

**POLITECNICO DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica



**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile**

Tesi di Laurea Magistrale

**VANTAGGI NELL'UTILIZZO DI STRUTTURE IN LEGNO PER IL  
RISPETTO DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI**

Candidato:

Alex Storoni

Relatore:

Prof. Fabio Manzone

Correlatore:

Prof.ssa Manuela Rebaudengo

Anno accademico 2018/2019

## **ABSTRACT**

La presente tesi ha come scopo quello di dimostrare come una struttura in pannelli in Xlam abbia requisiti di sostenibilità decisamente migliori rispetto ad un'analogia struttura realizzata con la tecnologia tradizionale del calcestruzzo armato.

Per dimostrare ciò si sono studiati nel dettaglio i Criteri Ambientali Minimi (CAM) che impattano sul mercato delle OOPP ormai da oltre 2 anni e si sono valutati gli aspetti relativi ai materiali utilizzati, alla diassassemblabilità e riciclabilità dell'opera a fine vita. Si è poi proceduto con il confronto dell'opera in cemento armato (rispettosa e non dei CAM) rispetto a quella in Xlam.

Partendo dalla fase decisionale di realizzazione di un'opera, sono stati valutati i vantaggi e gli svantaggi delle due diverse tecnologie costruttive sopra citate per poi optare per la struttura composta da pannelli Xlam da presentare a base di gara come progetto esecutivo.

A questo punto si sono studiati gli elementi migliorativi che l'amministrazione deve inserire nel disciplinare e quindi noto il progetto a base di gara rispettoso dei Criteri Ambientali Minimi cosa può proporre l'impresa per migliorarlo ulteriormente non solo da un punto di vista economico ma anche per ciò che riguarda le caratteristiche del materiale.



## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	1
2. I CRITERI AMBIENTALI MINIMI.....	3
2.1 L’Ottica Europea: GPP (Green Public Procurement).....	3
2.2 L’Ottica Nazionale: PAN GPP (Piano d’Azione Nazionale GPP).....	5
2.3 Generalità sui CAM.....	11
2.4 CAM Edilizia.....	12
2.5 Approfondimento sui materiali, sulla disassemblabilità e sulla riciclabilità a fine vita di un’opera.....	14
2.6 Aspetto sostenibile degli edifici e dei materiali da costruzione.....	17
3. CASO STUDIO: CALCESTRUZZO ARMATO E XLAM.....	21
3.1 Introduzione al caso studio.....	21
3.2 Struttura in cemento armato.....	22
3.2.1 La tecnologia tradizionale del cemento armato.....	22
3.2.2 L’utilizzo del calcestruzzo armato nel caso studio.....	24
3.3 Analisi sulla struttura in Xlam.....	28
3.3.1 La tecnologia costruttiva.....	28
3.3.2 L’utilizzo dei pannelli Xlam nel caso studio.....	32
3.3.3 Realizzazione del modello BIM.....	39
4. I CRITERI AMBIENTALI MINIMI NEL PROCESSO DI SCELTA DELL’ALTERNATIVA STRUTTURALE.....	43
4.1 Studio delle possibili tecnologie costruttive.....	43
4.2 Individuazione delle quantità dei materiali utilizzati.....	44
4.3 Analisi prezzo dei materiali da costruzione utilizzati.....	60
4.4 Disassemblaggio e riciclabilità dei materiali.....	62
4.5 Confronto tra le due tecnologie costruttive: vantaggi e svantaggi.....	66
4.5.1 Confronto tra i materiali da costruzione.....	67
4.5.2 Confronto per disassemblaggio e riciclabilità a fine vita.....	68
4.5.3 Confronto tra le analisi prezzo.....	70
5. L’AGGIUDICAZIONE DELL’APPALTO E IL TEMA DEI CAM.....	79
5.1 Il criterio dell’Offerta Economicamente Più Vantaggiosa (OEPV).....	80

5.2 I criteri premianti dei CAM.....	82
5.3 Applicazione dell'OEPV al caso studio .....	83
6. CONCLUSIONI .....	85
6.1 Spunti per sviluppi futuri.....	86
Bibliografia e sitografia .....	89
Ringraziamenti .....	95

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Logo Ecobel (Eco building energy living), fonte: <a href="http://www.diellemme.it">www.diellemme.it</a> .....	8
Figura 2 - Simbolo riciclabilità (Ciclo di Mobius), fonte: <a href="http://www.steemit.com">www.steemit.com</a> .....	9
Figura 3 - Logo EPD (Environmental Product Declaration), fonte: <a href="http://www.aicqna.it">www.aicqna.it</a> .....	9
Figura 4 - Logo PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification schemes), fonte: <a href="http://www.giuntiscuola.it">www.giuntiscuola.it</a> .....	10
Figura 5 – Scenari di riutilizzo dei materiali lungo il ciclo vita di un’opera (rielaborazione grafico dell’articolo: Building Disassembly and the lessons of industrial ecology, Philip Crowther).....	16
Figura 6 - Fasi del Life Cycle Assessment, fonte: <a href="http://www.gerhardhealer.com">www.gerhardhealer.com</a> .....	18
Figura 7 - Foto aerea inquadramento caso studio, fonte:Google Maps.....	21
Figura 8 - Nodo trave - pilastro - soletta in calcestruzzo armato, fonte: <a href="http://www.infoacciaio.com">www.infoacciaio.com</a> .....	23
Figura 9 - Carpenteria travi di fondazione in c.a. gettato in opera .....	25
Figura 10 - Carpenteria piano terra .....	25
Figura 11 - Carpenteria piano primo .....	26
Figura 12 - Carpenteria piano sottotetto .....	26
Figura 13 - Sezione significativa su picchetto "C" .....	27
Figura 14 - Sezione significativa su filo "2" .....	27
Figura 15 - Rappresentazione assonometrica pannello Xlam a strati incrociati, fonte: <a href="http://www.promolegno.com">www.promolegno.com</a> .....	29
Figura 16 - Sezione pannello Xlam a strati incrociati, fonte: <a href="http://www.promolegno.com">www.promolegno.com</a> .....	30
Figura 17 - Estruso del modello in Xlam (software "TimberTech Buildings") .....	33
Figura 18 - Vista dal basso del modello in Xlam per risaltare le connessioni (software "TimberTech Buildings") .....	34
Figura 19 - Pannello XLAM Dolomiti 158 mm (software "TimberTech Buildings").....	34
Figura 20 - Ancoraggio di base a trazione WHT 540 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings").....	35
Figura 21 - Ancoraggio di base a taglio TCN 240 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings").....	35
Figura 22 - Ancoraggio interpiano a trazione WHT 440 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings").....	36
Figura 23 - Ancoraggio interpiano a taglio TTN 240 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings").....	36
Figura 24 - Verifica soddisfatta (software "TimberTech Buildings").....	37
Figura 25 - Famiglia pannello Xlam sp. 158 mm (software: AutodeskRevit) .....	40
Figura 26 - Famiglia di una tipologia di connessione in acciaio (software: AutodeskRevit) ..	40
Figura 27 - Vista 3D Nord-Est dell’edificio (software: AutodeskRevit) .....	41

Figura 28 - Vista 3D Nord-Ovest dell'edificio (software: AutodeskRevit).....	41
Figura 29 - Vista 3D Sud-Est dell'edificio (software: AutodeskRevit).....	42
Figura 30 - Vista 3D Sud-Ovest dell'edificio (software: AutodeskRevit) .....	42
Figura 31 - Confronto tra le due tecnologie costruttive: calcestruzzo armato e Xlam, fonte: www.picswe.com.....	43
Figura 32 - Accatastamento di calcestruzzo armato proveniente da demolizione, fonte: www.bricl-a-brack.com .....	63
Figura 33 - Accatastamento legname proveniente da disassemblaggio fonte: www.alamy.com .....	65
Figura 34 - Legno VS Calcestruzzo. Chi vince la sfida della sostenibilità? Fonte: www.architetturaecosostenibile.it.....	70
Figura 35 - Confronto tra i prezzi del calcestruzzo forniti da aziende non conformi ai Criteri Ambientali Minimi.....	71
Figura 36 - Confronto tra i prezzi del calcestruzzo forniti da aziende conformi ai Criteri Ambientali Minimi.....	71
Figura 37 - Confronto barre d'acciaio per calcestruzzo B450C forniti dalle aziende.....	74
Figura 38 - Confronto pannelli Xlam sp.158 mm forniti dalle aziende con incidenza ferramenta .....	75
Figura 39 - Confronto finale analisi prezzo .....	76

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Calcolo m <sup>3</sup> di calcestruzzo al piano interrato.....	45
Tabella 2 - Calcolo m <sup>3</sup> di calcestruzzo al piano terra.....	45
Tabella 3 - Calcolo m <sup>3</sup> di calcestruzzo al piano primo.....	46
Tabella 4 - Calcolo m <sup>3</sup> di calcestruzzo al piano sottotetto .....	46
Tabella 5 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di fondazione 90x60 cm.....	47
Tabella 6 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x70 cm .....	47
Tabella 7 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x60 cm .....	47
Tabella 8 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x40 cm .....	48
Tabella 9 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x150 cm .....	48
Tabella 10 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x100 cm .....	48
Tabella 11 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di cordolo 25x50 cm.....	48
Tabella 12 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di cordolo 25x67 cm.....	49
Tabella 13 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di setto 25x100 cm.....	49
Tabella 14 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di soletta 25x100 cm.....	49
Tabella 15 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di soletta 20x100 cm.....	49
Tabella 16 - Calcolo kg di acciaio su tutte le fondazioni 90x60 cm .....	50
Tabella 17 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x70 cm.....	50
Tabella 18 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x60 cm.....	50
Tabella 19 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x40 cm.....	50
Tabella 20 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x150 cm.....	50
Tabella 21 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x100 cm.....	51
Tabella 22 - Calcolo kg di acciaio sui cordoli 25x50 cm .....	51
Tabella 23 - Calcolo kg di acciaio sui cordoli 25x67 cm .....	51
Tabella 24 - Calcolo kg di acciaio sui setti 25x100 cm.....	51
Tabella 25 - Calcolo kg di acciaio sulle solette 25x100 cm .....	51
Tabella 26 - Calcolo kg di acciaio sulle solette 20x100 cm .....	51
Tabella 27 - Calcolo m <sup>2</sup> e m <sup>3</sup> dei pannelli Xlam parete .....	52
Tabella 28 - Calcolo m <sup>2</sup> e m <sup>3</sup> dei pannelli Xlam solaio.....	58
Tabella 29 - Calcolo m <sup>3</sup> di legno lamellare .....	59
Tabella 30 - Prezzo del calcestruzzo non conforme ai CAM .....	60
Tabella 31 - Prezzo del calcestruzzo conforme ai CAM.....	60
Tabella 32 - Confronto prezzi pannelli Xlam sp.158 mm con incidenza ferramenta.....	62
Tabella 33 - Confronto finale analisi prezzo .....	75





## INDICE DEGLI ALLEGATI

### ALLEGATO A – Calcestruzzo

1. Listino prezzi – Betonrossi
2. Listino prezzi – B&B Cave srl
3. Listino prezzi – Holcim
4. Listino prezzi – Italcave 2000
5. Listino prezzi – Calcestruzzi S.P.A.
6. Listino prezzi – Unicalcestruzzi S.P.A.
7. Certificato EPD – Calcestruzzi S.P.A.
8. Certificato EPD – Unicalcestruzzi S.P.A.

