dell'utilizzo di materiali il cui ciclo di vita richiede un minor consumo di energia nelle sue fasi produttive, di utilizzo e smaltimento), è anche vero che il valore di IR_{EE} si è abbassato notevolmente (31%), indicando un utilizzo più elevato di materiali provenienti da fonti non rinnovabili, mentre EE_R è aumentato a 32%.

- **A_3 - Privo di impianto fotovoltaico**
  Il costo di costruzione dell'alternativa A_3 è di 1.360,23 €/m^2. Si tratta dell'opzione con il costo di costruzione inferiore e, per questo, verrà considerata come il 'caso base' del modello e utilizzata come termine di confronto per le altre opzioni nell'analisi LCC.

TABELLA 3.18 – Risultato dell'analisi LCC dell'alternativa A_3.

Non Construction Cost	2.847.764,41 €	46,27%
Construction Cost	2.853.385,63 €	46,36%
Operation Cost	198.103,89 €	3,22%
Maintenance	58.859,08 €	0,96%
End of life	213.995,72 €	3,48%
Income	-16.837,50 €	-0,27%
NPC (A_3)	**10.509.110,18 €**	

TABELLA 3.19 – Risultato dell'analisi DCF per l'alternativa A_3.

Totale costi	5.651.167,03 €
Ricavi da locazione (annui)	379.065,25 €
Costi operativi (annui)	-73.688,64 €
Reddito netto (annuo)	305.376,61 €

	NPV (A_3)	**IRR (A_3)**
Unlevered Cash Flow	858.396,95 €	6,58%
Levered Cash Flow	**-2.341,49 €**	**7,45%**

- **A_4 - Dotato di impianto fotovoltaico**

  Al costo dell'opzione A_3 se si aggiunge la spesa per l'impianto fotovoltaico in progetto, si arriva a un costo totale di costruzione di A_4 di 1.501,26 €/m^2.

TABELLA 3.20 – Risultato dell'analisi LCC dell'alternativa A_4.

Non Construction Cost	2.859.744,91 €	44,91%
Construction Cost	3.112.164,40 €	48,88%
Operation Cost	202.858,70 €	3,19%
Maintenance	62.310,01 €	0,98%
End of life	213.995,72 €	3,36%
Income	-83.490,35 €	-1,31%
NPC (A_4)	**10.844.636,72 €**	

TABELLA 3.21 – Risultato dell'analisi DCF per l'alternativa A_4.

Totale costi	5.926.718,50 €
Ricavi da locazione (annui)	389.854,58 €
Costi operativi (annui)	-76.519,85 €
Reddito netto (annuo)	313.334,73 €

	NPV (A_4)	**IRR (A_4)**
Unlevered Cash Flow	757.141,28 €	6,43%
Levered Cash Flow	**-16.553,28 €**	**7,42%**

Nella tabella 3.22 riportata di seguito si riassumono le caratteristiche delle opzioni di progetto.

TABELLA 3.22 – Risultati delle analisi economico-finanziarie delle quattro alternative.

	NPC (LCC)	**NPV**	**IRR**
A_1	11.425.550,34 €	102.268,32 €	7,65%
A_2	11.823.731,90 €	102.268,32 €	7,65%
A_3	10.509.110,18 €	-2.341,49 €	7,45%
A_4	10.844.636,72 €	-16.553,28 €	7,42%

3.4 Applicazione del modello

A questo punto dell'analisi vengono composte le matrici di confronto. Avendo individuato tre criteri di primo livello, quattro di secondo livello e quattro alternative, la struttura che si dovrà seguire per il confronto sarà la seguente:

- 1 matrice di ordine (3 x 3) per il confronto a coppie dei tre criteri di primo livello rispetto all'obiettivo;
- 3 matrici di ordine (4 x 4) per il confronto a coppie dei quattro criteri di secondo livello rispetto ai tre criteri del primo;
- 4 matrici di ordine (4 x 4) per il confronto a coppie delle quattro alternative rispetto ai quattro criteri di secondo livello.

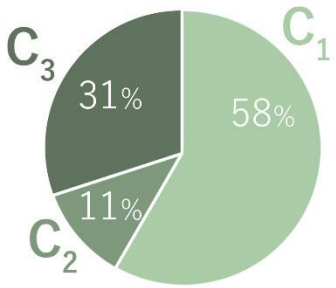
Il confronto a coppie, come spiegato nel paragrafo 2.2, avviene attraverso l'attribuzione dei punteggi, seguendo la scala fondamentale di Saaty, e darà come risultato le otto matrici sopra elencate.

3.4.1 Matrice 1 – Obiettivo

La Matrice 1 confronta tutti i criteri del primo livello, a due a due, rispetto all'obiettivo. Quindi, nel comporre questa matrice, ci si dovrà chiedere quale dei tre criteri è da considerarsi prioritario.
La costruzione di questa matrice è immediata, perché non necessita di passaggi intermedi. Come si può vedere sono stati assegnati punteggi maggiori alla sostenibilità ambientale ed economica, rispetto alla qualità del progetto.

Matrice 1 – Obiettivo: Individuazione dell'opzione di progetto più sostenibile
Rc = 0,004

	C_1	C_2	C_3	Pesi	
C_1	1	5	2	**0,58155**	**1**
C_2	1/5	1	1/3	0,10945	3
C_3	1/2	3	1	0,30900	2



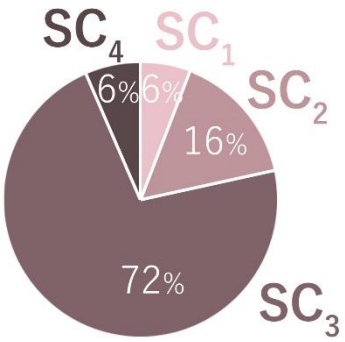
Sostenibilità ambientale: C_1
Qualità del progetto architettonico: C_2
Sostenibilità economica: C_3

3.4.2 Matrice 2 – Sostenibilità ambientale

I criteri del secondo livello, cioè il Life Cycle Cost, il comfort termico e acustico dell'ambiente interno, gli impatti ambientali e l'analisi DFC, ognuno misurabile come spiegato nel paragrafo 3.3.3, devono essere qui confrontati a coppie rispetto alla sostenibilità ambientale.
È evidente come il criterio di maggior rilevanza, in questo caso, sia quello relativo agli impatti ambientali, i quali rispondono interamente al criterio in questione. Per questo gli è stato assegnato il punteggio più alto (pari a 9), se confrontato con i due criteri di natura economica, i quali, sono stati considerati irrilevanti.
Il comfort, invece, è stato considerato certamente meno importante degli impatti ambientali, ma comunque gli è stato assegnato il valore 3 (importanza moderata) rispetto ai valori economici, dal momento che, seppur in maniera indiretta, il benessere del consumatore potrebbe influire sulla sostenibilità ambientale.

Matrice 2 – Criterio 1: Sostenibilità ambientale
Rc = 0,034

	SC_1	SC_2	SC_3	SC_4	Pesi	
SC_1	1	1/3	1/9	1	0,06296	3-4
SC_2	3	1	1/7	3	0,15543	2
SC_3	9	7	1	9	**0,71864**	**1**
SC_4	1	1/3	1/9	1	0,06296	3-4



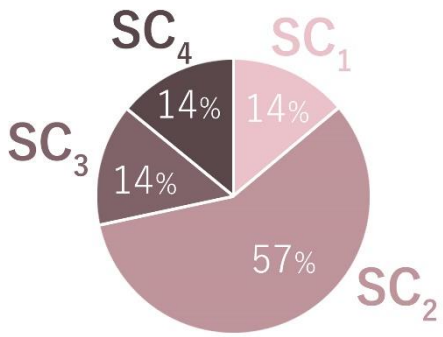
Costo nel ciclo di vita (LCC): SC_1
Comfort termico e acustico dell'ambiente interno: SC_2
Impatti ambientali: SC_3
Discounted Cash Flow Analysis (DCFA): SC_4

3.4.3 Matrice 3 – Qualità del progetto architettonico

Questa matrice ha il fine di soddisfare la caratteristica di qualità del progetto architettonico e, siccome l'analisi LCC, il DCF e gli impatti ambientali vi contribuiscono scarsamente e in ugual misura, al confronto a coppie di questi criteri viene assegnato il valore 1 (pari importanza).
L'unica eccezione è rappresentata dal comfort dell'ambiente interno, il quale, trattandosi di un criterio che riguarda direttamente l'utente finale e che, per questo, viene attentamente valutato al momento della scelta, viene ritenuto una condizione necessaria per poter definire un progetto di qualità. Dunque, confrontato con gli altri tre criteri, ottiene un valore pari a 4.

Matrice 3 – Criterio 2: Qualità del progetto architettonico
Rc = 0,00

	SC_1	SC_2	SC_3	SC_4	Pesi	
SC_1	1	1/4	1	1	0,14286	2-3-4
SC_2	4	1	4	4	**0,57143**	**1**
SC_3	1	1/4	1	1	0,14286	2-3-4
SC_4	1	1/4	1	1	0,14286	2-3-4



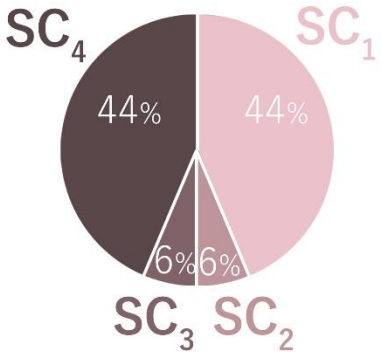
Costo nel ciclo di vita (LCC): $\mathbf{SC_1}$
Comfort termico e acustico dell'ambiente interno: $\mathbf{SC_2}$
Impatti ambientali: $\mathbf{SC_3}$
Discounted Cash Flow Analysis (DCFA): $\mathbf{SC_4}$

3.4.4 Matrice 4 – Sostenibilità economica

In questa matrice sicuramente avranno un peso nettamente maggiore i due criteri legati alle analisi economiche del Life Cycle Cost e del Discounted Cash Flow, dal momento che si tratta di due criteri prettamente economici. Invece, gli impatti ambientali, al pari del comfort, saranno considerati ininfluenti rispetto alla sostenibilità economica.

Matrice 4 – Criterio 3: Sostenibilità economica
Rc = 0,00

	SC_1	SC_2	SC_3	SC_4	**Pesi**	
SC_1	1	7	7	1	**0,43750**	**1-2**
SC_2	1/7	1	1	1/7	0,06250	3-4
SC_3	1/7	1	1	1/7	0,06250	3-4
SC_4	1	7	7	1	**0,43750**	**1-2**



Costo nel ciclo di vita (LCC): $\mathbf{SC_1}$
Comfort termico e acustico dell'ambiente interno: $\mathbf{SC_2}$
Impatti ambientali: $\mathbf{SC_3}$
Discounted Cash Flow Analysis (DCFA): $\mathbf{SC_4}$

3.4.5 Matrice 5 – Life Cycle Cost Analysis (LCC)

Per confrontare le quattro alternative rispetto al costo nel ciclo di vita si è deciso di utilizzare come indicatori il Net Present Cost (NPC), il Net Savings (NS) e il Savings to Investment Ratio (SIR). L'analisi LCC condotta sulle quattro alternative è riassunta nelle tabelle dell'allegato A.
Prima di poter attribuire i punteggi, però, è necessario renderli confrontabili esprimendoli attraverso una scala che possa essere comune a tutti e tre gli indicatori. Il posizionamento dei valori in questa scala è da intendersi non in senso assoluto, bensì relativo a questi quattro casi: ciò significa che, ad esempio, il caso con l'NPC minore corrisponde semplicemente a una performance economica alta, senza considerare né che potrebbero esserci altre opzioni con un NPC ancora inferiore, né che la stessa opzione potrebbe avere un NPC diverso da quello calcolato, dato magari da scelte differenti negli elementi costituenti.

Come mostrato nella tabella 3.23, l'alternativa A_2 è quella che comporta un costo maggiore nel ciclo di vita (NPC) e, per questo, presenta una performance economica giudicata bassa.
Per quanto riguarda gli indicatori NS e SIR vengono calcolati tramite il confronto di uno scenario alternativo con un caso base; qui si è scelto di confrontarli con l'alternativa A_3, cioè lo scenario privo di fotovoltaico, che presenta caratteristiche di progetto più tradizionali. Essendo quest'ultima caratterizzata dall'NPC minore, di conseguenza anche per quanto riguarda il parametro NS (che non è altro che la differenza tra i vari NPC), l'alternativa A_2 risulta la meno vantaggiosa (tabella 3.24).
La situazione rimane molto simile anche nella valutazione del SIR, infatti, sebbene risulti A_1 l'alternativa meno vantaggiosa, A_2 si distanzia comunque molto dalle altre due alternative. Secondo questo indicatore l'alternativa preferibile risulta A_4 (tabella 3.25).

TABELLA 3.23 – Net Present Cost.

	NPC [€]	Performance economica
A_1	-11.425.550,34	medio-bassa
A_2	-11.823.731,90	bassa
A_3	-10.509.110,18	alta
A_4	-10.844.636,72	medio-alta

TABELLA 3.24 – Net Savings.

	NS [€]	Performance economica
A_1	-916.440,15	medio-bassa
A_2	-1.314.621,71	bassa
A_3	0,00	alta
A_4	-335.526,54	medio-alta

TABELLA 3.25 – Savings to Investment Ratio.

	SIR	Performance economica
A_1	0,05	bassa
A_2	0,19	medio-bassa
A_3	-	medio-alta
A_4	1,10	alta

Con la tabella seguente si giunge a un giudizio di performance economica unico, che mette insieme tutte le precedenti considerazioni. In conclusione, viene confermato l'ordine di preferenza che valeva per NPC e NS, mettendo al primo posto l'opzione A_3 e all'ultimo A_2.

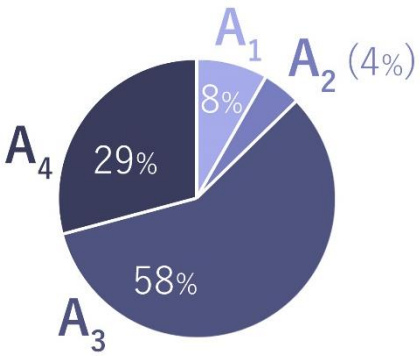
TABELLA 3.26 – Giudizio di performance economica delle quattro alternative.

	NPC	NS	SIR	Performance economica
A_1	medio-bassa	medio-bassa	bassa	medio-bassa
A_2	bassa	bassa	medio-bassa	bassa
A_3	alta	alta	medio-alta	alta
A_4	medio-alta	medio-alta	alta	medio-alta

Matrice 5 – Sotto-criterio 1: Life Cycle Cost Analysis (LCC)

Rc = 0,062

	A_1	A_2	A_3	A_4	Pesi	
A_1	1	3	1/7	1/5	0,08490	3
A_2	1/3	1	1/9	1/7	0,04249	4
A_3	7	9	1	3	**0,58309**	**1**
A_4	5	7	1/3	1	0,28953	2



Struttura in legno, vetro triplo: **A_1**
Struttura in legno, vetro triplo, fotovoltaico: **A_2**
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio: **A_3**
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio, fotovoltaico: **A_4**

3.4.6 Matrice 6 – Comfort termico e acustico dell'ambiente interno

In questo caso, per il confronto delle alternative e delle loro diverse tecnologie dal punto di vista del comfort dell'ambiente interno si è dovuto procedere in maniera differente. Infatti, come spiegato nel paragrafo 3.3.3, questo criterio viene definito da due indicatori: il comfort termico e quello acustico.
Si è deciso di valutare un indicatore per volta, costruendo per ognuno la propria gerarchia delle alternative preferibili e poi, unendo le due, si può ottenere una scala di preferenze generale relativa a questo criterio che tiene conto di tutti e due gli indicatori.
Essendo i due indicatori misurati in maniera differente tra loro, uno quantitativamente e l'altro qualitativamente, era necessario uniformarli per renderli confrontabili. Così i dati sono stati collocati su una scala ordinale che, in maniera più generica, misura la performance (alta, media, bassa) della soluzione tecnologica che si vuole valutare, risolvendo il problema della disomogeneità.

Si tratta di una fase delicata, perché dipende da quello che si intende per "performance alta" e "performance bassa".
Infatti, stabilire che, ad esempio, un certo valore di trasmittanza equivale ad un impatto medio-basso, invece che basso o medio, dipende in parte dal giudizio di chi effettua l'analisi. Sicuramente, per aumentare l'attendibilità di questa valutazione, è utile a questo scopo servirsi di alcuni valori di riferimento e/o della normativa vigente, laddove essa fornisca indicazioni chiare sui parametri in questione.
Come già spiegato nel paragrafo 2.2, la parziale arbitrarietà dell'assegnazione dei punteggi è proprio uno degli aspetti più deboli del metodo AHP.

a) Comfort termico:

Il calcolo delle trasmittanze è avvenuto per mezzo di un semplice foglio Excel e mostra, per ogni alternativa progettuale, non uno ma diversi valori di trasmittanza che caratterizzano ogni diversa tipologia di stratigrafia componente l'involucro. In particolare, dal momento che individuare un unico valore U, ricavato dalla media delle trasmittanze di tutti gli elementi del progetto, sarebbe stato approssimativo e comunque scorretto, per ogni alternativa vengono riportati i valori di trasmittanza degli elementi opachi orizzontali e verticali più diffusi e, essendo presenti in quantità significativa diverse tipologie di finestre, un intervallo di valori in cui sono comprese le U delle aperture.
Per quanto riguarda le trasmittanze sono stati presi come riferimento per l'attribuzione dei giudizi i valori limite imposti dal Decreto 'requisiti minimi' del 26 giugno 2015.[8] Tali valori vengono schematizzati nella tabella che segue.

TABELLA 3.27 – Valori limite per le trasmittanze imposti dal decreto del 2015.

	Trasmittanza (U) elementi opachi verticali [W/m²K]	**Trasmittanza (U) elementi opachi orizzontali [W/m²K]**	**Trasmittanza (U) elementi trasparenti [W/m²K]**
Valori limite **2015**	0,30	0,25	1,80
Valori limite **2019-'21**	0,26	0,22	1,50

Bisogna tenere in considerazione che il progetto è stato sviluppato nell'anno accademico 2017-2018 e che prendeva come riferimento i valori limite imposti per l'anno 2015, anche se in molti casi soddisfano anche quelli del 2019-21.
Per questo motivo, le trasmittanze delle prime due alternative di progetto sono considerate come un livello alto di performance, perché soddisfano abbondantemente i limiti del decreto. Infatti, ad esempio, se si considera un valore di U pari a 0,13 W/m²K che caratterizza gli elementi verticali opachi

[8] Decreto Interministeriale 26 giugno 2015, Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

delle prime alternative e lo si confronta con il valore minimo richiesto per il 2019-2021, si può vedere che non solo è rispettato ma addirittura dimezzato. Quindi in generale si è deciso di ritenere alta la performance delle prime due opzioni e media quella delle ultime due, dato che i valori delle trasmittanze si aggirano attorno ai limiti.

TABELLA 3.28 – Trasmittanze caratteristiche del progetto e giudizio di performance termica.

	Trasmittanza (U) elementi opachi verticali [W/m²K]	**Trasmittanza (U) elementi opachi orizzontali [W/m²K]**	**Trasmittanza (U) elementi trasparenti [W/m²K]**	**Performance termica**
A_1	0,13	0,22	[1,19 - 1,58]	alta
A_2	0,13	0,22	[1,19 - 1,58]	alta
A_3	0,20	0,25	[1,46 - 1,80]	media
A_4	0,20	0,25	[1,46 - 1,80]	media

Per quanto riguarda la U degli elementi opachi è stato riportato un intervallo di valori, dal momento che nel progetto esiste più di una tipologia di finestra, con diverse dimensioni e dunque diversi valori di trasmittanza.

b) Comfort acustico:

Essendo questo dato trattato in maniera qualitativa e semplificata, si è deciso di attenersi alla seguente scala per l'assegnazione del giudizio:

- Vetro singolo: performance bassa
- Vetro doppio: performance media
- Vetro triplo: performance alta

TABELLA 3.29 – Giudizio di performance acustica in base alla tipologia di vetro.

	Tipo di vetro	**Performance acustica**
A_1	triplo	alta
A_2	triplo	alta
A_3	doppio	media
A_4	doppio	media

Nella tabella che segue si può vedere come, in entrambi gli indicatori, le ultime due alternative si distaccano dalle prime due con un abbassamento in termini di performance di tutti i parametri considerati. Per questo motivo la costituzione della graduatoria finale risulta immediata.

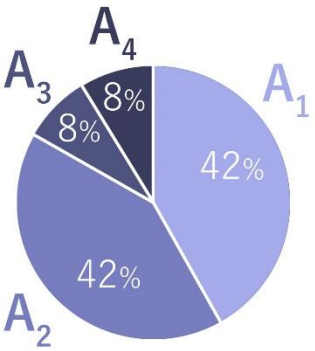
TABELLA 3.30 – Giudizio di performance dal punto di vista del comfort dell'ambiente interno.

	Performance termica	**Performance acustica**	**Performance totale**
A_1	alta	alta	alta
A_2	alta	alta	alta
A_3	media	media	media
A_4	media	media	media

Di seguito la matrice di confronto:

Matrice 6 – Sotto-criterio 2: Comfort termico e acustico dell'ambiente interno
Rc = 0,00

	A_1	**A_2**	**A_3**	**A_4**	**Pesi**	
A_1	1	1	5	5	**0,41667**	**1-2**
A_2	1	1	5	5	**0,41667**	**1-2**
A_3	1/5	1/5	1	1	0,08333	3-4
A_4	1/5	1/5	1	1	0,08333	3-4



Struttura in legno, vetro triplo: **A_1**
Struttura in legno, vetro triplo, fotovoltaico: **A_2**
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio: **A_3**
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio, fotovoltaico: **A_4**

3.4.7 Matrice 7 – Impatti ambientali

Anche nel caso degli impatti ambientali si è dovuto procedere in maniera simile alla matrice riguardante il comfort, dal momento che anche questo criterio è misurato attraverso più di un indicatore: l'Embodied Energy totale in un anno (EE_{TOT}), l'indice di rinnovabilità (IR_{EE}) e il rapporto tra l'Embodied Energy iniziale e quella periodica (EE_R) (si veda il paragrafo 3.3.3).
Anche se in questo caso si tratta di dati di natura esclusivamente quantitativa, si è deciso di utilizzare comunque una scala ordinale, per agevolare il confronto tra i tre. In questo caso parlare di performance non era appropriato, così si è deciso di utilizzare una scala di misura dell'impatto in sé (alto, medio, basso).
Anche in questo caso, incrociando le tre graduatorie, si arriva a una scala di gradimento generale, che tiene conto di tutti e tre gli indicatori.

a) Embodied Energy (EE_{TOT}):

In questo caso, per la trasformazione dei dati quantitativi in giudizi appartenenti a una scala ordinale, ci si è basati sui valori limite che impone la certificazione Minergie - A, sulla quale si basa il software IREEA. Affinché un progetto, con un ciclo di vita stimato intorno ai 50 anni, possa essere certificato Minergie - A, la sua EE_{anno} dev'essere minore di 50 kWh/m^{2}anno, mentre per valori ancora inferiori si ottengono le certificazioni Minergie – ECO 1 ed ECO 2.
Questo significa che un valore di EE_{anno} pari a 48,81 kWh/m^{2}anno, che caratterizza le prime due alternative, può essere considerato come un impatto di livello medio sull'ambiente, poiché appena sufficiente alla certificazione Minergie – A, ma comunque migliore di tutti quei progetti che non ottengono nemmeno la certificazione.

Alle ultime due alternative, invece, viene attribuito un livello di impatto medio-basso (e quindi saranno preferibili rispetto alle prime due), perché con un valore di EE_{anno} pari a 42,45 kWh/m^{2}anno, non solo rientrano abbondantemente nei valori necessari per la Minergie – A, ma per poco meno di 1,5 kWh/m^{2}anno non riescono ad ottenere la Minergie – ECO 2, che richiede un EE_{anno} inferiore a 41 kWh/m^{2}anno. Seguendo questa logica di giudizio, il livello di impatto basso verrebbe assegnato a valori inferiori a 30 kWh/m^{2}anno Minergie – ECO 1).

TABELLA 3.31 – Giudizio di impatto ambientale rispetto alla Embodied Energy.

	EE_{anno} [kWh/m^{2}anno]	**EE_{TOT} [MJ/m^2]**	**Impatto**
A_1	48,81	8786,65	medio
A_2	48,81	8786,65	medio
A_3	42,45	7641,16	medio-basso
A_4	42,45	7641,16	medio-basso

La tabella riporta i giudizi qui sopra spiegati e aggiunge la colonna del valore EE_{TOT}, strettamente collegato a EE_{anno}, perché non è altro che la stessa quantità espressa in MJ anziché kWh ed è il valore totale di Embodied Energy utilizzato in 50 anni, invece che un valore medio annuale. È espresso in MJ/m^2 cioè:

$$EE_{anno} = \frac{EE_{TOT}}{3{,}6 \text{ x n° anni}}$$

Infine, si vuole specificare che le prime due alternative sono caratterizzate da un valore più alto rispetto alle ultime due, perché caratterizzate da un'elevata presenza di legno come materiale costituente, il quale ha dei processi di produzione molto più elaborati e dispendiosi in termini di energia, rispetto al calcestruzzo.

b) Indice di rinnovabilità (IR_{EE}):

Per quanto riguarda l'indice di rinnovabilità, invece, la certificazione Minergie non impone limiti.
Le alternative A_1 e A_2 naturalmente ottengono una percentuale più elevata (52%) in questo indicatore, dal momento che il legno, presente in quantità elevate in questi due progetti, è una risorsa rinnovabile, oltre che riciclabile. Le opzioni A_3 e A_4, invece, essendo composte interamente in calcestruzzo armato e rivestimento minerale arrivano solo al 31%.
Considerando il fatto che una percentuale del 100% è pressoché impossibile da raggiungere e che, al giorno d'oggi, ancora troppe costruzioni appartenenti all'edilizia comune utilizzano soluzioni progettuali che non tengono in alcun modo in considerazione questo valore, una percentuale del 31% è stato considerato come livello di impatto medio, mentre il 52% come impatto medio-basso.

TABELLA 3.32 – Giudizio di impatto ambientale rispetto all'Indice di Rinnovabilità.

	IR_{EE} [%]	Impatto
A_1	52%	medio-basso
A_2	52%	medio-basso
A_3	31%	medio
A_4	31%	medio

c) Rapporto tra EE iniziale e periodica (EE_R):

Così come per l'indice di rinnovabilità, anche in questo caso non ci sono valori limite imposti, così, tenendo sempre conto del fatto che arrivare a percentuali molto alte, così come tendenti allo 0% è pressoché impossibile, si è valutato il confronto tra i due valori in sé, accettando una possibile imprecisione e dunque la natura arbitraria e non assoluta del giudizio.

TABELLA 3.33 – Giudizio di impatto ambientale rispetto al rapporto tra Embodied Energy iniziale e periodica.

	EE_R [%]	Impatto
A_1	19%	basso
A_2	19%	basso
A_3	32%	medio
A_4	32%	medio

Una volta costruite le graduatorie di preferenza per ogni indicatore, che, ricordiamo, portano a preferire le opzioni con impatti ambientali minori, vengono unite in una graduatoria generale nella tabella che segue.