### ALLEGATO B – Acciaio

1. Certificato ICMQ – Alfa Acciai
2. Certificato ICMQ – Ferralpi Group
3. Certificato ICMQ – Ferriera Valsabbia
4. Preventivo – Alfa Acciai

### ALLEGATO C – Legno

1. Preventivo – XlamDolomiti
2. Preventivo – XlamItalia

### ALLEGATO D – Tavole di progetto in calcestruzzo armato

1. Tav.1 – Pianta piano interrato
2. Tav.2 – Pianta piano terra
3. Tav.3 – Pianta piano primo
4. Tav.4 – Pianta piano sottotetto
5. Tav.5 – Sezioni
6. Tav.6 – Particolari

### ALLEGATO E – Tavole di progetto in Xlam

1. Tav.1 – Pianta piano terra – pannelli e connessioni
2. Tav.2 – Pianta piano primo – pannelli e connessioni
3. Tav.3 – Pianta piano sottotetto – pannelli e connessioni
4. Tav.4 – Pianta piano primo – solai, travi e pilastri
5. Tav.5 – Pianta piano sottotetto – solai, travi e pilastri
6. Tav.6 – Pianta piano copertura – solai, travi e pilastri



## 1. INTRODUZIONE

La presente tesi ha come scopo quello di dimostrare i vantaggi che possiede una struttura composta da pannelli Xlam nel rispetto dei Criteri Ambientali Minimi, alla base di un bando di gara pubblico.

Per raggiungere tale obiettivo è stato preso in esame un edificio esistente, realizzato con la tecnologia costruttiva tradizionale del calcestruzzo armato, che si è poi ipotizzato di progettare nuovamente con le medesime caratteristiche ma con l'utilizzo di una struttura portante in Xlam. Ciò ha permesso di effettuare un confronto tra le due differenti tecnologie costruttive sotto diversi aspetti, ma con particolare attenzione ai Criteri Ambientali Minimi.

Per valutare al meglio questo confronto, nel secondo capitolo, è stato studiato nel dettaglio il tema dei Criteri Ambientali Minimi (CAM), partendo dal livello europeo, con la valutazione del Green Public Procurement (GPP), spostandosi a livello nazionale, con il Piano d'Azione Nazionale GPP (PAN GPP), fino ad arrivare all'entrata in vigore del Decreto Legislativo 50/2016, corretto e modificato dal Decreto Legislativo 56/2017, che identifica l'obbligatorietà dei Criteri Ambientali Minimi per il 100% di qualsiasi valore d'asta per affidamento di lavori, servizi e forniture.

In particolare è stato approfondito il CAM Edilizia e sono stati valutati i tre aspetti fondamentali e obbligatori, che devono essere rispettati dalle nuove costruzioni a base di un bando di gara pubblico, quali:

- l'individuazione dei materiali utilizzati: per ogni singolo materiale che compone la struttura deve essere presente una percentuale di materiale proveniente da riciclo;
- l'aspetto della disassemblabilità dell'opera: si prevede che almeno il 50% in peso dei componenti edilizi dell'opera sia disassemblabile alla fine del suo ciclo di vita;
- l'aspetto della riciclabilità dell'opera: si prevede che almeno il 15% in peso sul totale dei materiali utilizzati nella costruzione siano riciclabili alla fine del loro ciclo di vita.

Procedendo con il terzo capitolo, è stato introdotto il caso studio preso in esame e valutato con le diverse tecnologie costruttive. Si tratta dell'ampliamento di una casa di riposo sita in Vinadio (CN). Oltre agli aspetti richiesti per tale ampliamento, sono state valutate nel dettaglio le componenti strutturali delle soluzioni costruttive prese in esame. Per la tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato, si è partiti con una piccola introduzione del materiale definendone le caratteristiche, per poi passare alle componenti strutturali dell'opera già realizzate e conformi alle nuove NTC2018. Per quanto riguarda, invece, la tecnologia costruttiva dell'Xlam, dopo una breve introduzione su come vengono fabbricati i pannelli e le loro caratteristiche, è seguita un'analisi di predimensionamento dei pannelli utilizzati attraverso uno specifico software di

calcolo strutturale per le costruzioni in legno. Infine sono state definite in quantità e geometria tutte le componenti strutturali dell'opera.

Si è passati poi, tramite il quarto capitolo, all'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi al caso studio. Sono stati valutati tre possibili scenari di confronto: la realizzazione della struttura portante in calcestruzzo armato non conforme ai Criteri Ambientali Minimi, una in calcestruzzo armato conforme a questi ed una struttura portante in pannelli Xlam. Di queste soluzioni ne sono stati valutati i tre aspetti predominanti dei Criteri Ambientali Minimi, quali la scelta dei materiali da costruzione, la valutazione della disassemblabilità e il riciclaggio dell'opera a fine vita. Inoltre, le diverse tecnologie costruttive sono state confrontate secondo un'analisi prezzo dei materiali per le sole componenti strutturali fornite in cantiere, senza considerare il prezzo delle lavorazioni e della manodopera utilizzata. Tramite quest'ultima analisi è stato possibile definire quanto una struttura sostenibile e innovativa pesi in termini di prezzo rispetto ad una classica progettazione di una struttura tradizionale. In conclusione, tramite questi studi e approfondimenti, si è valutata la struttura che meglio rispetta i Criteri Ambientali Minimi e quindi quale delle tecnologie potrà essere presa in considerazione come base del bando di gara, per la realizzazione dell'ampliamento, tramite una valutazione OEPV, che non miri al solo aspetto economico del progetto ma anche alla propria sostenibilità ambientale.

Cercando di prediligere questo criterio di aggiudicazione, si è poi simulato l'impatto della scelta (struttura in Xlam) sui possibili criteri premiali contenuti nel bando di gara, verificando che la riduzione dei punti assegnati per via del maggior costo dell'opera, viene pressoché compensata dai punti attribuibili valutando le nuove prestazioni tecniche, più rispondenti ai CAM. Certamente se la stazione appaltante assumesse un approccio molto green individuando molti criteri premiali riferibili ai CAM e incrementando il punteggio premiale previsto nel bando (nelle simulazioni pari al minimo indicati dalla legge), l'effetto di questa scelta controcorrente (ovvero contro le lavorazioni tradizionali) potrebbe di sicuro essere addirittura più favorevole per l'operatore economico.

La tesi si conclude con alcune riflessioni su eventuali sviluppi futuri con i quali è possibile ampliare il lavoro svolto. Tra questi, vi è la possibilità di usare tale studio come base di partenza per analizzare l'intero edificio includendo le componenti dell'involucro edilizio e gli elementi impiantistici in modo tale da poter sviluppare un'analisi completa da un punto di vista energetico. Inoltre della soluzione progettuale in pannelli Xlam, è stato elaborato un modello BIM (Building Information Modeling) da cui è possibile valutare come questa nuova metodologia si interfacci con il mondo dei Criteri Ambientali Minimi.

## 2. I CRITERI AMBIENTALI MINIMI

### 2.1 L’Ottica Europea: GPP (Green Public Procurement)

Il Green Public Procurement (GPP), o in italiano “*Acquisti Pubblici Verdi*”, è uno strumento volontario di politica ambientale per favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale attraverso la leva della domanda pubblica.<sup>1</sup>

La Commissione europea ha sempre avuto tra i suoi temi principali lo sviluppo sostenibile e la salvaguardia dell’ambiente già dagli anni’90, con l’introduzione di *green economy*. Precisamente nel 1996 in Europa si instaura un’idea di GPP con la pubblicazione del Libro Verde, dal titolo “*Gli appalti pubblici dell’Unione Europea*”, che si pone l’obiettivo di favorire l’impiego di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale. Si cercò di promuovere prodotti ecologici tra i quali i materiali riciclati o derivanti da materia di riciclo.

Con il passare del tempo la Commissione europea ha creduto sempre più valida la politica della *green economy* e di conseguenza l’attenzione verso il GPP è aumentata. Per questo motivo nel 2003 ha riconosciuto gli “*Acquisti Pubblici Verdi*” come uno strumento attuativo della “Politica Integrata dei Prodotti” (IPP) attraverso la comunicazione COM 2003/302<sup>2</sup>. Tale comunicato ha richiesto agli stati membri della Comunità europea di mettere in atto un Piano d’azione nazionale al fine di garantire una massima diffusione. Successivamente sono state introdotte la *Direttiva 17/2004/CE* e la *Direttiva 18/2004/CE* che hanno permesso di integrare considerazioni ambientali nelle procedure d’appalto.<sup>3</sup> In questo modo sono state normate sia la possibilità che la modalità con le quali la Pubblica Amministrazione può procedere correttamente a fronte di un acquisto ambientale sostenibile.

La Commissione europea ha aumentato la diffusione del GPP attraverso la Comunicazione europea n.397 del 16 Giugno 2008, stabilendo dei target quantitativi, indicatori e sistemi di monitoraggio validi per tutta l’Unione Europea. Si è posto come primo obiettivo quello del raggiungimento del 50% di acquisti “verdi” entro il 2010, che però non è stato raggiunto. Fino ad ora la Commissione europea ha continuato a proporre delle liste con criteri comuni a livello europeo (EU GPP criteria) riguardanti molti campi d’applicazione.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> CRITERI AMBIENTALI MINIMI IN EDILIZIA – Rebaudengo Manuela, Prizzon Francesco, Matta Marianna, 2017 (In stampa).

<sup>2</sup> COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO E AL PARLAMENTO EUROPEO - Politica integrata dei prodotti - Sviluppare il concetto di "ciclo di vita ambientale", 2003.

<sup>3</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/contesto-normativo-e-legislazione>.

<sup>4</sup> [http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu\\_gpp\\_criteria\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm).