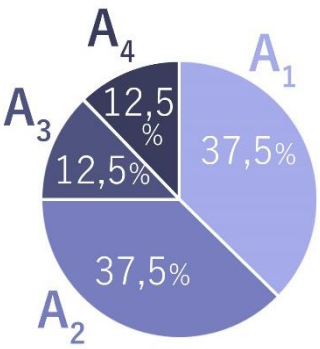
TABELLA 3.34 – Giudizio di impatto ambientale complessivo.

	Impatto EE_{TOT}	Impatto IR_{EE}	Impatto EE_R	Impatto totale
A_1	medio	medio-basso	basso	medio-basso
A_2	medio	medio-basso	basso	medio-basso
A_3	medio-basso	medio	medio	medio
A_4	medio-basso	medio	medio	medio

Matrice 7 – Sotto-criterio 3: Impatti ambientali

Rc = 0,00

	A_1	A_2	A_3	A_4	Pesi	
A_1	1	1	3	3	**0,37500**	**1-2**
A_2	1	1	3	3	**0,37500**	**1-2**
A_3	1/3	1/3	1	1	0,12500	3-4
A_4	1/3	1/3	1	1	0,12500	3-4



Struttura in legno, vetro triplo: $\mathbf{A_1}$

Struttura in legno, vetro triplo, fotovoltaico: $\mathbf{A_2}$

Struttura in calcestruzzo, vetro doppio: $\mathbf{A_3}$

Struttura in calcestruzzo, vetro doppio, fotovoltaico: $\mathbf{A_4}$

3.4.8 Matrice 8 – Discounted Cash Flow Analysis (DCF)

L'analisi DCF condotta sulle quattro alternative è riassunta nelle tabelle dell'allegato B.
Per formare questa matrice di pesi si è deciso di prendere come riferimento principalmente l'indicatore IRR. Questo perché il solo NPV positivo non è sufficiente a dichiarare la fattibilità di un progetto dato che è un valore che dipende dalle dimensioni del progetto (m^2); allo stesso tempo sarebbe stato ridondate considerarli entrambi, dato che comunque sono strettamente legati. Quindi è stato sufficiente ordinare le alternative da quella meno vantaggiosa (IRR minore) a quella più vantaggiosa (IRR maggiore).

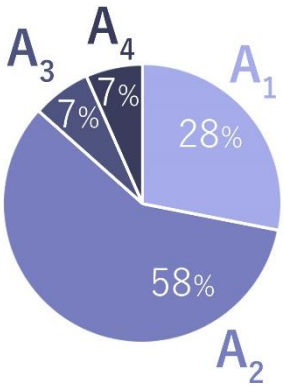
TABELLA 3.35 – Net Present Value e Internal Rate of Revenue.

	NPV [€]	**IRR (>7,45%)**	**Performance economica**
A_1	102.268,32	7,65	media
A_2	165.658,73	7,76	medio-alta
A_3	-2.341,49	7,45	bassa
A_4	-16.553,28	7,42	bassa

È risultato che, al contrario dell'analisi LCC, il progetto più conveniente è l'A_2, seguito da A_1, mentre le due opzioni tradizionali A_3 e A_4 non solo non sono preferibili, ma neanche convenienti dal punto di vista finanziario, dato che hanno un NPV < 0 e un IRR inferiore al saggio utilizzato (7,45%).
Per questo motivo ad entrambe A_3 e A_4 è stato assegnato un livello di performance bassa, mentre per A_2 la stessa performance è considerata medio-alta, anziché alta, perché non si discosta eccessivamente dal valore del saggio di sconto di riferimento.

Matrice 8 – Sotto-criterio 4: Discounted Cash Flow Analysis (DCF)
Rc = 0,028

	A_1	A_2	A_3	A_4	Pesi	
A_1	1	1/3	5	5	0,28248	2
A_2	3	1	7	7	**0,58273**	**1**
A_3	1/5	1/7	1	1	0,06740	3-4
A_4	1/5	1/7	1	1	0,06740	3-4



Struttura in legno, vetro triplo: A_1
Struttura in legno, vetro triplo, fotovoltaico: A_2
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio: A_3
Struttura in calcestruzzo, vetro doppio, fotovoltaico: A_4

3.5 Interpretazione dei risultati

Come si è visto nei paragrafi precedenti, compilando le matrici dei confronti a coppie il software genera la graduatoria delle priorità della matrice specifica, la quale, per ognuna, individua l'elemento (o gli elementi) preferibile rispetto all'elemento del livello superiore che viene utilizzato come criterio per il confronto.
Ad esempio, nella matrice n.8 rispetto al sotto-criterio DCF, l'elemento prioritario è risultato essere l'alternativa A_2, cioè quella con un IRR più elevato. Inoltre, sulla base dei punteggi assegnati vengono calcolati i pesi di ogni singolo elemento della matrice: circa 0,58 per A_2, 0,28 per A_1 e 0,07 per A_3 e A_4 (si ricorda che la somma di questi pesi deve dare 1). I pesi ottenuti dalla risoluzione delle matrici di confronto sono riportati precedentemente nelle tabelle relative.

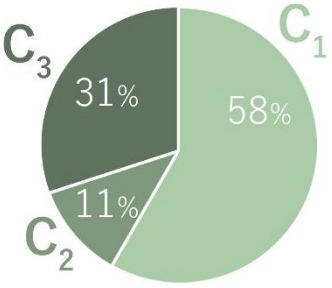
Il risultato finale dell'analisi, però, è costituito dall'alternativa preferibile che tiene conto di tutti i livelli della gerarchia e delle relative matrici che li compongono. Il software, quindi, per ognuno degli elementi del modello calcola il contributo complessivo che esso apporta per il raggiungimento dell'obiettivo. Di seguito viene analizzata la sintesi di queste graduatorie 'parziali', ossia la scala di priorità complessiva, che costituisce il risultato dell'analisi AHP.

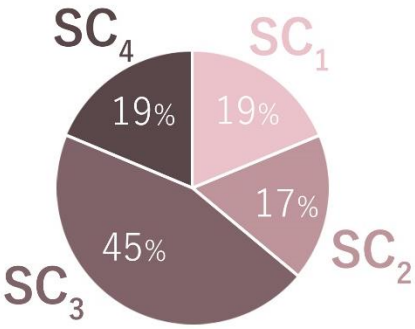
Alla luce dei calcoli eseguiti il software indica la preferibilità per l'alternativa A_2, costruita in legno con vetro triplo e impianto fotovoltaico, al secondo posto si dovrebbe scegliere l'alternativa A_1, identica alla A_2 ma priva di impianto fotovoltaico, mentre risultano meno vantaggiose le due alternative costruite in maniera tradizionale, rispettivamente A_3 (priva di fotovoltaico) e all'ultimo posto A_4 (dotata di fotovoltaico).

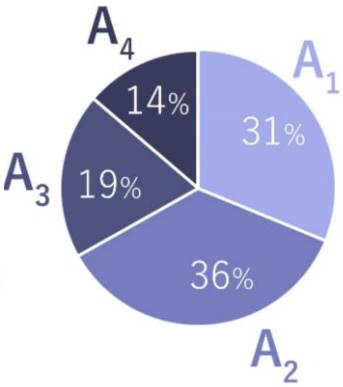
	Pesi	
C_1	**0,58155**	**1**
C_2	0,10945	3
C_3	0,30900	2

	Pesi	
SC_1	0,18744	2-3
SC_2	0,17225	4
SC_3	**0,45288**	**1**
SC_4	0,18744	2-3

	Pesi	
A_1	0,31046	2
A_2	**0,35879**	**1**
A_3	0,19289	3
A_4	0,13787	4







Le matrici dei risultati mostrano i pesi complessivi di ogni elemento del modello. Questi valori sono stati ottenuti moltiplicando gli autovettori di ogni matrice per il peso dell'elemento del livello superiore rispetto al quale vengono confrontati. Così si ottengono i pesi complessivi di tutti gli elementi rispetto a un determinato criterio; questi valori vengono poi sommati in modo da ottenere il peso totale che tiene conto di ogni elemento del livello superiore.
Nel caso specifico per raggiungere il peso complessivo dell'alternativa A_2 (0,35879) sono stati moltiplicati i pesi parziali che questa ha ottenuto nelle matrici dei sotto-criteri (LCC, comfort dell'ambiente interno, impatti ambientali e DCF) per il peso complessivo di ciascuno di questi. In seguito, i prodotti ottenuti sono stati sommati tra loro. Ciò che ne deriva rappresenta il peso dell'alternativa considerata nell'intero modello, cioè quanto A_2 contribuisce complessivamente al raggiungimento dell'obiettivo.

Il risultato risente particolarmente dell'importanza che è stata attribuita alla sostenibilità ambientale rispetto a quella economica e alla qualità del progetto

nella compilazione della matrice obiettivo; per questo motivo, essendo l'opzione A_2 caratterizzata da una migliore performance ambientale, risulta la più vantaggiosa.
Dal punto di vista finanziario, criterio che è stato messo al secondo posto in termini di importanza, i sotto-criteri deputati alla misurazione della convenienza e dunque a contribuire all'individuazione della migliore opzione erano due, l'analisi LCC e DCF. Nonostante i risultati tra loro discordanti che questi due offrono, l'opzione A_2 risulta comunque preferibile.
Infatti, la struttura costruita in calcestruzzo e muratura e doppi vetri, oltre che essere la meno consigliabile dal punto di vista ambientale, non gode nemmeno della miglior performance economica in senso assoluto. Infatti, se dall'analisi LCC appare essere quella con il minor costo globale nel ciclo di vita, giustificato dal un minor costo di costruzione iniziale, al momento di valutare i flussi finanziario nel DCF, il quale considera anche i possibili ricavi derivanti dall'affitto, emerge che si tratta dell'opzione meno redditizia. Questo è senza dubbio spiegabile dalla differenza intrinseca delle due metodologie: nella prima si considerano esclusivamente i costi sostenuti (il risultato dell'analisi è il costo globale), mentre nella seconda, comprendendo anche la previsione dei ricavi futuri derivanti dalla locazione, misura il flusso di cassa finanziario, ossia effettivamente a disposizione del promotore.
In altri termini, ciò significa che la convenienza economica in questo caso è data non tanto dai risparmi in fase di gestione che le soluzioni tecnologiche di A_1 e A_2 generano, bensì dai ricavi degli affitti, che rispecchiano il valore che il mercato è disposto ad attribuire ad esse.
Il comfort, seppure a favore dell'alternativa migliore, ha sicuramente un peso inferiore nella scelta, perché confluisce nel criterio relativo alla qualità del progetto, il quale è ultimo nella scala di priorità rispetto all'obiettivo.

Questo caso studio si presta in particolar modo all'applicazione della tecnica dell'AHP proprio per la presenza di questi dati così discordanti ed evidenzia la doppia natura qualitativa e quantitativa che l'AHP può risolvere.
La suddivisione in livelli ne enfatizza ancora di più questa caratteristica; infatti, se le matrici di confronto delle alternative rispetto ai sotto-criteri

utilizzano per lo più indicatori quantitativi, la compilazione della matrice ai livelli precedenti si basa su valori qualitativi e legati al soggetto che compie l'analisi.

Questo permetterebbe di variare solo i giudizi assegnati ai tre criteri a confronto alla matrice obiettivo, fermo restando tutta la struttura dell'applicazione e le quattro alternative, ipotizzando ad esempio un diverso soggetto a condurre l'analisi o semplicemente una diversa situazione di partenza. Quindi, se invece di prediligere sopra tutti la sostenibilità ambientale fossero stati ritenuti più importanti la qualità del progetto architettonico oppure la sostenibilità economica, il risultato dell'analisi potrebbe cambiare e questo accade perché, come spiegato più nel dettaglio nel capitolo 2, l'AHP è particolarmente influenzabile dall'importanza che il soggetto che conduce l'analisi attribuisce a un certo componente.

3.6 Output del software

I calcoli per la risoluzione delle matrici di confronto sono stati eseguiti grazie al supporto del software Super Decisions.[9]

Il software richiede innanzitutto che venga costruito il modello (*network*), definendo gli elementi della struttura gerarchica.

Attraverso la formazione dei quattro livelli (*cluster*) della gerarchia, obiettivo, criteri, sotto-criteri e alternative, sono stati aggiunti tutti gli elementi che li compongono (*nodes*) e sono state specificate le connessioni che li legano.

FIGURA 3.16 – Costruzione della struttura gerarchica.

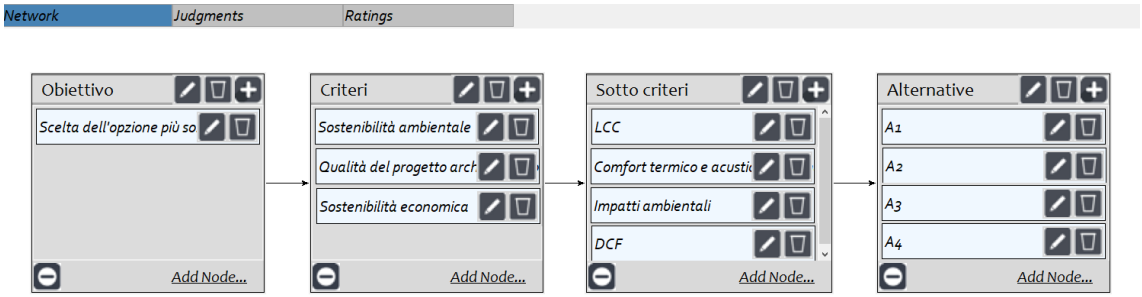
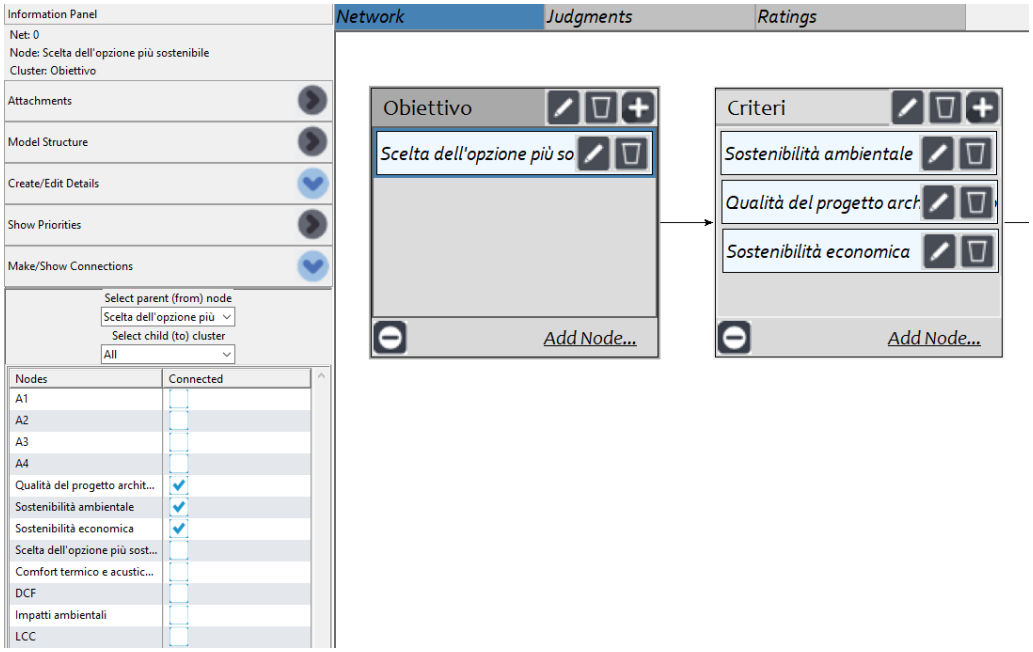


FIGURA 3.17 – Definizione dei collegamenti tra gli elementi di livelli differenti. Esempio obiettivo-criteri.



[9] https://www.superdecisions.com/ (08/2019).

Successivamente, selezionando l'etichetta "*Judgments*", è possibile compilare una matrice per volta, inserendo i pesi attribuiti al confronto a coppie degli elementi.

Di seguito vengono riportate le schermate, in cui si trova al centro la matrice con i pesi assegnati al confronto a coppie di ogni elemento e a destra i risultati parziali della matrice considerata, l'autovettore, il quale specifica il punteggio di ogni elemento.

Viene, inoltre, calcolato il rapporto di consistenza (*inconsistency*) della matrice, che ne rappresenta la coerenza interna. Perché i giudizi assegnati vengano considerati accettabili l'*inconsistency* non deve superare 0,10. Si può notare che in alcune matrici questo vale 0,00, valore tipico di matrici semplici, caratterizzate esclusivamente da un unico giudizio e dal suo reciproco.

FIGURA 3.18 – Matrice 1: Confronto dei criteri rispetto all'obiettivo.

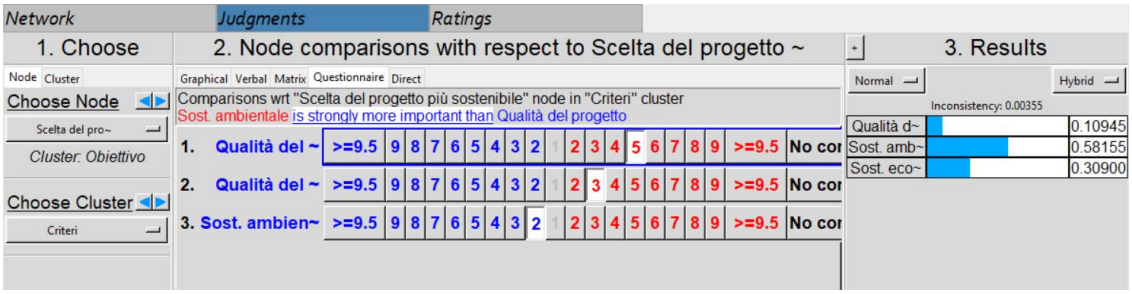


FIGURA 3.19 – Matrice 2: Confronto dei sotto-criteri rispetto al criterio Sostenibilità ambientale.

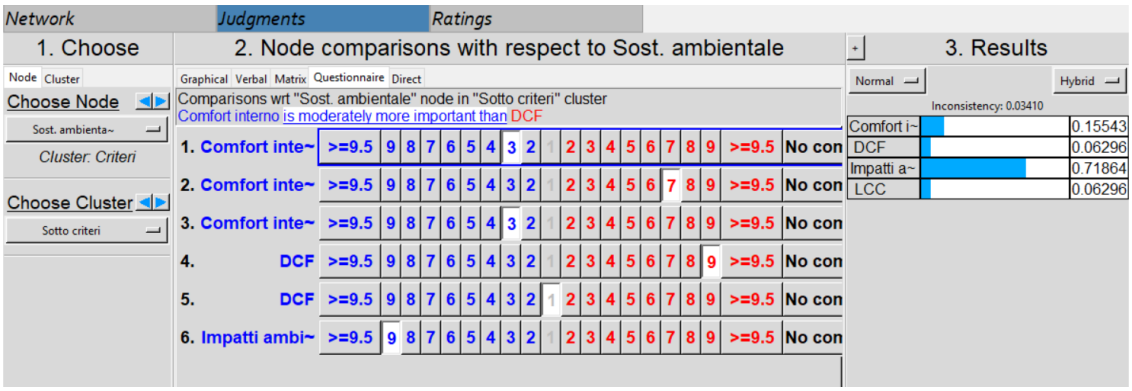


FIGURA 3.20 – Matrice 3: Confronto dei sotto-criteri rispetto al criterio Qualità del progetto architettonico.

FIGURA 3.21 – Matrice 4: Confronto dei sotto-criteri rispetto al criterio Sostenibilità economica.

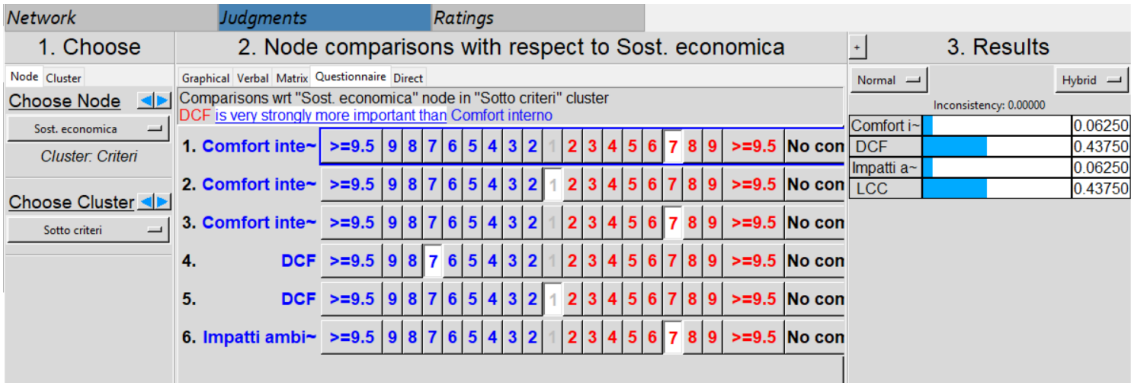


FIGURA 3.22 – Matrice 5: Confronto delle alternative rispetto al sotto-criterio LCC.

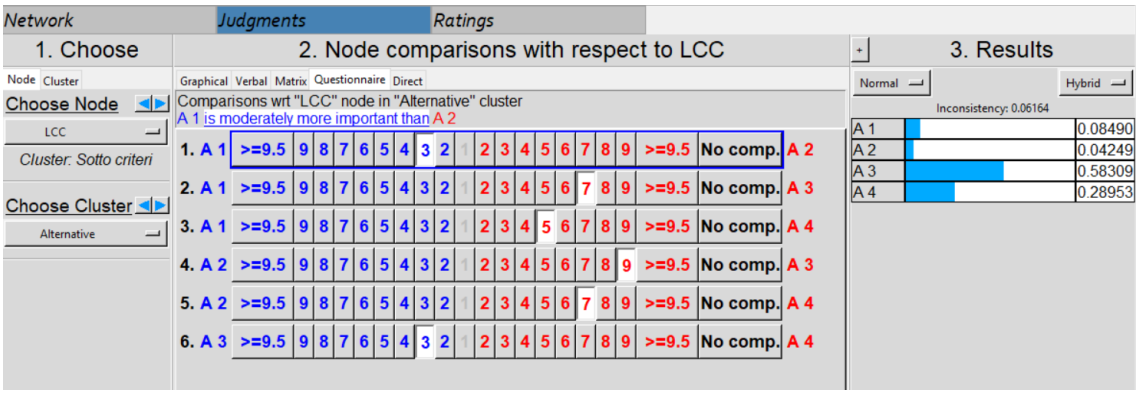


FIGURA 3.23 – Matrice 6: Confronto delle alternative rispetto al sotto-criterio Comfort termico e acustico dell'ambiente interno.

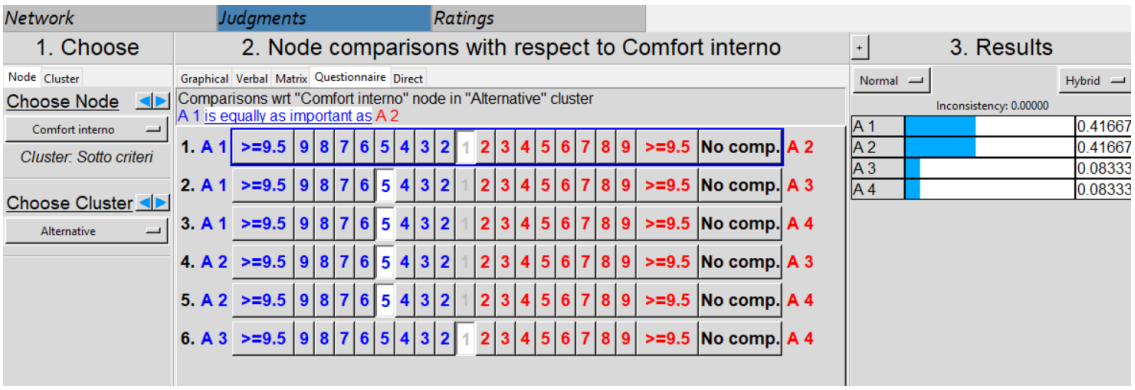
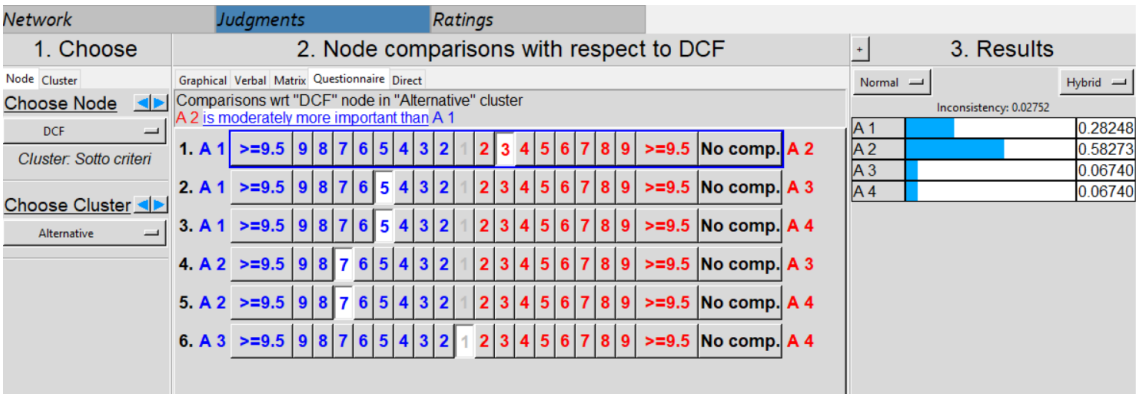


FIGURA 3.24 – Matrice 7: Confronto delle alternative rispetto al sotto-criterio Impatti ambientali.

FIGURA 3.25 – Matrice 8: Confronto delle alternative rispetto al sotto-criterio DCF.



Il software mostra come risultato del calcolo l'alternativa preferibile, in questo caso A_2, cioè quella che ha ottenuto complessivamente un punteggio pesato più elevato.

Inoltre, calcola anche il punteggio finale complessivo di ogni elemento del modello, che ne rappresenta il livello di importanza, cioè quanto questo contribuisce complessivamente al raggiungimento dell'obiettivo.

FIGURA 3.26 – Classificazione delle alternative grazie ai punteggi ottenuti dalle matrici.

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives. You synthesized from the network Main Network: Prova modello 12 ottobre.sdmod: ratings

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
A 1		0.865303	0.310459	0.103486
A 2		1.000000	0.358787	0.119596
A 3		0.537615	0.192889	0.064296
A 4		0.384253	0.137865	0.045955

FIGURA 3.27 – Punteggio pesato di ogni elemento del modello.

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	A 1	0.31046	0.103486
No Icon	A 2	0.35879	0.119596
No Icon	A 3	0.19289	0.064296
No Icon	A 4	0.13787	0.045955
No Icon	Qualità del progetto	0.10945	0.036484
No Icon	Sost. ambientale	0.58155	0.193851
No Icon	Sost. economica	0.30900	0.102999
No Icon	Scelta del progetto più sostenibile	0.00000	0.000000
No Icon	Comfort interno	0.17225	0.057416
No Icon	DCF	0.18744	0.062479
No Icon	Impatti ambientali	0.45288	0.150959
No Icon	LCC	0.18744	0.062479

Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro di tesi è stato affrontare il tema della sostenibilità economica e finanziaria dei progetti in una maniera ampia, che non si limitasse al semplice calcolo dell'NPV e IRR per determinare la fattibilità dell'investimento, attraverso l'analisi DCF. Questi indicatori di fattibilità economica sono stati associati agli indicatori calcolati mediante l'approccio Life Cycle Costing, poiché i risultati di queste due analisi possono essere discordanti, si è pensato di utilizzare una tecnica di analisi multicriteria, l'Analytic Hierarchy Process, per sviluppare il problema decisionale e scomporlo in elementi semplici.