Attraverso il nuovo Codice dei Contratti Pubblici, il GPP inteso dalla Commissione europea come: *“l’approccio in base al quale le Pubbliche Amministrazioni integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo d’acquisto, incrociando la diffusione di tecnologie ambientali e lo sviluppo di prodotti validi sotto il profilo ambientale, attraverso la ricerca e la scelta di soluzioni che hanno il minore impatto possibile sull’ambiente lungo il ciclo di vita”* è diventato uno strumento obbligatorio. Infatti con il D.Lgs. 50/2016, secondo l’articolo 34, le stazioni appaltanti sono obbligate ad applicare i Criteri Ambientali Minimi in tutte le procedure d’acquisto. Si fa particolare riferimento all’inserimento di questi all’interno della documentazione progettuale e di gara, almeno nelle “specifiche tecniche” e nell’applicazione dei criteri di aggiudicazione.<sup>5</sup> Questo riguarda in particolare gli obiettivi del PAN GPP che saranno trattati nel prossimo sottocapitolo.

Gli obiettivi del Green Public Procurement (GPP) si suddividono in tre categorie:

- Per la Pubblica Amministrazione:
  - Miglioramento dell’immagine della pubblica amministrazione;
  - Accrescimento delle competenze degli acquirenti pubblici;
  - Integrazione delle considerazioni ambientali nelle altre politiche dell’ente;
  - Razionalizzazione della spesa pubblica.
- Per le imprese:
  - Miglioramento dell’immagine della pubblica amministrazione;
  - Stimolo all’innovazione;
  - Tutela e miglioramento della competitività delle imprese.
- Per l’ambiente:
  - Riduzione degli impatti ambientali;
  - Diffusione di modelli di consumo e di acquisto sostenibili.<sup>6</sup>

Da questo si deduce che il GPP è un importante strumento che non riguarda solo le politiche ambientali ma anche la promozione dell’innovazione tecnologica. L’obiettivo principale di tale strumento è l’integrazione di tutte le considerazioni di carattere ambientale nel processo degli acquisti della Pubblica Amministrazione per deviare la scelta su dei beni, servizi e lavori che presentano un minore impatto ambientale garantendo, in questo modo, che gli acquisti siano sostenibili. Va evidenziato come questa integrazione tenga conto dell’intero ciclo vita del bene, del servizio o del lavoro in modo da prendere in considerazione non solo gli aspetti più pratici come la fase del progetto, della produzione, dell’uso e dello smaltimento, ma anche gli aspetti che riguardano i costi effettivi per la collettività. Attraverso questa impostazione si può definire il GPP come uno strumento di contenimento della spesa pubblica in quanto confronta il costo di produzione del bene considerando il suo intero ciclo di vita ed inoltre propone un modello

---

<sup>5</sup> Nuovo Codice dei Contratti Pubblici di lavori, servizi e forniture, art.34, 2017.

<sup>6</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/che-cosa-e-il-gpp>.

culturale di contenimento dei consumi.<sup>7</sup> Quindi, con l’attuazione del GPP, viene garantita una graduale diminuzione degli sprechi.

L’approccio basato sul ciclo vita (Life Cycle Assessment – LCA) è alla base della strategia europea Politica Integrata dei Prodotti (IPP) e della nuova idea di Economia Circolare. Attraverso la Comunicazione europea “*L’anello mancante – Piano d’azione dell’Unione europea per l’economia circolare*” COM 2015/614, si tende a favorire una transizione verso un’economia circolare, cioè verso un sistema economico pianificato per riutilizzare i materiali in successivi cicli produttivi, riducendo al massimo gli sprechi. Quindi, tale sistema, punta a proporre una serie di prodotti e strategie con l’obiettivo di favorire una progettazione sostenibile, stimolando la domanda e l’offerta e integrando le considerazioni economiche con quelle ambientali.

Seguendo quest’ottica di Economia Circolare, si va ad intervenire su tre diversi campi; quali:

- Processo di produzione: dove la materie prime rinnovabili e non, continueranno a svolgere un ruolo importante in questo processo;
- Fase del consumo: dove la durata di un prodotto può essere estesa riutilizzandolo o riparandolo, evitando così gli sprechi;
- Gestione dei rifiuti: dove i rifiuti hanno un impatto diretto sulle quantità e sulla qualità delle materie.

Infine va precisato che la politica attuata dal GPP, nel riguardo degli acquisti pubblici deve tenere conto di tre punti cardine a livello sostenibile, ovvero quello ambientale, quello economico e quello sociale, includendo all’interno del criterio sociale anche ciò che riguarda la sicurezza e la salute per poi integrarli con i criteri etici.<sup>8</sup>

## **2.2 L’Ottica Nazionale: PAN GPP (Piano d’Azione Nazionale GPP)**

Grazie alla definizione in maniera dettagliata degli Acquisti pubblici verdi, la Commissione europea ha definito così una serie di linee guida con le quali invita gli stati membri all’integrazione di tale strumento anche a livello nazionale.

In Italia, attraverso il Decreto Ministeriale del Ministero dell’Ambiente dell’11 Aprile 2008, è stato adottato il “Piano d’Azione per la sostenibilità dei consumi nel settore della Pubblica

---

<sup>7</sup> MATTM, Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della P.A. ovvero PAN GPP, Il GPP come strumento della Politica Integrata di Prodotto.

<sup>8</sup> MATTM, Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della P.A. ovvero PAN GPP, Il GPP come strumento della Politica Integrata di Prodotto.



Amministrazione – PAN GPP”. Questo decreto ha l’obbligo di diffondere agli enti pubblici di livello nazionale tutti i principi del GPP già in vigore a livello europeo, per ottenere un miglioramento ambientale, economico ed industriale.

*“Il PAN GPP rappresenta, a livello nazionale, uno strumento utile a facilitare la diffusione e l’applicazione di attività tecniche e metodologiche sul tema degli appalti/acquisti verdi (GPP), definendo gli obiettivi nazionali e identificando le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritario per gli impatti ambientali e i volumi di spesa, su cui il Ministero dell’Ambiente deve definire i Criteri Ambientali Minimi (CAM), che rappresentano il punto di riferimento a livello nazionale in materia di acquisti pubblici verdi e che devono essere utilizzati dalle stazioni appaltanti per consentire al Piano d’Azione sul GPP di massimizzare i benefici ambientali economici.”*<sup>9</sup>

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) devono essere definiti dal Ministero dell’Ambiente, facendo riferimento alle linee guida fornite dalla Commissione europea, tenendo conto anche delle caratteristiche del sistema produttivo nazionale. Vengono poi approvati con successivi decreti in base alla categoria.

Con il Decreto Ministeriale del 11 Aprile 2008 e successivi aggiornamenti, è stato previsto anche un Comitato di Gestione e un Tavolo di confronto per l’attuazione del PAN GPP. Il Comitato di gestione, è composto da tre esponenti del Ministero (il Ministero dell’Ambiente, il Ministero dello sviluppo Economico e il Ministero dell’Economia e delle Finanze), da esponenti dell’ISPRA (Istituto Superiore per la Ricerca Ambiente), dalla CONSIP (Centrale Acquisti della Pubblica Amministrazione Italiana), da esponenti dell’ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile) e da esponenti dell’ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale). Il Tavolo di confronto è costituito da MATTM, CONSIP. L’attività di gestione si suddivide in quattro punti fondamentali, quali:

- Individuare i vari requisiti ambientali da introdurre nelle procedure di acquisto di beni, servizi e lavori per la Pubblica Amministrazione;
- Programmare e realizzare le varie attività relative alla formazione e alla comunicazione dei Criteri Ambientali Minimi;
- Attuare, un monitoraggio tra tutte le figure per verificare l’effettiva efficacia del Piano d’Azione Nazionale;
- Controllare che tutti gli obiettivi preposti siano stati rispettati secondo un’ottica ecosostenibile.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> CRITERI AMBIENTALI MINIMI IN EDILIZIA – Rebaudengo Manuela, Prizzon Francesco, Matta Marianna, 2017 (In stampa).

<sup>10</sup> CRITERI AMBIENTALI MINIMI IN EDILIZIA – Rebaudengo Manuela, Prizzon Francesco, Matta Marianna, 2017 (In stampa).

Il PAN GPP, sulla base dei Criteri Ambientali Minimi, deve svolgere il compito di aiutare la Pubblica Amministrazione alla adeguata applicazione per gli Acquisti Sostenibili tramite particolari strumenti realizzati nel rispetto delle caratteristiche ambientali nazionali.

Per quanto riguarda gli Acquisti Verdi, coloro che vogliono acquistare un bene, servizio, lavoro della Pubblica Amministrazione, devono avvalersi di determinate certificazioni riconosciute sia a carattere europeo che nazionale, garanzia di un'adeguata qualità in termini di sostenibilità.

Si possono distinguere diversi strumenti per la valutazione del rispetto dei requisiti ambientali, vi sono:

- Il Regolamento europeo EMAS (Eco Management an Audit Scheme)

A questo strumento possono aderire volontariamente le organizzazioni interessate, al fine di valutare e migliorare le proprie prestazioni ambientali e si assume la responsabilità di fornire pubblicamente informazioni sulla propria gestione della sostenibilità ambientale. EMAS è redatto a livello europeo e si pone come obiettivo quello di promuovere un continuo miglioramento dei requisiti ambientali e l'abbassamento dell'inquinamento. In Italia attraverso il Decreto Ministeriale n. 413 del 2 Settembre 1995, sono stati istituiti diversi soggetti che svolgono la funzione di accreditamento al Regolamento EMAS; tali figure sono rappresentate dal comitato per l'Ecobel e l'Ecoaudit.<sup>11</sup>

- Certificazioni ISO 14001

Questo strumento è una normativa internazionale e può essere utilizzato per la certificazione, per un'autodichiarazione oppure per definire delle linee guida al fine di predisporre e implementare lo sviluppo di un Sistema di Gestione dell'Ambiente (SGA), valido per qualsiasi tipologia di organizzazione interessata. In tale modo qualsiasi organizzazione può definire una propria strategia ambientale.

- Sistemi di etichettatura ambientale<sup>12</sup>

Definiti anche sistemi di etichettatura ecologica o marchio ecologico, i sistemi di etichettatura ambientale vengono utilizzati per indicare informazioni sul prodotto relative alla sua performance ambientale rispetto all'intero ciclo vita. Le organizzazioni interessate, tramite questo strumento, sono in grado di fornire una maggiore garanzia delle qualità ambientali dei prodotti rispetto alle direttive concorrenti. Tra questi sistemi di etichettatura si possono distinguere due categorie ben definite: quelle *obbligatorie* (riguardano principalmente gli elettrodomestici, i prodotti tossici e gli imballaggi) e quelle *volontarie* (dove le varie aziende possono decidere se aderire o meno ai diversi requisiti di sostenibilità ecologica).

<sup>11</sup> <http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/emas>.

<sup>12</sup> <http://www.an.camcom.gov.it/sites/default/files/GuidaEtichette%20Ecologiche.pdf>.