È stato, dunque, applicato al caso studio il metodo AHP, il quale ha permesso di considerare non solo gli aspetti riguardanti la convenienza economica, ma anche gli ambiti inerenti la sostenibilità economica e la qualità del progetto.
All'interno di un'analisi così strutturata che comprende punti di vista di vario genere, i risultati finanziari non sono più l'unico criterio per la scelta dell'opzione preferibile. Inoltre, il soggetto che conduce l'analisi deve definire quale sia l'importanza complessiva che attribuisce alla sostenibilità finanziaria (ad esempio in questo caso si è trovata al secondo posto dopo la sostenibilità ambientale).

Inoltre, il fatto che dall'analisi DCF sia emersa come alternativa preferibile l'opzione di progetto costruita in legno e con tecnologie più avanzate è dovuto certamente al contributo dei ricavi costituiti dai canoni di locazione dell'immobile. Questo stretto legame è evidente dal fatto che la mancanza di

questi ultimi nell'analisi LCC, la quale comprende per definizione solo i costi da sostenere, genera un risultato che è invertito rispetto al DCF, poiché i risparmi sui costi di gestione non sono abbastanza elevati da compensarli.

In conclusione, viene mostrato come l'analisi del costo nel ciclo di vita possa essere utilizzata come criterio a sé in un'analisi multicriteria così come sviluppato in questo elaborato, oppure potrebbe essere integrata in un altro criterio di natura economico-finanziaria, seguendo l'impostazione che qui è stata utilizzata per accorpare i diversi indicatori.
Quindi, lo scopo principale che potrebbe avere l'utilizzo di queste due metodologie congiunte potrebbe essere da un lato quello di introdurre un criterio numerico e oggettivo all'interno dell'analisi, mentre dall'altro lato la necessità di beneficiare, anche in queste tecniche multicriteria, delle considerazioni che le analisi relative al ciclo di vita consentono.
Un ulteriore sviluppo che si suggerisce potrebbe essere quello di unire a questa applicazione congiunta l'analisi del Life Cycle Assessment, in modo da sviluppare il concetto di ciclo di vita all'interno del problema decisionale anche per quanto riguarda l'ambito degli impatti sull'ambiente.

Bibliografia

BRAVI M., FREGONARA E., *Promozione e sviluppo immobiliare. Analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Celid, Torino 2004.

BRIGATO M.V., *La strada della lana da Biella a Borgosesia. Valorizzazione di un sistema di archeologia industriale*, tesi di laurea, rel. Coscia C., Bartolozzi C., Fregonara E., Politecnico di Torino, a.a. 2008-2009.

BROWN G.R., MATYSIAK G.A., *Real estate investment. A capital market approach*, Financial Times Prentice Hall, Harlow 2000.

Decreto Interministeriale 26 giugno 2015, Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

DE LUCA A.I., IOFRIDA N., FALCONE G., STILLITANO T., GULISANO G., (2018), *Olive growing scenarios of soil management: integrating environmental, economic and social indicators from a life-cycle perspective*, Acta Horticulturae 1199, pp. 209-214.

DEMARIA E., DUZEL A., *Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building". Ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica*, tesi di laurea, rel. Giordano R., Serra V., Politecnico di Torino, a.a. 2015-2016.

FALCONE G., DE LUCA A.I., STILLITANO T., STRANO A., ROMEO G., GULISANO G., (2016), *Assessment of Environmental and Economic Impacts of Vine-Growing Combining Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing and Multicriterial Analysis*, Sustainability, Vol. 8, n. 793.

FREGONARA E., COSCIA C., (2019), *Analisi Multicriteria, approcci Life Cycle e Delphi Method: una proposta metodologica per valutare scenari di progetto*, Valori e Valutazioni, n. 23, in stampa.

FREGONARA E., *Problemi di valutazione delle risorse architettoniche e culturali*, tesi di laurea, rel. Curto R., Politecnico di Torino, a.a. 1988-1989.

FREGONARA E.*, Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, FrancoAngeli, Milano 2015.

GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010.

ISO 15686-5:2008, *Buildings and constructed assets – Service life planning* – Part 5: *Life Cycle Costing*.

ISO 15686-5:2017, *Buildings and constructed assets – Service life planning* – Part 5: *Life Cycle Costing*.

JAFFE A.J., SIRMANS C.F., *Fundamentals of Real Estate Investment*, Third ed., Prentice Hall, New Jersey 1995.

LANGDON D., *Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology - Final Report*, 2007.

OPHER T., FRIEDLER E., SHAPIRA A., (2019), *Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales*, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 24, n. 7, pp. 1319-1332.

RE CECCONI F., TAGLIABUE L. C., MALTESE S., ZUCCARO M., (2017), *A multi-criteria framework for decision process in retrofit optioneering through interactive data flow*, Procedia Engineering, n. 180, pp. 859-869.

ROSCELLI R. (a cura di), *Misurare nell'incertezza*, Celid, Torino 1990.

ROSCELLI R. (a cura di), *Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali*, Celid, Torino 2005.

Sitografia

- https://www.superdecisions.com/ (08/2019)
- https://wwwt.agenziaentrate.gov.it/servizi/Consultazione (15/09/2019)
- http://dowtb.wrap.org.uk/ (01/2018)
- http://www.comune.torino.it/tasse/imu/determinazione-base-imponibile-IMU-3.shtml#terreni (23/10/2019)
- http://www.oict.polito.it (03/09/2019)

Ringraziamenti

Desidero rivolgere un ringraziamento sincero alla mia relatrice Prof.ssa Elena Fregonara per avermi seguito in questo percorso e per aver messo a mia disposizione la sua preparazione e competenza, unite a una grande disponibilità e pazienza.

Ringrazio anche l'Arch. Diego Ferrando, correlatore di questa tesi, i cui consigli e conoscenze specifiche sono stati preziosi per lo sviluppo del lavoro.

Ai miei genitori vanno la mia più profonda gratitudine e una riconoscenza infinita. Grazie per l'opportunità che mi avete dato, per la fiducia nei miei confronti e per avermi supportata in ogni modo possibile, in questi anni di università e sempre.

Ringrazio tutta la mia famiglia che è sempre stata presente e molto attenta ai miei studi fin dall'infanzia e che ha condiviso con me la felicità per ogni singolo obiettivo raggiunto.

Voglio ringraziare anche Daniele, che ha vissuto questi anni al mio fianco e nei momenti di sconforto mi ha sempre aiutata a ritrovare la motivazione. La tua vicinanza e le tue premure sono state preziose.

Allegato A

TABELLA A.1 – Analisi LCC relativa all'alternativa A_1.

NON CONSTRUCTION COST					Anno								
	[m²]	[€/m² slp]	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Terreno	1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	38,48%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
Spese d'atto	4%		102.823,48	1,54%	102.823,48	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	102.823,48
Oneri di Urbanizzazione 2°	1.699,00	34,61	58.802,39	0,88%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
Contributo su Costo di Costruzione	5,0%	1.622,23	137.808,44	2,06%	68.904,22	68.904,22	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	137.808,44
Totale Non Construction Cost			**2.870.021,31**	**42,97%**	**2.771.715,89**	**98.305,41**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.870.021,31**
LIFE CYCLE COST					**Anno**								
Construction Cost	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Verde Pubblico	330,00	60,00	19.800,00	0,30%	0,00	1.980,00	4.950,00	12.870,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
Parcheggi interrati	832,00	374,03	311.192,96	4,66%	124.477,18	108.917,54	46.678,94	31.119,30	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
Commerciale	1.699,00	1.622,23	2.756.168,77	41,26%	275.616,88	413.425,32	964.659,07	1.102.467,51	0,00	…	0,00	0,00	2.756.168,77
Totale	**2.861,00**		**3.087.161,73**	**46,22%**	**400.094,06**	**524.322,85**	**1.016.288,01**	**1.146.456,80**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.087.161,73**
Spese tecniche		8%	246.972,94	3,70%	49.394,59	74.091,88	74.091,88	49.394,59	0,00	…	0,00	0,00	246.972,94
Totale Construction Cost			**3.334.134,67**	**49,92%**	**449.488,65**	**598.414,73**	**1.090.379,90**	**1.195.851,39**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.334.134,67**
Operation Cost	[kWh/anno]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di Gestione		2%	8.424,47	0,13%	0,00	0,00	0,00	2.578,92	7.220,98	…	0,00	0,00	18.224,37
Costi di Assicurazione		0,03%	1.000,24	0,01%	0,00	0,00	0,00	1.000,24	1.000,24	…	1.000,24	0,00	26.006,25
Costi dell'Energia Elettrica	69.659,00	0,18	12.538,62	0,19%	0,00	0,00	0,00	12.538,62	12.538,62	…	12.538,62	12.538,62	338.542,74
Costo del Riscaldamento	69.271,39	0,18	12.468,85	0,19%	0,00	0,00	0,00	12.468,85	12.468,85	…	12.468,85	12.468,85	336.658,95
Costo ACS	35.838,99	0,18	6.451,02	0,10%	0,00	0,00	0,00	6.451,02	6.451,02	…	6.451,02	6.451,02	174.177,49
Tasse e spese di registrazione		0,50%	2.106,12	0,03%	0,00	0,00	0,00	2.106,12	0,00	…	0,00	0,00	2.106,12
Imposte di bollo		16,00	368,00	0,01%	0,00	0,00	0,00	368,00	0,00	…	0,00	0,00	736,00
Tasse sull'imponibile		43%	172.069,82	2,58%	0,00	0,00	0,00	52.674,44	147.488,42	…	241.440,54	245.062,14	5.354.557,17
Totale Operation Cost			**215.427,14**	**3,23%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**90.186,20**	**187.168,13**	**…**	**273.899,26**	**276.520,63**	**6.251.009,08**
Maintenance	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di ordinaria manutenzione		8,0%	33.697,88	0,50%	0,00	0,00	0,00	10.315,68	28.883,90	…	47.283,34	47.992,59	1.049.212,53
Costi di manutenzione straordinaria		1,0%	33.341,35	0,50%	0,00	0,00	0,00	66.796,03	66.796,03	…	66.796,03	66.796,03	1.803.492,73
Totale Maintenance			**67.039,23**	**1,00%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**77.111,71**	**95.679,93**	**…**	**114.079,36**	**114.788,61**	**2.852.705,26**
End of Life	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di demolizione	10.282,00 m³	20,00	205.640,00	3,08%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	205.640,00	205.640,00
Costo di smaltimento dei rifiuti speciali	179,00 t	23,34	4.177,86	0,06%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	4.177,86	4.177,86
Totale End of life			**209.817,86**	**3,14%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**209.817,86**	**209.817,86**
Income	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Scomputo oneri di Urbanizzazione 1°	125,00	134,70	-16.837,50	-0,25%	-16.837,50	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	**-16.837,50**
Totale Income			**-16.837,50**	**-0,25%**	**-16.837,50**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**-16.837,50**
TOTALE COSTI			6.679.602,71	100,00%	3.204.367,04	696.720,15	1.090.379,90	1.363.149,30	282.848,05	[…]	387.978,63	601.127,11	15.500.850,68
Flusso economico – Cash Flow Unlevered					**3.204.367,04**	**696.720,15**	**1.090.379,90**	**1.363.149,30**	**282.848,05**	**[…]**	**387.978,63**	**601.127,11**	**15.500.850,68**
NET PRESENT COST (NPC)	3,00% (Saggio di attualizzazione)		-11.425.550,34 €										

TABELLA A.2 – Analisi LCC relativa all'alternativa A_2.

NON CONSTRUCTION COST					Anno								
	[m²]	[€/m² slp]	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Terreno	1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	37,28%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
Spese d'atto	4%		102.823,48	1,49%	102.823,48	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	102.823,48
Oneri di Urbanizzazione 2°	1.699,00	34,61	58.802,39	0,85%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
Contributo su Costo di Costruzione	5,0%	1.763,26	149.788,94	2,17%	74.894,47	74.894,47	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	149.788,94
Totale Non Construction Cost			**2.882.001,81**	**41,80%**	**2.777.706,14**	**104.295,66**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.882.001,81**
LIFE CYCLE COST					**Anno**								
Construction Cost	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Verde Pubblico	330,00	60,00	19.800,00	0,29%	0,00	3.960,00	15.840,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
Parcheggi interrati	832,00	374,03	311.192,96	4,51%	155.596,48	93.357,89	62.238,59	0,00	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
Commerciale	1.699,00	1.763,26	2.995.778,74	43,45%	599.155,75	898.733,62	1.497.889,37	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.995.778,74
Totale	**2.861,00**		**3.326.771,70**	**48,25%**	**754.752,23**	**996.051,51**	**1.575.967,96**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.326.771,70**
Spese tecniche		8%	266.141,74	3,86%	53.228,35	79.842,52	133.070,87	0,00	0,00	…	0,00	0,00	266.141,74
Totale Construction Cost			**3.592.913,44**	**52,11%**	**807.980,58**	**1.075.894,03**	**1.709.038,83**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.592.913,44**
Operation Cost	[kWh/anno]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di Gestione		2%	8.756,14	0,13%	0,00	0,00	0,00	2.680,45	7.505,27	…	0,00	0,00	18.941,86
Costi di Assicurazione		0,03%	1.077,87	0,02%	0,00	0,00	0,00	1.077,87	1.077,87	…	1.077,87	0,00	28.024,72
Costi dell'Energia Elettrica	69.659,00	0,18	12.538,62	0,18%	0,00	0,00	0,00	12.538,62	12.538,62	…	12.538,62	12.538,62	338.542,74
Costo del Riscaldamento	69.271,39	0,18	12.468,85	0,18%	0,00	0,00	0,00	12.468,85	12.468,85	…	12.468,85	12.468,85	336.658,95
Costo ACS	35.838,99	0,18	6.451,02	0,09%	0,00	0,00	0,00	6.451,02	6.451,02	…	6.451,02	6.451,02	174.177,49
Tasse e spese di registrazione		0,50%	2.189,04	0,03%	0,00	0,00	0,00	2.189,04	0,00	…	0,00	0,00	2.189,04
Imposte di bollo		16,00	368,00	0,01%	0,00	0,00	0,00	368,00	0,00	…	0,00	0,00	736,00
Tasse sull'imponibile		43%	178.844,22	2,59%	0,00	0,00	0,00	54.748,23	153.295,05	…	250.946,07	254.710,26	5.565.366,43
Totale Operation Cost			**222.693,77**	**3,23%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**92.522,08**	**193.336,68**	**…**	**283.482,43**	**286.168,74**	**6.464.637,24**
Maintenance	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di ordinaria manutenzione		8,0%	35.024,57	0,51%	0,00	0,00	0,00	10.721,81	30.021,06	…	49.144,88	49.882,06	1.090.520,09
Costi di manutenzione straordinaria		1,0%	35.929,13	0,52%	0,00	0,00	0,00	68.948,90	68.948,90	…	68.948,90	68.948,90	1.861.620,36
Totale Maintenance			**70.953,71**	**1,03%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**79.670,71**	**98.969,96**	**…**	**118.093,79**	**118.830,96**	**2.952.140,46**
End of Life	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di demolizione	10.282,00 m³	20,00	205.640,00	2,98%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	205.640,00	205.640,00
Costo di smaltimento dei rifiuti speciali	179,00 t	23,34	4.177,86	0,06%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	4.177,86	4.177,86
Totale End of life			**209.817,86**	**3,04%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**209.817,86**	**209.817,86**
Income	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Scomputo oneri di Urbanizzazione 1°	125,00	134,70	-16.837,50	-0,24%	-16.837,50	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	-16.837,50
Incentivi per raggiungimento requisiti energetici		65%	-63.700,00	-0,92%	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	…	0,00	0,00	-63.700,00
Risparmi sull'energia elettrica		23,6%	-2.952,85	0,04%	0,00	0,00	0,00	-2.952,85	-2.952,85	…	-2.952,85	-2.952,85	-79.726,82
Totale Income			**-83.490,35**	**-1,21%**	**-23.207,50**	**-6.370,00**	**-6.370,00**	**-9.322,85**	**-9.322,85**	**…**	**-2.952,85**	**-2.952,85**	**-160.264,32**
TOTALE COSTI				100,00%	3.562.479,22	1.173.819,69	1.702.668,83	162.869,95	282.983,80	[…]	398.623,37	611.864,72	15.941.246,48
Flusso economico – Cash Flow Unlevered					**3.562.479,22**	**1.173.819,69**	**1.702.668,83**	**162.869,95**	**282.983,80**	**[…]**	**398.623,37**	**611.864,72**	**15.941.246,48**
NET PRESENT COST (NPC)	3,00% (Saggio di attualizzazione)		-11.823.731,90 €										

TABELLA A.3 – Analisi LCC relativa all'alternativa A_3.

NON CONSTRUCTION COST					Anno								
	[m²]	[€/m² slp]	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Terreno	1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	41,76%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
Spese d'atto	4%		102.823,48	1,67%	102.823,48	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	102.823,48
Oneri di Urbanizzazione 2°	1.699,00	34,61	58.802,39	0,96%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
Contributo su Costo di Costruzione	5,0%	1.360,23	115.551,54	1,88%	57.775,77	57.775,77	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	115.551,54
Totale Non Construction Cost			**2.847.764,41**	**46,27%**	**2.760.587,44**	**87.176,96**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.847.764,41**
LIFE CYCLE COST					**Anno**								
Construction Cost	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Verde Pubblico	330,00	60,00	19.800,00	0,32%	0,00	1.980,00	4.950,00	12.870,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
Parcheggi interrati	832,00	374,03	311.192,96	5,06%	124.477,18	108.917,54	46.678,94	31.119,30	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
Commerciale	1.699,00	1.360,23	2.311.030,77	37,55%	231.103,08	346.654,62	808.860,77	924.412,31	0,00	…	0,00	0,00	2.311.030,77
Totale	**2.861,00**		**2.642.023,73**	**42,92%**	**355.580,26**	**457.552,15**	**860.489,71**	**968.401,60**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.642.023,73**
Spese tecniche		8%	211.361,90	3,43%	42.272,38	63.408,57	63.408,57	42.272,38	0,00	…	0,00	0,00	211.361,90
Totale Construction Cost			**2.853.385,63**	**46,36%**	**397.852,64**	**520.960,72**	**923.898,28**	**1.010.673,98**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.853.385,63**
Operation Cost	[kWh/anno]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di Gestione		2%	7.581,31	0,12%	0,00	0,00	0,00	2.320,81	6.498,26	…	0,00	0,00	16.400,37
Costi di Assicurazione		0,03%	856,02	0,01%	0,00	0,00	0,00	856,02	856,02	…	856,02	0,00	22.256,41
Costi dell'Energia Elettrica	69.659,00	0,18	12.538,62	0,20%	0,00	0,00	0,00	12.538,62	12.538,62	…	12.538,62	12.538,62	338.542,74
Costo del Riscaldamento	75.363,61	0,18	13.565,45	0,22%	0,00	0,00	0,00	13.565,45	13.565,45	…	13.565,45	13.565,45	366.267,15
Costo ACS	35.838,99	0,18	6.451,02	0,10%	0,00	0,00	0,00	6.451,02	6.451,02	…	6.451,02	6.451,02	174.177,49
Tasse e spese di registrazione		0,50%	1.895,33	0,03%	0,00	0,00	0,00	1.895,33	0,00	…	0,00	0,00	1.895,33
Imposte di bollo		16,00	368,00	0,01%	0,00	0,00	0,00	368,00	0,00	…	0,00	0,00	736,00
Tasse sull'imponibile		43%	154.848,16	2,52%	0,00	0,00	0,00	47.402,50	132.726,99	…	217.275,88	220.535,01	4.818.644,45
Totale Operation Cost			**198.103,89**	**3,22%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**85.397,73**	**172.636,36**	**…**	**250.686,98**	**253.090,10**	**5.738.919,94**
Maintenance	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di ordinaria manutenzione		8,0%	30.325,22	0,49%	0,00	0,00	0,00	9.283,23	25.993,05	…	42.550,97	43.189,23	944.201,73
Costi di manutenzione straordinaria		1,0%	28.533,86	0,46%	0,00	0,00	0,00	61.552,71	61.552,71	…	61.552,71	61.552,71	1.661.923,23
Totale Maintenance			**58.859,08**	**0,96%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**70.835,94**	**87.545,76**	**…**	**104.103,68**	**104.741,94**	**2.606.124,96**
End of Life	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di demolizione	10.282,00 m³	20,00	205.640,00	3,34%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	205.640,00	205.640,00
Costo di smaltimento dei rifiuti speciali	358,00 t	23,34	8.355,72	0,14%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	8.355,72	8.355,72
Totale End of life			**213.995,72**	**3,48%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**213.995,72**	**213.995,72**
Income	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Scomputo oneri di Urbanizzazione 1°	125,00	134,70	-16.837,50	-0,27%	-16.837,50	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	**-16.837,50**
Totale Income			**-16.837,50**	**-0,27%**	**-16.837,50**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**-16.837,50**
TOTALE COSTI				**100,00%**	**3.141.602,58**	**608.137,69**	**923.898,28**	**1.166.907,66**	**260.182,11**	**[…]**	**354.790,66**	**571.827,77**	**14.243.353,16**
Flusso economico – Cash Flow Unlevered					**3.141.602,58**	**608.137,69**	**923.898,28**	**1.166.907,66**	**260.182,11**	**[…]**	**354.790,66**	**571.827,77**	**14.243.353,16**
NET PRESENT COST (NPC)	**3,00% (Saggio di attualizzazione)**		**-10.509.110,18 €**										

TABELLA A.4 – Analisi LCC relativa all'alternativa A_4.

NON CONSTRUCTION COST					Anno								
	[m²]	[€/m² slp]	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Terreno	1.699,00	1.513,00	2.570.587,00	40,37%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
Spese d'atto	4%		102.823,48	1,61%	102.823,48	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	102.823,48
Oneri di Urbanizzazione 2°	1.699,00	34,61	58.802,39	0,92%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
Contributo su Costo di Costruzione	5,0%	1.501,26	127.532,04	2,00%	63.766,02	63.766,02	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	127.532,04
Totale Non Construction Cost			**2.859.744,91**	**44,91%**	**2.766.577,69**	**93.167,21**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.859.744,91**
LIFE CYCLE COST					**Anno**								
Construction Cost	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Verde Pubblico	330,00	60,00	19.800,00	0,31%	0,00	3.960,00	15.840,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
Parcheggi interrati	832,00	374,03	311.192,96	4,89%	155.596,48	93.357,89	62.238,59	0,00	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
Commerciale	1.699,00	1.501,26	2.550.640,74	40,06%	510.128,15	765.192,22	1.275.320,37	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.550.640,74
Totale	**2.861,00**		**2.881.633,70**	**45,25%**	**665.724,63**	**862.510,11**	**1.353.398,96**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.881.633,70**
Spese tecniche		8%	230.530,70	3,62%	46.106,14	69.159,21	115.265,35	0,00	0,00	…	0,00	0,00	230.530,70
Totale Construction Cost			**3.112.164,40**	**48,88%**	**711.830,77**	**931.669,32**	**1.468.664,31**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.112.164,40**
Operation Cost	[kWh/anno]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di Gestione		2%	7.797,09	0,12%	0,00	0,00	0,00	2.386,86	6.683,22	…	0,00	0,00	16.867,16
Costi di Assicurazione		0,03%	933,65	0,01%	0,00	0,00	0,00	933,65	933,65	…	933,65	0,00	24.274,88
Costi dell'Energia Elettrica	69.659,00	0,18	12.538,62	0,20%	0,00	0,00	0,00	12.538,62	12.538,62	…	12.538,62	12.538,62	338.542,74
Costo del Riscaldamento	75.363,61	0,18	13.565,45	0,21%	0,00	0,00	0,00	13.565,45	13.565,45	…	13.565,45	13.565,45	366.267,15
Costo ACS	35.838,99	0,18	6.451,02	0,10%	0,00	0,00	0,00	6.451,02	6.451,02	…	6.451,02	6.451,02	174.177,49
Tasse e spese di registrazione		0,50%	1.949,27	0,03%	0,00	0,00	0,00	1.949,27	0,00	…	0,00	0,00	1.949,27
Imposte di bollo		16,00	368,00	0,01%	0,00	0,00	0,00	368,00	0,00	…	0,00	0,00	736,00
Tasse sull'imponibile		43%	159.255,60	2,50%	0,00	0,00	0,00	48.751,71	136.504,80	…	223.460,20	226.812,10	4.955.797,47
Totale Operation Cost			**202.858,70**	**3,19%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**86.944,59**	**176.676,76**	**…**	**256.948,93**	**259.367,19**	**5.878.612,18**
Maintenance	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di ordinaria manutenzione		8,0%	31.188,37	0,49%	0,00	0,00	0,00	9.547,46	26.732,89	…	43.762,09	44.418,53	971.076,53
Costi di manutenzione straordinaria		1,0%	31.121,64	0,49%	0,00	0,00	0,00	63.675,83	63.675,83	…	63.675,83	63.675,83	1.719.247,51
Totale Maintenance			**62.310,01**	**0,98%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**73.223,29**	**90.408,72**	**…**	**107.437,93**	**108.094,36**	**2.690.324,04**
End of Life	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Costi di demolizione	10.282,00 m³	20,00	205.640,00	3,23%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	205.640,00	205.640,00
Costo di smaltimento dei rifiuti speciali	358,00 t	23,34	8.355,72	0,13%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	8.355,72	8.355,72
Totale End of life			**213.995,72**	**3,36%**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**213.995,72**	**213.995,72**
Income	[m²]	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Scomputo oneri di Urbanizzazione 1°	125,00	134,70	-16.837,50	-0,26%	-16.837,50	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	-16.837,50
Incentivi per raggiungimento requisiti energetici		65%	-63.700,00	-1,00%	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	-6.370,00	…	0,00	0,00	-63.700,00
Risparmi sull'energia elettrica		23,6%	-2.952,85	-0,05%	0,00	0,00	0,00	-2.952,85	-2.952,85	…	-2.952,85	-2.952,85	-79.726,82
Totale Income			**-83.490,35**	**-1,31%**	**-23.207,50**	**-6.370,00**	**-6.370,00**	**-9.322,85**	**-9.322,85**	**…**	**-2.952,85**	**-2.952,85**	**-160.264,32**
TOTALE COSTI				100,00%	3.455.200,96	1.018.466,53	1.462.294,31	150.845,04	257.762,63	[…]	361.434,02	578.504,42	14.594.576,94
Flusso economico – Cash Flow Unlevered					**3.455.200,96**	**1.018.466,53**	**1.462.294,31**	**150.845,04**	**257.762,63**	**[…]**	**361.434,02**	**578.504,42**	**14.594.576,94**
NET PRESENT COST (NPC)	3,00% (Saggio di attualizzazione)		-10.844.636,72 €										

Allegato B

TABELLA B.1.1 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_1: costi e ricavi.