Le etichettature obbligatorie vincolano le relative aziende produttrici a fare riferimento alle prescrizioni legislative inerenti a questi obblighi. Sono applicate principalmente in tre settori di prodotti specifici, quali:

- Elettrodomestici: con l'introduzione della Direttiva europea 92/75/CEE rendendo obbligatorio l'indicazione del consumo d'energia;
- Prodotti tossici: dove le indicazioni obbligatorie che devono essere riportate riguardano la salute e la sicurezza;
- Imballaggi: dove le indicazioni obbligatorie riguardano il fine vita del prodotto come lo smaltimento e il recupero.

Invece, secondo la norma ISO 14020, le etichettature di natura volontaria si possono classificare in tre diverse tipologie:

- Etichette di Tipo I – norma ISO 14024

Queste tipologie di etichettature, sono assegnate da organismi di parte terza, pubblici o privati. Tali soggetti devono valutare la conformità del prodotto e definire delle soglie di prestazioni minime da rispettare secondo criteri di natura scientifica, che sono basati sulle fasi dell'intero ciclo vita (*Life Cycle Assessment – LCA*). Tra le etichette maggiormente diffuse si riporta l'Ecobel (*Eco building energy living*). È un marchio dell'Unione Europea di qualità ecologica che ha come obiettivo quello di premiare tutti quei prodotti e servizi che puntano ad essere i migliori sotto l'aspetto ambientale. Questa etichettatura attesta che il prodotto o servizio ha un ridotto impatto ambientale lungo tutto il suo ciclo di vita.



Figura 1 - Logo Ecobel (*Eco building energy living*), fonte: [www.diellemme.it](http://www.diellemme.it)

- Etichette di Tipo II – norma ISO 14021

Queste tipologie di etichettature sono redatte dai fabbricanti, importatori, distributori, rivenditori, che riportano un'autodichiarazione, un simbolo o un grafico di valenza ambientale.

Quindi non vi è nessuna certificazione ufficiale derivante da una figura competente di terza parte. Questo però non deve pregiudicare la valenza di tale etichettatura, in quanto la norma stabilisce che devono essere riportate delle indicazioni non ingannevoli, verificate, specifiche e chiare. Per fare un esempio, uno dei simboli più ricorrenti è il ciclo di Mobius che identifica un prodotto riciclabile, senza indicarne la percentuale di riciclabilità.

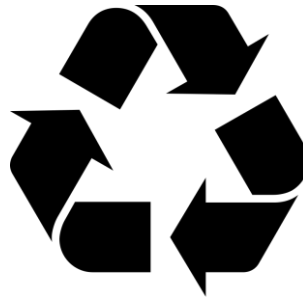


Figura 2 - Simbolo riciclabilità (Ciclo di Mobius), fonte: [www.steemit.com](http://www.steemit.com)

#### - Etichette di Tipo III – norma ISO 14025

Queste tipologie di etichettature, contengono al loro interno delle informazioni oggettive e verificate riguardanti gli aspetti, le prestazioni e gli impatti ambientali del prodotto e servizio lungo tutto il ciclo vita mediante uno studio LCA (*Life Cycle Assessment*). Inoltre prevede una verifica seguita da un'eventuale convalida da parte di figure accreditate di terze parti, rendendo così più attendibili le informazioni riportate. Tra le etichette più comuni possiamo trovare le EPD (*Environmental Product Declaration*) oppure le PEFC (*Programme for Endorsement of Forest Certification schemes*). Le EPD vengono analizzate e verificate da enti terzi indipendenti che ne garantiscono la veridicità delle dichiarazioni e successivamente vengono rese pubbliche su appositi siti come, ad esempio, EPDIItaly che ne garantisce una visibilità nazionale. Mentre le PEFC sono lo schema di certificazione forestale più diffuso a livello nazionale e mondiale. Certificano che la materia prima legnosa utilizzata per prodotti e servizi derivi da foreste gestite in maniera sostenibile. Consente di fornire garanzie di trasparenza sull'origine del legname e sull'eticità di gestione dei boschi.



Figura 3 - Logo EPD (Environmental Product Declaration), fonte: [www.aicqna.it](http://www.aicqna.it)



Figura 4 - Logo PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification schemes), fonte: [www.giuntiscuola.it](http://www.giuntiscuola.it)

Il PAN GPP è passato da strumento volontaristico a strumento obbligatorio in Italia con l'introduzione del D.Lgs.163/2006 art.68bis, dove è stato esplicitato: “[...] è fatto obbligo, per le pubbliche amministrazioni, ivi incluse le centrali di competenza, di contribuire al conseguimento dei relativi obiettivi ambientali, [...] attraverso l’inserimento, nella documentazione di gara pertinente, almeno delle specifiche tecniche e delle clausole contrattuali contenute nei sottoelencati decreti, relativi alle seguenti categorie di forniture e affidamenti: [...]”<sup>13</sup>. Quindi tale documento apponeva l’obbligo di rispettare determinati criteri ambientali solo per alcune specifiche categorie, mentre per quanto riguarda i lavori, lo stesso articolo precisava al comma 4: “[...] l’obbligo si applica anche alle forniture di beni e servizi e agli affidamenti di lavoro oggetto di ulteriori decreti ministeriali di adozione dei relativi criteri ambientali minimi”<sup>14</sup>.

Successivamente, con l’introduzione del nuovo Codice dei contratti pubblici di lavori, servizi e forniture, D.Lgs.50/2016, corretto con il D.Lgs.56/2017, i principi di obbligatorietà sono stati spostati nell’articolo 34 dove viene esplicitato: “[...] I criteri ambientali minimi, in particolare i criteri premianti, sono tenuti in considerazione anche ai fini della stesura dei documenti di gara per l’applicazione del criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa [...]. L’obbligo si applica per gli affidamenti di qualunque importo, relativamente alle categorie di forniture, di servizi e lavori oggetto dei criteri ambientali minimi nell’ambito del Piano d’azione.”<sup>15</sup>. Come si può notare, i Criteri Ambientali Minimi sono obbligatori al 100% per l’intero valore delle gare d’appalto e devono essere previsti dalla Pubblica Amministrazione.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> D.Lgs. 163/2006 art.68bis.

<sup>14</sup> D.Lgs. 163/2006 art.68bis, comma 4.

<sup>15</sup> D.Lgs.50/2016 art.34.

<sup>16</sup> CRITERI AMBIENTALI MINIMI IN EDILIZIA – Rebaudengo Manuela, Prizzon Francesco, Matta Marianna, 2017 (In stampa).

## 2.3 Generalità sui CAM

Con la L.221/2015 e con il Nuovo Codice dei Contratti pubblici di lavori, servizi e forniture D.lgs. 50/2016, corretto e modificato dal D.lgs. 56/2017, viene disciplinata l'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) negli appalti pubblici di lavori, servizi e forniture introducendo nuove regole ambientali.

Come esplicitato nel D.Lgs.50/2016 e D.Lgs.56/2017: “[...] le stazioni appaltanti devono prevedere per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la gestione dei cantieri, tutte le specifiche tecniche e le clausole contrattuali definite nel suddetto documento per il 100% del valore d'asta. Tale documento è da tenere in considerazione anche ai fini della stesura dei documenti di gara per l'applicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa. [...]”<sup>17</sup>.

I Criteri Ambientali Minimi non sono altro che indicazioni tecniche, definite per aiutare la Pubblica Amministrazione ad effettuare acquisti, individuando prodotti, servizi e opere che producano il minor impatto ambientale. Inoltre sono definiti “minimi” nel senso che richiedono un livello che dovrebbe essere in grado di garantire nel contempo un'adeguata risposta da parte del mercato e rispondere agli obiettivi ambientali che la Pubblica Amministrazione intende raggiungere tramite gli appalti pubblici.

L'introduzione dei Criteri Ambientali Minimi a livello nazionale, è stata favorita da uno strumento di natura ambientale europeo chiamato Green Public Procurement o “*Acquisti Verdi*”. A questo sono seguite delle indagini di mercato nazionali a seconda del settore di riferimento, tenendo anche presenti i Criteri Ambientali Minimi proposti dalla Comunità Europea durante il “GPP Toolkit & GPP Criteria” del 2008.

Per l'elaborazione dei Criteri Ambientali Minimi sono stati istituiti dei gruppi di lavoro composti da figure specializzate nei diversi settori di applicazione, e dai rappresentanti dei produttori, che sono quindi incaricati di redigere un documento. Tale documento viene poi sottoposto ad una valutazione da parte di esperti economici nel settore e, a seguito di una valutazione positiva, viene approvato dal Comitato di gestione del GPP. Poi risulta infine compito dei Ministeri interessati la stesura del criterio.

Il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare ha definito undici categorie merceologiche per suddividere l'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi:

- Arredi (mobili per ufficio, arredi scolastici, arredi per sale archiviazione e sale lettura);

---

<sup>17</sup> D.Lgs.50/2016; D.Lgs.56/2017.

- Edilizia (costruzioni e ristrutturazioni di edifici con particolare attenzione ai materiali da costruzione, costruzione e manutenzione delle strade);
- Gestione dei rifiuti urbani e assimilati;
- Servizi urbani e al territorio (gestione del verde pubblico, arredo urbano);
- Servizi energetici (illuminazione, riscaldamento e raffrescamento degli edifici, illuminazione pubblica e segnaletica luminosa);
- Elettronica (attrezzature elettriche ed elettroniche d'ufficio e relativi materiali di consumo, apparati di telecomunicazione);
- Prodotti tessili e calzature;
- Cancelleria (carta e materiali di consumo);
- Ristorazione (servizio mensa e forniture alimenti);
- Servizi di gestione degli edifici (servizi di pulizia e materiali per l'igiene);
- Trasporti (mezzi e servizi di trasporto, sistemi di mobilità sostenibile).<sup>18</sup>

I Criteri Ambientali Minimi sono in continuo sviluppo ed in questo momento si può fare una distinzione tra quelli che sono già in vigore e quelli che sono in via di definizione. Tra i criteri approvati e già in vigore vi sono: arredi per interni, arredo urbano, ausili per l'incontinenza, calzature da lavoro e accessori in pelle, carta, cartucce per stampanti, apparecchiature informatiche da ufficio, edilizia, illuminazione pubblica (forniture e progettazione), illuminazione pubblica (servizio), illuminazione, riscaldamento/raffrescamento per edifici, pulizia per edifici, rifiuti urbani, ristorazione collettiva, sanificazione strutture sanitarie, tessili, veicoli, verde pubblico.<sup>19</sup> Mentre tra i criteri non ancora approvati e quindi in via di definizione vi sono: servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione e manutenzione di strade, revisione per la forniture di stampanti, revisione per il servizio di ristorazione.<sup>20</sup>

## 2.4 CAM Edilizia

L'Italia con l'entrata in vigore del nuovo Codice dei contratti pubblici di lavori, servizi e forniture, D.Lgs.50/2016 e successiva correzione D.Lgs.56/2017 è stata la prima nazione appartenente all'Unione Europea ad adottare obbligatoriamente i Criteri Ambientali Minimi.