COSTI DI INVESTIMENTO							Anno								
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							100%	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Terreno		1.699,00		1513,00	2.570.587	41,7%	2.570.587	0	0	0	0	…	0	0	2.570.587
							20%	*30%*	*30%*	*20%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese tecniche	8%		su costi costruzione		246.973	4,0%	49.395	74.092	74.092	49.395	0	…	0	0	246.973
							29%	*29%*	*29%*	*13%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese generali intervento	2%		su costi costruzione		61.743	1,0%	17.906	17.906	17.906	8.027	0	…	0	0	61.743
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Oneri urbanizzazione 1° - commerciale	*(scomputo)*	125,00		134,70	0	0,0%	0	0	0	0	0	…	0	0	0
Oneri urbanizzazione 2° - commerciale		1.699,00		34,61	58.802	1,0%	29.401	29.401	0	0	0	…	0	0	58.802
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Contributi sul costo di costruzione	5%	1.699,00		1.622,23	137.808	2,2%	68.904	68.904	0	0	0	…	0	0	137.808
Totale					**3.075.914**	**49,9%**	**2.736.193**	**190.303**	**91.997**	**57.421**	**0**	**…**	**0**	**0**	**3.075.914**
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							0%	*20%*	*80%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Verde pubblico		330,00		60,00	19.800,00	0,3%	0	3960	15840	0	0	…	0	0	19.800
							50%	*30%*	*20%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Parcheggi interrati		832,00		374,03	311.192,96	5,0%	155.596	93.358	62.239	0	0	…	0	0	311.193
							20%	*30%*	*50%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Commerciale		1.699,00		1.622,23	2.756.169	44,7%	551.234	826.851	1.378.084	0	0	…	0	0	2.756.169
Totale					**3.087.162**	**50,1%**	**706.830**	**924.169**	**1.456.163**	**0**	**0**	**…**	**0**	**0**	**3.087.162**
TOTALE COSTI					**6.163.075,73**	**100%**	**3.443.023**	**1.114.471**	**1.548.160**	**57.421**	**0**	**…**	**0**	**0**	**6.163.076**

BILANCIO DI GESTIONE							Anno								
Ricavi da locazione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							10%	*40%*	*80%*	*100%*					
Commerciale		1.699,00		134,04	227.734	54,1%	22.773	91.094	182.187	227.734	231.150	…	330.430	335.386	7.808.241
Parcheggi interrati		1.635,00		123,60	202.086	48,0%	20.209	80.834	161.669	202.086	205.117	…	293.216	297.614	6.928.858
Vacancy (sfitto + inesigibilità)	-2%		sui ricavi		-8.596	-2,0%	-860	-3.439	-6.877	-8.596	-8.725	…	-12.473	-12.660	-294.742
Dismissione immobile	6%		saggio di sconto											10.338.999	10.338.999
Totale					**421.223,56**	**100%**	**42.122**	**168.489**	**336.979**	**421.224**	**427.542**	**…**	**611.172**	**10.959.339**	**24.781.356**
Costi operativi	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Spese per manutenzione ordinaria	8%		sui ricavi		-33.698	41,5%	-3.370	-13.479	-26.958	-33.698	-34.203	…	-48.894	-49.627	-1.155.389
Accantonamento per manutenzione straordinaria	1%		su costi costruzione		-33.341	41,1%				-33.341	-33.341	…			-833.534
Spese per manutenzione straordinaria															-833.534
Costi di gestione (*property management*)	2%		sui ricavi		-8.424	10,4%	-842	-3.370	-6.740	-8.424	-8.551	…	-12.223	-12.407	-288.847
Assicurazioni	0,03%		su valore catastale		-1.859	2,3%	-1.033	-1.367	-1.832	-1.859	-1.869	…	-2.099	-2.099	-57.904
Oneri fiscali	0,60%		su valore catastale		-37.179	45,8%	-20.658	-27.345	-36.634	-37.179	-37.379	…	-41.980	-41.980	-1.158.073
Totale					**-81.159,78**	**100%**	**-25.903**	**-45.561**	**-72.164**	**-81.160**	**-82.002**	**…**	**-105.196**	**-106.113**	**-3.493.746**
Inflazione annua		**1,50%**													
REDDITO NETTO					**340.063,78**		**16.219**	**122.928**	**264.815**	**340.064**	**345.540**	**…**	**505.976**	**10.853.227**	**21.287.610**

TABELLA B.1.2 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_1: flusso economico e flusso finanziario.

			Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	[···]	Anno 29	Anno 30	Totale
TOTALE COSTI		**6.163.075,73 €**	3.443.023	1.114.471	1.548.160	57.421	0	···	0	0	6.163.076
REDDITO NETTO		**340.063,78 €**	16.219	122.928	264.815	340.064	345.540	···	505.976	10.853.227	21.287.610
FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED			**-3.426.804**	**-991.543**	**-1.283.345**	**282.643**	**345.540**	**···**	**505.976**	**10.853.227**	**15.124.534**
	annuo	equival. di periodo									
saggio attualizzazione	**5,60%**	5,60%									
NPV		**€ 1.069.408,03**									
IRR (ann.)		**6,72%**									

CONDIZIONI FINANZIAMENTO		**Piano Ammortamento**	**Anno 1**	**Anno 2**	**Anno 3**	**Anno 4**	**Anno 5**	**[···]**	**Anno 29**	**Anno 30**	**Totale**
Leva (%)	50,0%										
Importo (€/000)	3.081.538	Erogazione Finanziamento	1.721.511	557.236	774.080	28.711	0	···	0	0	3.081.538
Durata mutuo (anni)	30										
EURIRS 20 anni (%)	1,25%	Rimborso Debito (quota capitale)	-62.362	-64.545	-66.804	-69.142	-71.562	···	-163.400	-169.119	-3.219.314
Spread (% / bps)	2,5%	Oneri Finanziari (quota interessi)	-112.676	-110.493	-108.234	-105.896	-103.476	···	-11.638	-5.919	-2.031.837
Tasso Annuale (%)	3,75%										
FLUSSO FINANZIARIO - CASH FLOW LEVERED			**-1.880.331**	**-609.346**	**-684.303**	**136.315**	**170.502**	**···**	**330.938**	**10.678.188**	**12.954.921**
	annuo	equival. di periodo									
saggio attualizzazione	**7,45%**	7,45%									
NPV		**€ 102.268,32**									
IRR (ann.)		**7,65%**									

TABELLA B.2.1 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_2: costi e ricavi.

COSTI DI INVESTIMENTO							Anno								
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							100%	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Terreno		1.699,00		1513,00	2.570.587,00	39,95%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
							20%	*30%*	*30%*	*20%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese tecniche	8%		su costi costruzione		266.141,74	4,13%	53.228,35	79.842,52	79.842,52	53.228,35	0,00	…	0,00	0,00	266.141,74
							29%	*29%*	*29%*	*13%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese generali intervento	2%		su costi costruzione		66.535,43	1,03%	19.295,28	19.295,28	19.295,28	8.649,61	0,00	…	0,00	0,00	66.535,43
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Oneri urbanizzazione 1° - commerciale	*(scomputo)*	125,00		134,70	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	0,00
Oneri urbanizzazione 2° - commerciale		1.699,00		34,61	58.802,39	0,91%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Contributi sul costo di costruzione	5%	1.699,00		1.763,26	149.788,94	2,33%	74.894,47	74.894,47	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	149.788,94
Totale					**3.111.855,50**	**48,33%**	**2.747.406,29**	**203.433,46**	**99.137,80**	**61.877,95**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.111.855,50**
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							0%	*20%*	*80%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Verde pubblico		330,00		60,00	19.800,00	0,31%	0,00	3.960,00	15.840,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
							50%	*30%*	*20%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Parcheggi interrati		832,00		374,03	311.192,96	4,83%	155.596,48	93.357,89	62.238,59	0,00	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
							20%	*30%*	*50%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Commerciale		1.699,00		1.763,26	2.995.778,74	46,53%	599.155,75	898.733,62	1.497.889,37	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.995.778,74
Totale					**3.326.771,70**	**51,67%**	**754.752,23**	**996.051,51**	**1.575.967,96**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.326.771,70**
TOTALE COSTI					**6.438.627,20**	**100%**	**3.502.158,51**	**1.199.484,97**	**1.675.105,76**	**61.877,95**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**6.438.627,20**

BILANCIO DI GESTIONE							Anno								
Ricavi da locazione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							10%	*40%*	*80%*	*100%*					
Commerciale		1.699,00		144,00	244.656,00	55,88%	24.465,60	97.862,40	195.724,80	244.656,00	248.325,84	…	354.982,49	360.307,22	8.388.441,61
Parcheggi interrati		1.635,00		123,60	202.086,00	46,16%	20.208,60	80.834,40	161.668,80	202.086,00	205.117,29	…	293.215,74	297.613,98	6.928.857,71
Vacancy (sfitto + inesigibilità)	-2%		sui ricavi		-8.934,84	-2,04%	-893,48	-3.573,94	-7.147,87	-8.934,84	-9.068,86	…	-12.963,96	-13.158,42	-306.345,99
Dismissione immobile	6%		saggio di sconto				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	10.746.046,31	10.746.046,31
Totale					**437.807,16**	**100%**	**43.780,72**	**175.122,86**	**350.245,73**	**437.807,16**	**444.374,27**	**…**	**635.234,26**	**11.390.809,09**	**25.756.999,65**
Costi operativi	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Spese per manutenzione ordinaria	8%		sui ricavi		-35.024,57	41,41%	-3.502,46	-14.009,83	-28.019,66	-35.024,57	-35.549,94	…	-50.818,74	-51.581,02	-1.200.876,27
Accantonamento per manutenzione straordinaria	1%		su costi costruzione		-35.929,13	42,48%	0,00	0,00	0,00	-35.929,13	-35.929,13	…	0,00	0,00	-898.228,36
Costi di gestione (*property management*)	2%		sui ricavi		-8.756,14	10,35%	-875,61	-3.502,46	-7.004,91	-8.756,14	-8.887,49	…	-12.704,69	-12.895,26	-300.219,07
Assicurazioni	0,03%		su valore catastale		-1.942,37	2,30%	-1.050,65	-1.410,49	-1.913,02	-1.942,37	-1.953,15	…	-2.201,06	-2.201,06	-60.569,07
Oneri fiscali	0,60%		su valore catastale		-38.847,34	45,93%	-21.012,95	-28.209,86	-38.260,50	-38.847,34	-39.062,91	…	-44.021,13	-44.021,13	-1.211.381,47
Totale annuo					**-84.570,42**	**100%**	**-26.441,67**	**-47.132,64**	**-75.198,09**	**-84.570,42**	**-85.453,49**	**…**	**-109.745,62**	**-110.698,47**	**-3.671.274,23**
Inflazione annua		**1,50%**													
REDDITO NETTO (annuo)					**353.236,74**		**17.339,05**	**127.990,22**	**275.047,63**	**353.236,74**	**358.920,78**	**…**	**525.488,65**	**11.280.110,62**	**22.085.725,42**

TABELLA B.2.2 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_2: flusso economico e flusso finanziario.

			Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	[···]	Anno 29	Anno 30	Totale
TOTALE COSTI		**6.438.627,20 €**	-3.502.158,51	-1.199.484,97	-1.675.105,76	-61.877,95	0,00	···	0,00	0,00	-6.438.627,20
REDDITO NETTO (annuo)		**353.236,74 €**	17.339,05	127.990,22	275.047,63	353.236,74	358.920,78	···	525.488,65	11.280.110,62	22.085.725,42
FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED			**-3.484.819,47**	**-1.071.494,75**	**-1.400.058,12**	**291.358,79**	**358.920,78**	**···**	**525.488,65**	**11.280.110,62**	**15.647.098,22**
	annuo	equival. di periodo									
saggio attualizzazione	**5,60%**	5,60%									
NPV		**1.072.727,54 €**									
IRR (ann.)		**6,68%**									

CONDIZIONI FINANZIAMENTO			**Piano Ammortamento**	**Anno 1**	**Anno 2**	**Anno 3**	**Anno 4**	**Anno 5**	**[···]**	**Anno 29**	**Anno 30**	**Totale**
Leva (%)	**50%**											
Importo (€/000)	**3.219.313,60 €**		Erogazione Finanziamento	1.751.079,26	599.742,49	837.552,88	30.938,98	0,00	···	0,00	0,00	3.219.313,60
Durata mutuo (anni)	30											
EURIRS 20 anni (%)	1,25%		Rimborso Debito (quota capitale)	-62.362,39	-64.545,07	-66.804,15	-69.142,30	-71.562,28	···	-163.400,19	-169.119,20	-3.219.313,60
Spread (% / bps)	2,50%		Oneri Finanziari (quota interessi)	-112.675,98	-110.493,29	-108.234,21	-105.896,07	-103.476,09	···	-11.638,18	-5.919,17	-2.031.837,42
Tasso Annuale (%)	3,75%											
FLUSSO FINANZIARIO - CASH FLOW LEVERED				**-1.908.778,58**	**-646.790,63**	**-737.543,61**	**147.259,40**	**183.882,42**	**···**	**350.450,28**	**11.105.072,26**	**13.615.260,80**
	annuo	equival. di periodo										
saggio attualizzazione	**7,45%**	7,45%										
NPV		**165.658,73 €**										
IRR (ann.)		**7,76%**										

TABELLA B.3.1 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_3: costi e ricavi.