I Criteri Ambientali Minimi riguardano diciassette categorie, come già esplicitato nel sottocapitolo "Generalità sui CAM"; una delle più significative tra queste è quella inerente all'edilizia.

---

<sup>18</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#3>.

<sup>19</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#1>.

<sup>20</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#2>.

I “CAM Edilizia” sono entrati in vigore tramite il Decreto Ministeriale 24/12/2015, successivamente aggiornato dal Decreto Ministeriale 11/10/2017 che riporta: “[...] *Criteri ambientali minimi per l’affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici*” – *Aggiornamento dell’allegato II: “Criteri ambientali minimi per l’affidamento dei servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione”*<sup>21</sup>. La struttura di entrambi i documenti è molto simile tranne che per qualche approfondimento in più che si può trovare con l’ultimo aggiornamento. Con l’entrata di questi documenti, ancora oggi, sta seguendo un periodo dove le stazioni appaltanti si stanno aggiornando per valutare ed elaborare l’evoluzione della normativa, aumentare le proprie conoscenze in ambito ecologico e di ciclo vita e apprendere dalle varie esperienze che andranno a intraprendere. Dopodiché, saranno facilitate alla valutazione, nei propri interventi, dei criteri di sostenibilità e di riduzione dell’impatto ambientale nell’ottica di ciclo vita. I criteri di sostenibilità a cui devono far riferimento, riguardano i livelli dell’intera progettazione sono: il livello preliminare, il livello definitivo e il livello esecutivo.

In entrambi i Decreti Ministeriali, i Criteri Ambientali Minimi riferiti all’edilizia (capitolo 2 dell’Allegato II) sono stati scomposti in sette criteri e per ognuno di essi sono stati definiti i requisiti che devono essere rispettati e le relative modalità di verifica per la partecipazione alla gara. Di seguito sono riportati i vari caratteri in cui sono scomposti i CAM:

- Selezione dei candidati (par.2.1): questo criterio è facoltativo per il bando di gara e identifica le relative indicazioni per valutare i candidati con l’obiettivo di ottenere un appalto il più ecosostenibile possibile.
- Specifiche tecniche per gruppi di edifici (par.2.2): questo criterio è obbligatorio per il bando di gara e identifica gli aspetti relativi alla sostenibilità territoriale nell’inserimento dell’intervento all’interno del contesto urbano.
- Specifiche tecniche dell’edificio (par.2.3): questo criterio è obbligatorio per il bando di gara e identifica gli aspetti di prestazione energetica e qualità ambientale interna nel rispetto dell’impatto sull’ecosistema.
- Specifiche tecniche dei componenti edilizi (par.2.4): questo criterio è obbligatorio per il bando di gara e identifica la qualità ambientale interna e la qualità dei materiali usati per la costruzione che devono contenere al loro interno una determinata percentuale di materiale riciclato al fine di aumentare il recupero a fine vita.
- Specifiche tecniche del cantiere (par.2.5): questo criterio è obbligatorio per il bando di gara e identifica la sostenibilità ecologica del cantiere che deve adottare per tutta la sua durata.

---

<sup>21</sup> D.M. 24/12/2015; D.M.11/10/2017.



- Criteri di aggiudicazione, criteri premianti (par.2.6): questo criterio è facoltativo per il bando di gara e identifica tutti i campi prestazionali del progetto dove l'appaltatore potrà agire al fine di aumentare il suo punteggio per vincere la gara.
- Condizioni di esecuzione, clausole contrattuali (par.2.7): questo criterio è obbligatorio per il bando di gara e identifica gli aspetti più rilevanti da definire con la compilazione del contratto.

Attraverso l'elaborazione di questo documento, quindi, sarà più facile predisporre l'attuazione dei CAM Edilizia all'interno di un'opera pubblica per la Pubblica Amministrazione in quanto è obbligatoria al 100% per qualsiasi valore d'asta.

Per soddisfare al meglio i CAM Edilizia, il progettista, prima di pensare alla realizzazione di un nuovo edificio, deve considerare il recupero del patrimonio edilizio esistente o il riutilizzo di aree dismesse che possono essere riqualificate. Inoltre è necessario prevedere: un sistema di risparmio delle acque, un sistema di illuminazione naturale e un sistema di utilizzo di fonti rinnovabili.

## **2.5 Approfondimento sui materiali, sulla disassemblabilità e sulla riciclabilità a fine vita di un'opera**

Avendo introdotto e esplicitato tutti gli aspetti dei Criteri Ambientali Minimi riguardanti l'edilizia, ora saranno approfonditi gli aspetti che interesseranno il caso studio, in particolare l'aspetto della riciclabilità dei materiali utilizzati e l'aspetto di disassemblabilità a fine vita dell'opera.

In prima parte è stato riportato quello che indica il Decreto Ministeriale 24/12/2015, aggiornato dal Decreto Ministeriale 11/10/2017, nell'Allegato II per i materiali utilizzati nel caso studio:

- Calcestruzzi confezionati in cantiere, preconfezionati e prefabbricati:  
*“I calcestruzzi usati per il progetto devono essere prodotti con un contenuto minimo di materiale riciclato (secco) di almeno il 5% sul peso del prodotto (inteso come somma delle singole componenti). Al fine del calcolo la massa di materiale utilizzato va considerata la quantità che rimane effettivamente nel prodotto finale.”*
- Ghisa, ferro, acciaio:  
*“Per gli usi strutturali deve essere utilizzato acciaio prodotto con un contenuto minimo di materiale riciclato come di seguito specificato in base al tipo di processo industriale:  
Acciaio da forno elettrico: contenuto minimo di materiale riciclato pari al 70%.  
Acciaio da ciclo integrale: contenuto minimo di materiale riciclato pari al 10%.”*

- Sostenibilità e legalità del legno:

*“Per materiali e i prodotti costituiti da legno o in materiale a base di legno, o contenenti elementi di origine legnosa, il materiale deve provenire da boschi/foreste gestiti in maniera sostenibile/responsabile o essere costituito da legno riciclato o un insieme dei due.”<sup>22</sup>*

In secondo luogo è stata approfondita la parte inerente alla disassemblabilità e alla riciclabilità dell’opera relativa al suo fine vita.

In ambito normativo a livello Nazionale viene definita nel Decreto Ministeriale 24/12/2015, aggiornato dal Decreto Ministeriale 11/10/2017, nell’Allegato II al punto 2.4.1.1, il concetto di Disassemblabilità: *“Almeno il 50% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, [...] deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali.”<sup>23</sup>* Viene anche esplicitato, al punto 2.4.1.2 il concetto di Materia recuperata o riciclata: *“[...] deve essere pari ad almeno il 15% in peso valutato sul totale di tutti i materiali utilizzati. Di tale percentuale, almeno il 5% deve essere costituita da materiali non strutturali. [...]”<sup>24</sup>*. Mentre a livello mondiale se ne parla dai primi anni ’90 attraverso il metodi di progettazione DFD (*Design for Disassembly* – Progettare per la disassemblabilità) che però hanno cominciato a diffondersi di recente con l’introduzione dell’analisi del ciclo vita (Life Cycle Assessment – LCA).

Per attuare al meglio la progettazione DFD è bene seguire delle linee guida particolari al fine di incrementare i tassi di riutilizzo e riciclaggio dell’opera. Come primo punto, si deve cercare di ridurre, in fase di progettazione, l’utilizzo di materiali differenti. Seguendo questa logica, la fase di smontaggio sarà più veloce in quanto ci saranno meno tipologie di materiali da trattare; in più si semplificherà il trasporto verso gli impianti di riciclaggio. In secondo, si deve evitare l’utilizzo di materiali tossici e pericolosi, poiché lo smontaggio deve essere effettuato in loco e quindi il contenimento e il trattamento dei rifiuti pericolosi diventa difficile. Successivamente tutti i materiali utilizzati per la progettazione e la costruzione dell’edificio dovranno essere compatibili con le pratiche di riciclaggio standard. Quindi dovrà essere fornita un’identificazione del materiale nel rispetto dei requisiti ambientali, come abbiamo già visto, aumentando notevolmente la fiducia nel suo riutilizzo. Inoltre in fase di progettazione sarà bene preferire l’utilizzo di collegamenti meccanici contro i collegamenti chimici o inscindibili, in quanto i collegamenti attraverso l’utilizzo di bulloni, viti e chiodi consentiranno un più facile disassemblaggio per il recupero del componente. Infine sarà bene utilizzare un design modulare

<sup>22</sup> D.M. 24/12/2015; D.M.11/10/2017.

<sup>23</sup> D.M. 24/12/2015; D.M.11/10/2017.

<sup>24</sup> D.M. 24/12/2015; D.M.11/10/2017.

per la realizzazione dell'opera. Attraverso questa tipologia di progettazione, oltre a facilitare la fase di smontaggio, si migliorerà notevolmente la possibilità di trovare un nuovo utilizzo del componente, ad esempio in un sistema di edifici compatibile.<sup>25</sup>

Quindi è buona regola tenere conto della fase di smontaggio fin dalle primissime fasi di progettazione, considerando l'effettivo disassemblaggio del prodotto nei suoi materiali e componenti di base. Attuando questo tipo di progettazione, si facilita la fase di fine vita di un'opera in quanto può essere smontata più facilmente, consentendo il maggior quantitativo di recupero di materiale per un suo riutilizzo e/o riciclaggio futuro.

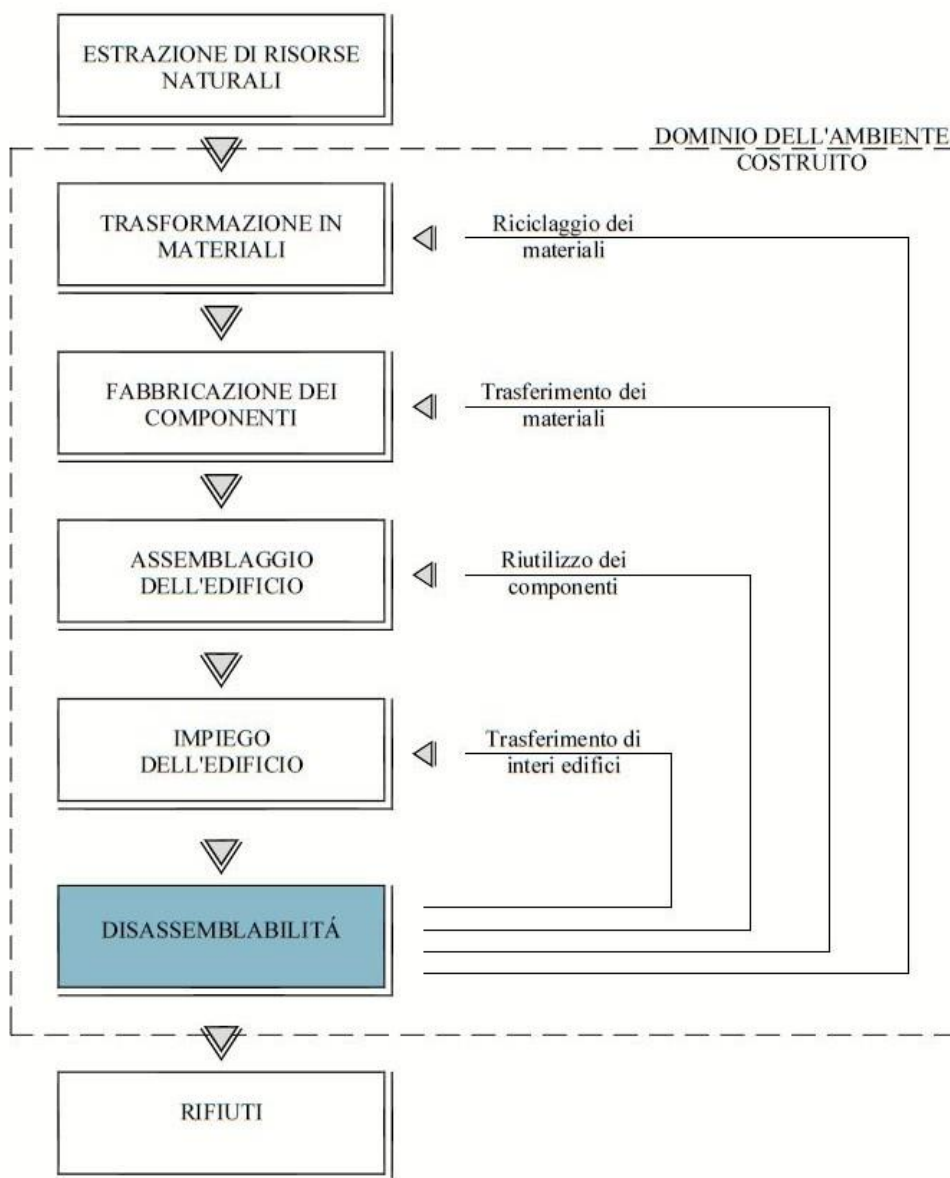


Figura 5 – Scenari di riutilizzo dei materiali lungo il ciclo vita di un'opera (rielaborazione grafico dell'articolo: *Building Disassembly and the lessons of industrial ecology*, Philip Crowther)

<sup>25</sup> Building Disassembly and the lessons of industrial Ecology – Philip Crowther, Luglio 2000.

Si possono trovare quattro possibili riutilizzi dei materiali arrivati alla loro fine vita:

- Riciclaggio per creare nuovi materiali: comporta l'utilizzo di materiali usati come sostituti delle risorse naturali nella produzione di nuovi materiali. Un esempio comune è la frantumazione del calcestruzzo arrivato a fine vita utilizzato per la realizzazione di aggregati;
- Trattamento per rielaborare nuovi componenti: riguarda quei materiali o prodotti che ancora possono essere considerati in "buone" condizioni e che vengono quindi riutilizzati per la fabbricazione di nuovi componenti edili. Un esempio è la rilaminazione del legname, dove le parti in legno dell'edificio possono essere riutilizzate e/o rielaborate in parti più piccole;
- Riutilizzo in nuovi edifici: include gli elementi di rivestimento o elementi interni "standard" di una costruzione. Un esempio è il riutilizzo dei pannelli intercambiabili esterni di un edificio i quali possono essere facilmente spostati da una parte all'altra dello stesso edificio o in un edificio con le medesime caratteristiche;
- Trasferimento e riuso di interi edifici: questo si verifica solo in quei casi in cui la costruzione dell'edificio deve essere per un periodo di tempo limitato. Per questo motivo è bene prevedere un sistema prefabbricato per poi facilitare lo smontaggio e la ricollocazione della stessa costruzione in un altro ambiente.<sup>26</sup>

## 2.6 Aspetto sostenibile degli edifici e dei materiali da costruzione

Un altro aspetto da non trascurare, per l'analisi del caso studio, è relativo alla sostenibilità ambientale degli edifici e dei materiali da costruzioni con cui sono composti.

Partendo da una visione europea, il settore delle costruzioni è uno degli ambiti che incide maggiormente nell'ambiente in cui viviamo. Infatti, in Europa gli edifici sono responsabili, direttamente o indirettamente, di circa il 40% del consumo di energia primaria complessiva.<sup>27</sup> L'edilizia è l'artefice di un elevato consumo di energia: a partire dalla fase del consumo di energia utilizzata per il reperimento delle materie prime, per passare all'energia utilizzata nella fase di costruzione e utilizzo delle opere e infine all'energia utilizzata per la demolizione delle opere arrivate alla fine del loro ciclo vita. Inoltre, all'energia utilizzata in questi processi, vanno sommate anche le emissioni di gas serra ed i rifiuti da costruzione e demolizione che nella maggior parte dei casi sono di difficile smaltimento.<sup>28</sup>

<sup>26</sup> <https://eprints.qut.edu.au/2848/1/Crowther-CIB-QUT-2000.PDF>.

<sup>27</sup> [http://www.cce.to.it/sites/default/files/files/news/Edilizia\\_Sostenibile\\_Ance-Piemonte.pdf](http://www.cce.to.it/sites/default/files/files/news/Edilizia_Sostenibile_Ance-Piemonte.pdf).

<sup>28</sup> <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/misurare-sostenibilita-ambientale-edificio-modelli-certificazione-353.html>.

Progettare secondo i criteri di sostenibilità, consente di abbassare drasticamente gli impatti negativi delle opere da costruzione, attraverso delle scelte che vadano a migliorare le pratiche progettuali, costruttive e gestionali. L’obiettivo è realizzare edifici sostenibili, inteso come processo, dove tutti i soggetti coinvolti si impegnano nel rispetto dell’ambiente a lungo termine, in particolare verso la protezione ambientale. Così vengono garantite l’efficienza delle risorse utilizzate durante il processo e la riduzione degli impatti ambientali.

Il metodo di valutazione del ciclo vita LCA (*Life Cycle Assessment*) è uno degli strumenti più utilizzati per l’individuazione dei materiali più idonei nell’edilizia sostenibile. Grazie a questo strumento, si riesce a confrontare l’impatto ambientale dei diversi materiali da costruzione e indirizzare la progettazione verso l’utilizzo dei materiali a basso consumo di energia. Tale metodo considera l’intero ciclo vita, dalla produzione dei materiali fino al loro fine vita e la gestione dello smaltimento dei rifiuti. L’applicazione del LCA deve essere presa in considerazione già all’inizio del processo di progettazione dove si prendono le decisioni più importanti che influenzeranno la prestazione energetica dell’edificio durante il suo intero ciclo vita.



Figura 6 - Fasi del Life Cycle Assessment, fonte: [www.gerhardhealer.com](http://www.gerhardhealer.com)

La procedura LCA è standardizzata a livello internazionale dalle norme ISO 14040 e 14044 e considera tutto l’intero ciclo vita. Nel 2012, inoltre, è stata introdotta in Europa la norma EN 15804 “Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazione ambientali di prodotto – Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto”. Tale norma esplicita in maniera dettagliata le fasi del

ciclo vita e tutti i parametri presi in considerazione ed infine l'impatto ambientale complessivo.<sup>29</sup> Questi sono stati quindi schematizzati in diversi moduli, quali:

- Moduli da A1 a A3, fase di produzione:  
Si fa riferimento all'estrazione dei materiali, al loro trasporto e all'energia impiegata per la loro produzione;
- Moduli da A4 a A5, fase di costruzione:  
Si fa riferimento alle fasi di costruzione e assemblaggio dell'opera e al trasporto della manodopera lavorativa;
- Moduli da B1 a B7, fase d'uso:  
Si fa riferimento all'intera fase d'uso dell'opera, considerando gli aspetti inerenti al proprio mantenimento, eventuali riparazioni o ristrutturazioni per garantire l'uso dell'opera per cui è stata progettata;
- Moduli da C1 a C4, fase di fine vita:  
Si fa riferimento a tutte quelle operazioni a cui è soggetta l'opera arrivata a fine vita, quali interventi di disassemblaggio e demolizione, trasporto dei materiali, trattamento e smaltimento dei rifiuti;
- Modulo D, fase dopo il fine vita degli edifici:  
Si fa riferimento alle azioni di riuso dell'opera o al recupero dei materiali che la compongono.

Inoltre è necessario considerare, nella fase di progettazione, l'integrazione tra i Criteri Ambientali Minimi e i criteri strutturali. Questi due devono infatti collaborare sia per la scelta dei materiali sia per il sistema costruttivo da dover adottare per ridurre l'impatto ambientale della futura costruzione.

Pertanto, nel concetto di edilizia sostenibile, i materiali utilizzati sono molto importanti, poiché la trasformazione delle materie prime in prodotti per l'edilizia produce un grande consumo di energia con l'introduzione di rifiuti e inquinanti nell'ambiente derivanti, ad esempio, dal processo di produzione o dal trasporto.

---

<sup>29</sup> "La dichiarazione ambientale di prodotto (EPD): uno strumento di trasparenza per il mercato, FOCUS, il GIORNALE dell'INGEGNERE, Marzo 2016





### 3. CASO STUDIO: CALCESTRUZZO ARMATO E XLAM

#### 3.1 Introduzione al caso studio

Il caso studio in esame riguarda l'ampliamento di un edificio adibito a casa di riposo situata in Via Vittorio Emanuele III, 6 a Vinadio (CN).