COSTI DI INVESTIMENTO							Anno								
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							100%	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Terreno		1.699,00		1513,00	2.570.587,00	45,49%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
							20%	*30%*	*30%*	*20%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese tecniche	8%		su costi costruzione		211.361,90	3,74%	42.272,38	63.408,57	63.408,57	42.272,38	0,00	…	0,00	0,00	211.361,90
							29%	*29%*	*29%*	*13%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese generali intervento	2%		su costi costruzione		52.840,47	0,94%	15.323,74	15.323,74	15.323,74	6.869,26	0,00	…	0,00	0,00	52.840,47
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Oneri urbanizzazione 1° - commerciale	*(scomputo)*	125,00		134,70	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	0,00
Oneri urbanizzazione 2° - commerciale		1.699,00		34,61	58.802,39	1,04%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Contributi sul costo di costruzione	5%	1.699,00		1.360,23	115.551,54	2,04%	57.775,77	57.775,77	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	115.551,54
Totale					**3.009.143,30**	**53,25%**	**2.715.360,08**	**165.909,27**	**78.732,31**	**49.141,64**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.009.143,30**
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							0%	*20%*	*80%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Verde pubblico		330,00		60,00	19.800,00	0,35%	0,00	3.960,00	15.840,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
							50%	*30%*	*20%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Parcheggi interrati		832,00		374,03	311.192,96	5,51%	155.596,48	93.357,89	62.238,59	0,00	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
							20%	*30%*	*50%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Commerciale		1.699,00		1.360,23	2.311.030,77	40,89%	462.206,15	693.309,23	1.155.515,39	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.311.030,77
Totale					**2.642.023,73**	**46,75%**	**617.802,63**	**790.627,12**	**1.233.593,98**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.642.023,73**
TOTALE COSTI					**5.651.167,03**	**100%**	**3.333.162,72**	**956.536,39**	**1.312.326,28**	**49.141,64**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**5.651.167,03**

BILANCIO DI GESTIONE							Anno								
Ricavi da locazione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							10%	*40%*	*80%*	*100%*					
Commerciale		1.699,00		108,72	184.715,28	48,73%	18.471,53	73.886,11	147.772,22	184.715,28	187.486,01	…	268.011,78	272.031,95	6.333.273,42
Parcheggi interrati		1.635,00		123,60	202.086,00	53,31%	20.208,60	80.834,40	161.668,80	202.086,00	205.117,29	…	293.215,74	297.613,98	6.928.857,71
Vacancy (sfitto + inesigibilità)	-2%		sui ricavi		-7.736,03	-2,04%	-773,60	-3.094,41	-6.188,82	-7.736,03	-7.852,07	…	-11.224,55	-11.392,92	-265.242,62
Dismissione immobile	6%		saggio di sconto				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	9.304.216,91	9.304.216,91
Totale					**379.065,25**	**100%**	**37.906,53**	**151.626,10**	**303.252,20**	**379.065,25**	**384.751,23**	**…**	**550.002,97**	**9.862.469,92**	**22.301.105,41**
Costi operativi	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Spese per manutenzione ordinaria	8%		sui ricavi		-30.325,22	41,15%	-3.032,52	-12.130,09	-24.260,18	-30.325,22	-30.780,10	…	-44.000,24	-44.660,24	-1.039.751,08
Accantonamento per manutenzione straordinaria	1%		su costi costruzione		-28.533,86	38,72%	0,00	0,00	0,00	-28.533,86	-28.533,86	…	0,00	0,00	-713.346,41
Costi di gestione (*property management*)	2%		sui ricavi		-7.581,31	10,29%	-758,13	-3.032,52	-6.065,04	-7.581,31	-7.695,02	…	-11.000,06	-11.165,06	-259.937,77
Assicurazioni	0,03%		su valore catastale		-1.703,91	2,31%	-999,95	-1.286,91	-1.680,61	-1.703,91	-1.712,47	…	-1.909,35	-1.909,35	-52.951,98
Oneri fiscali	0,60%		su valore catastale		-34.078,21	46,25%	-19.998,98	-25.738,19	-33.612,15	-34.078,21	-34.249,41	…	-38.187,08	-38.187,08	-1.059.039,56
Totale annuo					**-73.688,64**	**100%**	**-24.789,58**	**-42.187,71**	**-65.617,98**	**-73.688,64**	**-74.437,00**	**…**	**-95.096,73**	**-95.921,74**	**-3.125.026,79**
Inflazione annua		**1,50%**													
REDDITO NETTO (annuo)					**305.376,61**		**13.116,95**	**109.438,39**	**237.634,22**	**305.376,61**	**310.314,23**	**…**	**454.906,24**	**9.766.548,18**	**19.176.078,62**

TABELLA B.3.2 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_3: flusso economico e flusso finanziario.

			Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	[···]	Anno 29	Anno 30	Totale
TOTALE COSTI	**5.651.167,03 €**		-3.333.162,72	-956.536,39	-1.312.326,28	-49.141,64	0,00	···	0,00	0,00	-5.651.167,03
REDDITO NETTO (annuo)	**305.376,61 €**		13.116,95	109.438,39	237.634,22	305.376,61	310.314,23	···	454.906,24	9.766.548,18	19.176.078,62
FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED			**-3.320.045,77**	**-847.098,00**	**-1.074.692,06**	**256.234,97**	**310.314,23**	**···**	**454.906,24**	**9.766.548,18**	**13.524.911,59**
	annuo	equival. di periodo									
saggio attualizzazione	**5,60%**	5,60%									
NPV		**858.396,95 €**									
IRR (ann.)		**6,58%**									

CONDIZIONI FINANZIAMENTO			**Piano Ammortamento**	**Anno 1**	**Anno 2**	**Anno 3**	**Anno 4**	**Anno 5**	**[···]**	**Anno 29**	**Anno 30**	**Totale**
Leva (%)	**50%**											
Importo (€/000)	**2.825.583,52 €**		Erogazione Finanziamento	1.666.581,36	478.268,20	656.163,14	24.570,82	0,00	···	0,00	0,00	2.825.583,52
Durata mutuo (anni)	30											
EURIRS 20 anni (%)	1,25%		Rimborso Debito (quota capitale)	-57.404,21	-59.413,36	-61.492,83	-63.645,08	-65.872,66	···	-150.408,91	-155.673,23	-2.963.359,25
Spread (% / bps)	2,50%		Oneri Finanziari (quota interessi)	-103.717,57	-101.708,43	-99.628,96	-97.476,71	-95.249,13	···	-10.712,87	-5.448,56	-1.870.294,45
Tasso Annuale (%)	3,75%											
FLUSSO FINANZIARIO - CASH FLOW LEVERED				**-1.814.586,20**	**-529.951,60**	**-579.650,71**	**119.684,00**	**149.192,44**	**···**	**293.784,45**	**9.605.426,40**	**11.516.841,45**
	annuo	equival. di periodo										
saggio attualizzazione	**7,45%**	7,45%										
NPV		**-2.341,49 €**										
IRR (ann.)		**7,45%**										

TABELLA B.4.1 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_4: costi e ricavi.

COSTI DI INVESTIMENTO							Anno								
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							100%	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Terreno		1.699,00		1513,00	2.570.587,00	43,37%	2.570.587,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.570.587,00
							20%	*30%*	*30%*	*20%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese tecniche	8%		su costi costruzione		230.530,70	3,89%	46.106,14	69.159,21	69.159,21	46.106,14	0,00	…	0,00	0,00	230.530,70
							29%	*29%*	*29%*	*13%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Spese generali intervento	2%		su costi costruzione		57.632,67	0,97%	16.713,48	16.713,48	16.713,48	7.492,25	0,00	…	0,00	0,00	57.632,67
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Oneri urbanizzazione 1° - commerciale	*(scomputo)*	125,00		134,70	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	0,00
Oneri urbanizzazione 2° - commerciale		1.699,00		34,61	58.802,39	0,99%	29.401,20	29.401,20	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	58.802,39
							50%	*50%*	*0%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Contributi sul costo di costruzione	5%	1.699,00		1.501,26	127.532,04	2,15%	63.766,02	63.766,02	0,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	127.532,04
Totale					**3.045.084,80**	**51,38%**	**2.726.573,83**	**179.039,90**	**85.872,68**	**53.598,39**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**3.045.084,80**
Costi di non costruzione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							0%	*20%*	*80%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Verde pubblico		330,00		60,00	19.800,00	0,33%	0,00	3.960,00	15.840,00	0,00	0,00	…	0,00	0,00	19.800,00
							50%	*30%*	*20%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Parcheggi interrati		832,00		374,03	311.192,96	5,25%	155.596,48	93.357,89	62.238,59	0,00	0,00	…	0,00	0,00	311.192,96
							20%	*30%*	*50%*	*0%*	*0%*		*0%*	*0%*	*100%*
Commerciale		1.699,00		1.501,26	2.550.640,74	43,04%	510.128,15	765.192,22	1.275.320,37	0,00	0,00	…	0,00	0,00	2.550.640,74
Totale					**2.881.633,70**	**48,62%**	**665.724,63**	**862.510,11**	**1.353.398,96**	**0,00**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**2.881.633,70**
TOTALE COSTI					**5.926.718,50**	**100%**	**3.392.298,46**	**1.041.550,01**	**1.439.271,65**	**53.598,39**	**0,00**	**…**	**0,00**	**0,00**	**5.926.718,50**

BILANCIO DI GESTIONE							Anno								
Ricavi da locazione	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
							10%	*40%*	*80%*	*100%*					
Commerciale		1.699,00		115,20	195.724,80	50,20%	19.572,48	78.289,92	156.579,84	195.724,80	198.660,67	…	283.985,99	288.245,78	6.710.753,29
Parcheggi interrati		1.635,00		123,60	202.086,00	51,84%	20.208,60	80.834,40	161.668,80	202.086,00	205.117,29	…	293.215,74	297.613,98	6.928.857,71
Vacancy (sfitto + inesigibilità)	-2%		sui ricavi		-7.956,22	-2,04%	-795,62	-3.182,49	-6.364,97	-7.956,22	-8.075,56	…	-11.544,03	-11.717,20	-272.792,22
Dismissione immobile	6%		saggio di sconto				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	9.569.042,71	9.569.042,71
Totale					**389.854,58**	**100%**	**38.985,46**	**155.941,83**	**311.883,67**	**389.854,58**	**395.702,40**	**…**	**565.657,70**	**10.143.185,28**	**22.935.861,50**
Costi operativi	n.	[m²]	quantità	costo parametrico	Totale annuo [€]	[%]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**[…]**	**29**	**30**	**Totale**
Spese per manutenzione ordinaria	8%		sui ricavi		-31.188,37	40,76%	-3.118,84	-12.475,35	-24.950,69	-31.188,37	-31.656,19	…	-45.252,62	-45.931,41	-1.069.345,50
Accantonamento per manutenzione straordinaria	1%		su costi costruzione		-31.121,64	40,67%	0,00	0,00	0,00	-31.121,64	-31.121,64	…	0,00	0,00	-778.041,10
Costi di gestione (*property management*)	2%		sui ricavi		-7.797,09	10,19%	-779,71	-3.118,84	-6.237,67	-7.797,09	-7.914,05	…	-11.313,15	-11.482,85	-267.336,38
Assicurazioni	0,03%		su valore catastale		-1.787,35	2,34%	-1.017,69	-1.330,15	-1.761,94	-1.787,35	-1.796,69	…	-2.011,43	-2.011,43	-55.617,38
Oneri fiscali	0,60%		su valore catastale		-35.747,04	46,72%	-20.353,79	-26.603,09	-35.238,72	-35.747,04	-35.933,77	…	-40.228,56	-40.228,56	-1.112.347,70
Totale annuo					**-76.519,85**	**100%**	**-25.270,03**	**-43.527,43**	**-68.189,02**	**-76.519,85**	**-77.300,70**	**…**	**-98.805,76**	**-99.654,24**	**-3.282.688,06**
Inflazione annua		**1,50%**													
REDDITO NETTO (annuo)					**313.334,73**		**13.715,43**	**112.414,40**	**243.694,64**	**313.334,73**	**318.401,70**	**…**	**466.851,94**	**10.043.531,04**	**19.653.173,44**

TABELLA B.4.2 – Analisi DCF relativa all'alternativa A_4: flusso economico e flusso finanziario.

			Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	[···]	Anno 29	Anno 30	Totale
TOTALE COSTI		**5.926.718,50 €**	-3.392.298,46	-1.041.550,01	-1.439.271,65	-53.598,39	0,00	···	0,00	0,00	-5.926.718,50
REDDITO NETTO (annuo)		**313.334,73 €**	13.715,43	112.414,40	243.694,64	313.334,73	318.401,70	···	466.851,94	10.043.531,04	19.653.173,44
FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED			**-3.378.583,02**	**-929.135,60**	**-1.195.577,00**	**259.736,35**	**318.401,70**	**···**	**466.851,94**	**10.043.531,04**	**13.726.454,94**
	annuo	equival. di periodo									
saggio attualizzazione	**5,60%**	5,60%									
NPV		**757.141,28 €**									
IRR (ann.)		**6,43%**									

CONDIZIONI FINANZIAMENTO			**Piano Ammortamento**	**Anno 1**	**Anno 2**	**Anno 3**	**Anno 4**	**Anno 5**	**[···]**	**Anno 29**	**Anno 30**	**Totale**
Leva (%)	**50%**											
Importo (€/000)	**2.963.359,25 €**		Erogazione Finanziamento	1.696.149,23	520.775,00	719.635,82	26.799,19	0,00	···	0,00	0,00	2.963.359,25
Durata mutuo (anni)	30											
EURIRS 20 anni (%)	1,25%		Rimborso Debito (quota capitale)	-57.404,21	-59.413,36	-61.492,83	-63.645,08	-65.872,66	···	-150.408,91	-155.673,23	-2.963.359,25
Spread (% / bps)	2,50%		Oneri Finanziari (quota interessi)	-103.717,57	-101.708,43	-99.628,96	-97.476,71	-95.249,13	···	-10.712,87	-5.448,56	-1.870.294,40
Tasso Annuale (%)	3,75%											
FLUSSO FINANZIARIO - CASH FLOW LEVERED				**-1.843.555,58**	**-569.482,39**	**-637.062,97**	**125.413,75**	**157.279,91**	**···**	**305.730,15**	**9.882.409,25**	**11.856.160,54**
	annuo	equival. di periodo										
saggio attualizzazione	**7,45%**	7,45%										
NPV		**-16.553,28 €**										
IRR (ann.)		**7,42%**										