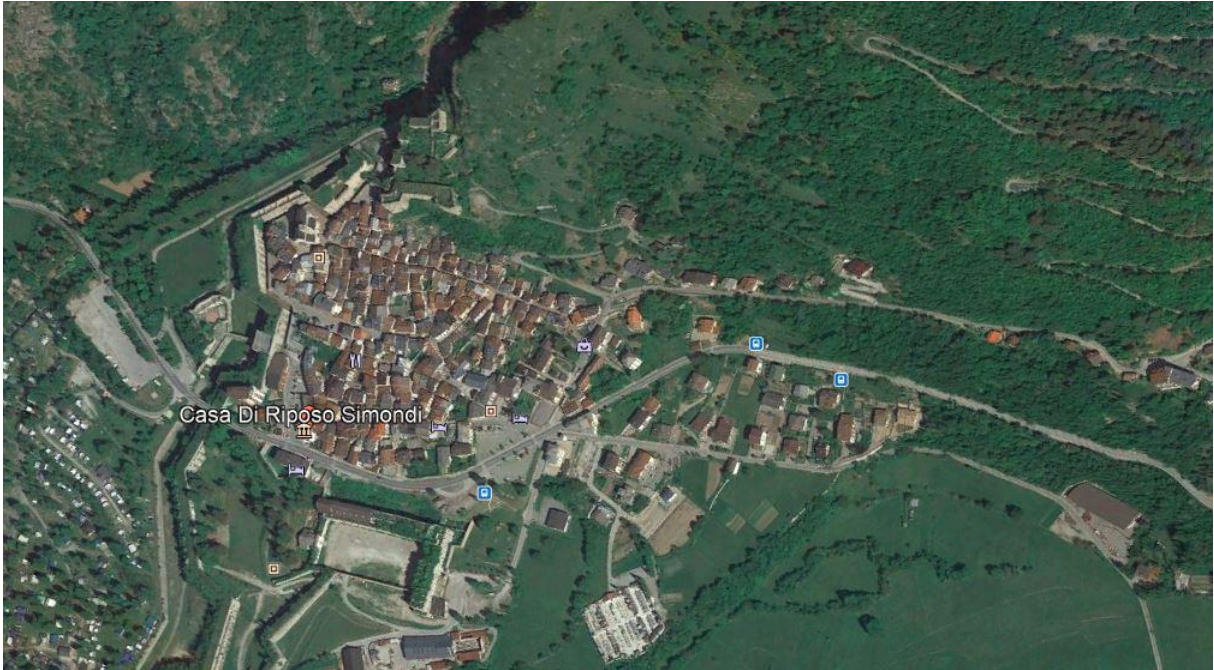


Figura 7 - Foto aerea inquadramento caso studio, fonte: Google Maps

Tale ampliamento deve ospitare al suo interno quindici persone. La struttura ha una base rettangolare e si sviluppa su tre livelli. Il primo livello è il piano interrato (quota 3,27 m), il secondo corrisponde al piano terra (quota 6,42 m) ed il terzo livello è il piano primo (quota 9,57 m). L'interpiano tra il seminterrato e il piano terra deve essere di 2,70 m, mentre quello tra il piano terra e il piano primo e tra il piano primo e il piano sottotetto deve essere di 2,90 m per un'altezza totale dell'edificio fuori terra di 9,50 m. Al suo interno deve essere prevista un'area comune di minimo 50 m<sup>2</sup>, una cucina di 12 m<sup>2</sup>, undici camere da letto singole di minimo 15 m<sup>2</sup> e due camere da letto doppie di minimo 20 m<sup>2</sup>. Tutte le camere devono avere al loro interno un bagno privato.

La distribuzione interna prevede al piano terra la zona comune, la cucina, quattro camere da letto singole e una camera da letto doppia, mentre il primo piano prevede sette camere da letto singole e una camera da letto doppia, tutte dotate di balcone. Non devono essere previste scale



interne in quanto essendo un'opera di ampliamento, al piano primo si accede tramite la parte di edificio già esistente. Però devono essere installate delle scale esterne al fine di garantire le vie di fuga in casi di pericolo. Inoltre è previsto un piano sottotetto non praticabile e la copertura è di tipo classico a doppia falda.

Nella presente tesi sono state prese in esame le sole componenti strutturali dell'edificio che verranno descritte e analizzate nei seguenti capitoli.

## **3.2 Struttura in cemento armato**

### **3.2.1 La tecnologia tradizionale del cemento armato**

Il calcestruzzo è un materiale lapideo ottenuto dalla miscelazione omogenea di legante, sabbia, ghiaia o altro aggregato grossolano, acqua e aggiunta di aditivi a seconda delle caratteristiche chimico fisiche che si vogliono ottenere. Le sue caratteristiche principali sono la facilità di modellazione, la resistenza al fuoco e agli agenti atmosferici. Inoltre la maggior parte dei materiali da cui è composto, è reperibile a basso costo e poco distante dai cantieri di costruzione. Tale elemento possiede anche un'elevata resistenza a compressione ma una pessima resistenza agli sforzi di trazione. Per questo motivo, nella seconda metà del diciannovesimo secolo, fu introdotto l'uso dell'acciaio, un materiale con un'alta resistenza a trazione, per rinforzare il calcestruzzo.

La combinazione dei due materiali genera il calcestruzzo armato, che combina i vantaggi dei due singoli materiali. In particolare: l'ottima resistenza a compressione e la facilità di modellazione del calcestruzzo con l'elevata resistenza a trazione, duttilità e tenacità dell'acciaio. La coesione tra i materiali è resa possibile in quanto tra il calcestruzzo e l'acciaio, c'è una perfetta aderenza che consente di trasferire le tensioni in modo omogeneo e i coefficienti di dilatazione termica dei due materiali sono sostanzialmente identici. Per aumentare l'aderenza tra l'acciaio e il calcestruzzo, al posto delle barre d'acciaio lisce, sono state introdotte delle barre d'acciaio con delle nervature o intaccature sulla superficie e vengono chiamate barre ad aderenza migliorata.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> <http://www.wikitecnica.com/cemento-armato/>.



Figura 8 - Nodo trave - pilastro - soletta in calcestruzzo armato, fonte: [www.infoacciaio.com](http://www.infoacciaio.com)

Il calcestruzzo armato ha un vasto campo di applicazione, sia per le opere edili che per le opere civili, realizzandone la struttura portante.

Può essere realizzato gettato in opera oppure in stabilimento. Nel primo caso si ha il vantaggio di evitare problemi nei nodi strutturali e di avere un minore costo; però questo procedimento presenta un minor controllo sulla qualità del calcestruzzo. Al contrario, in stabilimento sono prodotti elementi prefabbricati, come travi e pilastri, con un maggior controllo sulla qualità dei materiali utilizzati e si ha dunque una riduzione degli scarti; questa risulta però una produzione decisamente più costosa. Per questo motivo si tende a privilegiarla nei casi dove le condizioni climatiche in cantiere sono proibitive.

Il calcestruzzo armato gode di notevoli vantaggi, in quanto ha un'ottima adattabilità alle diverse forme, le spese dei materiali sono fortemente ridotte, gode della possibilità di utilizzo di manodopera non specializzata, ha un'elevata resistenza al fuoco e un buon comportamento strutturale. Però vi sono anche degli svantaggi che non possono essere trascurati, come l'elevato peso del materiale, i lunghi tempi di esecuzione delle opere, l'alto coefficiente di trasmissione termica e la scarsa possibilità di recupero dei materiali arrivati alla fine del loro ciclo vita.

Nel prossimo capitolo viene definita la struttura dell'ampliamento oggetto del caso studio tramite l'utilizzo della tecnologia costruttiva tradizionale del calcestruzzo armato.

### 3.2.2 L'utilizzo del calcestruzzo armato nel caso studio

Per quanto riguarda la struttura in calcestruzzo armato relativa all'ampliamento del caso studio, è stato analizzato il progetto precedentemente realizzato.

Tale progetto prevede la realizzazione dell'edificio con la tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato gettato in opera, attraverso uno schema a travi e pilastri. Il predimensionamento è stato effettuato tenendo conto delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Il calcestruzzo utilizzato per la costruzione dell'opera è di due tipologie, a seconda delle opere strutturali che si devono realizzare. Per le opere di sostegno controterra e per le strutture di fondazione è stato previsto un calcestruzzo C25/30 con una classe di esposizione ambientale XC2 (la condizione meno aggressiva, per strutture poste in ambienti permanentemente bagnati) e una classe di consistenza S4 (fluida). Invece, per le strutture in elevazione e gli orizzontamenti, è stato previsto un calcestruzzo C28/35 con classe di esposizione ambientale XC3 (condizione di aggressione media, per strutture poste in ambienti moderatamente umidi) e una classe di consistenza S4 (fluida).

Per quanto riguarda l'acciaio strutturale per le barre d'armatura affogate all'interno del calcestruzzo è stato previsto l'acciaio ad aderenza migliorata B450C (laminato a caldo).

Le strutture portanti della nuova costruzione sono così costituite:

- Strutture controterra: muri in cemento armato gettati in opera presente nella porzione sud ed ovest del fabbricato ed elevantisi per tutta l'altezza del piano seminterrato (o piano terra), spessore di 37/25 cm. Prevede uno strato di magrone al di sotto delle strutture di fondazione per uno spessore di 10 cm;
- Fondazioni: travi rovesce in cemento armato gettato in opera aventi sezione rettangolare 90x60 cm. Prevede uno strato di magrone al di sotto delle strutture di fondazione per uno spessore di 10 cm;
- Strutture in elevazione verticali resistenti sia alle forze gravitazionali sia alle forze orizzontali: pilastri in cemento armato gettato in opera, di dimensioni 25x70 cm, 25x60 cm e 25x40 cm. Sono altresì presenti dei setti aventi dimensioni 225x25 cm e 150x25 cm al piano primo che si riducono al piano secondo con sezioni come i pilastri di cui sopra;
- Strutture in elevazione orizzontali: solette piene in cemento armato gettato in opera con spessori pari a 25 cm (piani tipo) e 20 cm (balconi);
- Struttura di copertura: struttura portante in legno (puntoni 25x25 cm passo 100 cm) poggiante su struttura in cemento armato (travi perimetrali di bordo, travi di copertura poggianti su pilastri del terzo piano);

- Sottofondazione in calcestruzzo magro gettato a conci in trincea in corrispondenza della trave di fondazione a ridosso del fabbricato esistente.<sup>31</sup>

Di seguito sono stati riportati gli elaborati esecutivi della carpenteria per avere una migliore visione dell'opera.

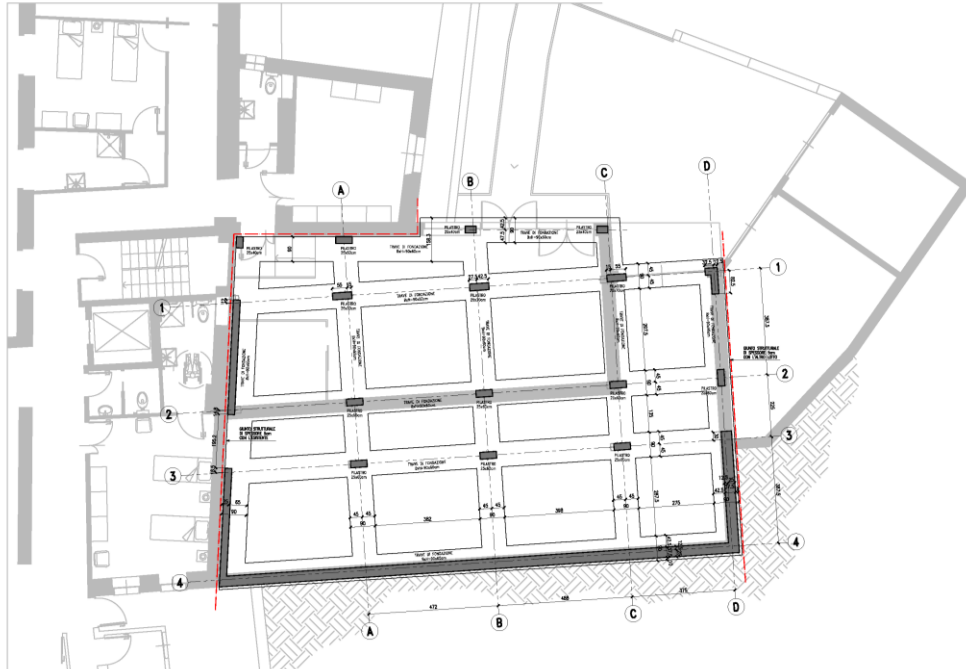


Figura 9 - Carpenteria travi di fondazione in c.a. gettato in opera

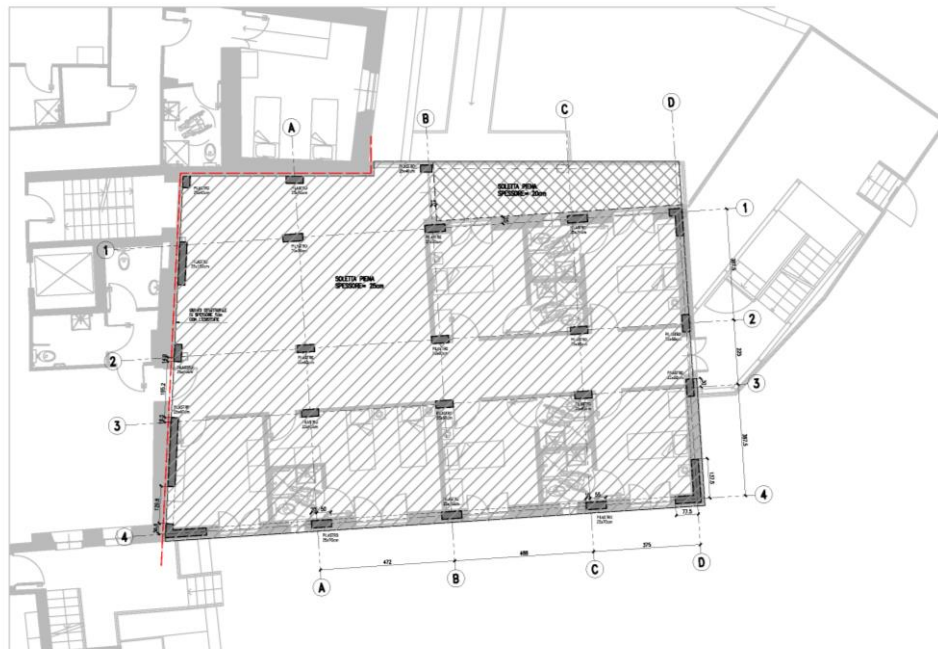


Figura 10 - Carpenteria piano terra

<sup>31</sup> Relazione Tecnico-Strutturale fornita dal Prof. Fabio Manzone

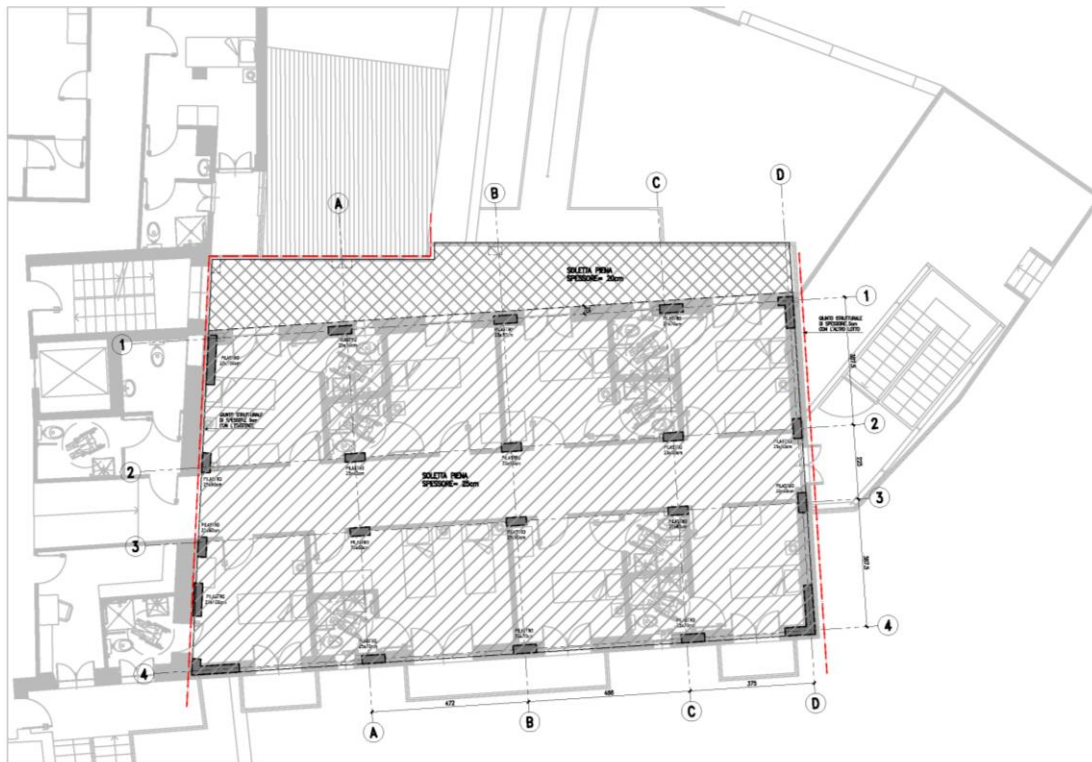


Figura 11 - Carpenteria piano primo

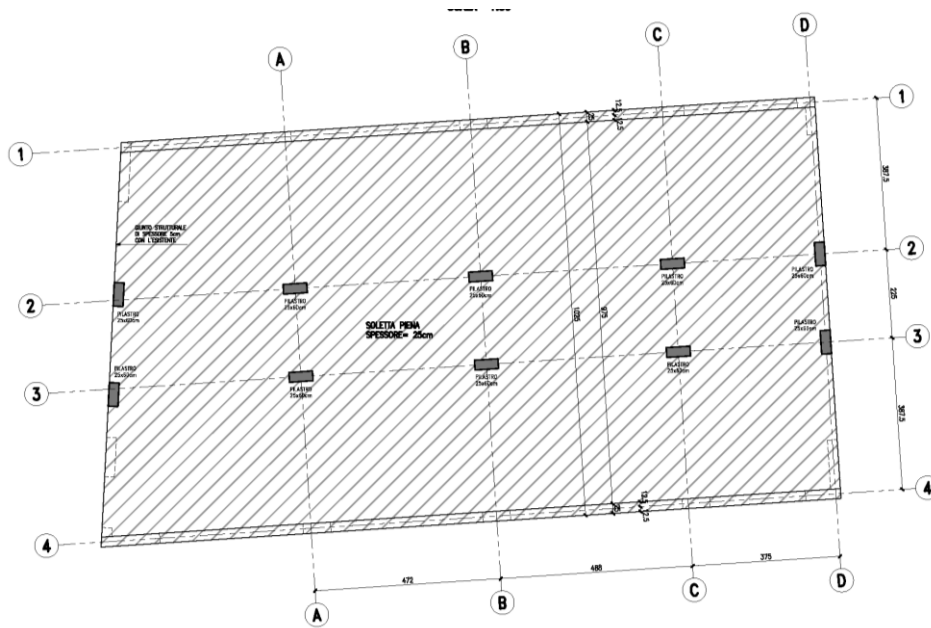


Figura 12 - Carpenteria piano sottotetto

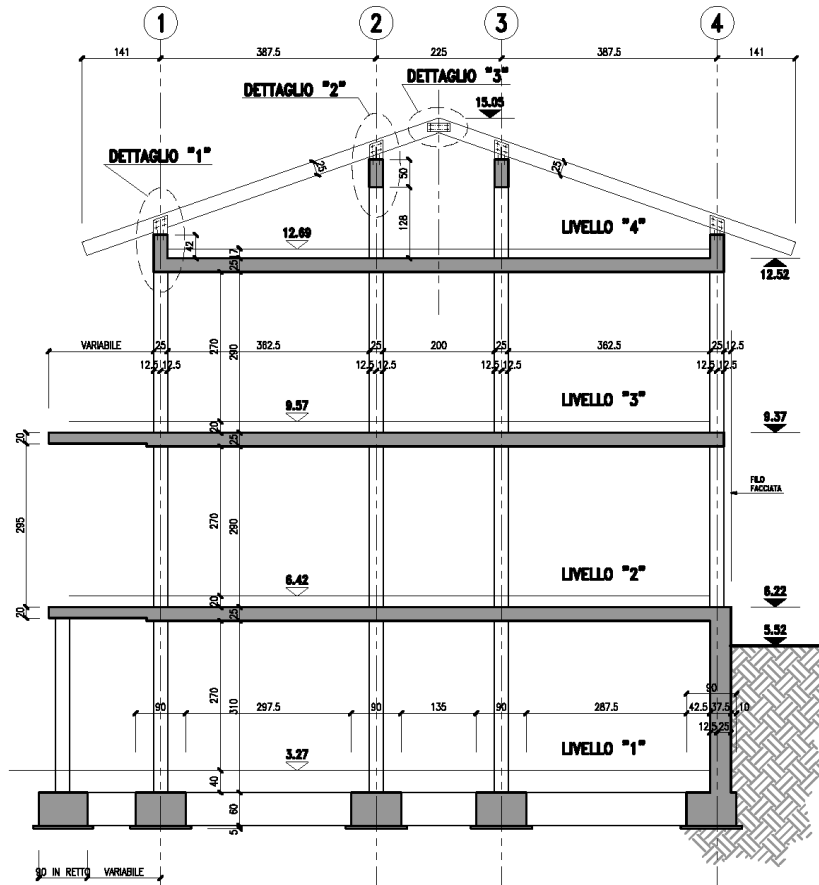


Figura 13 - Sezione significativa su picchetto "C"

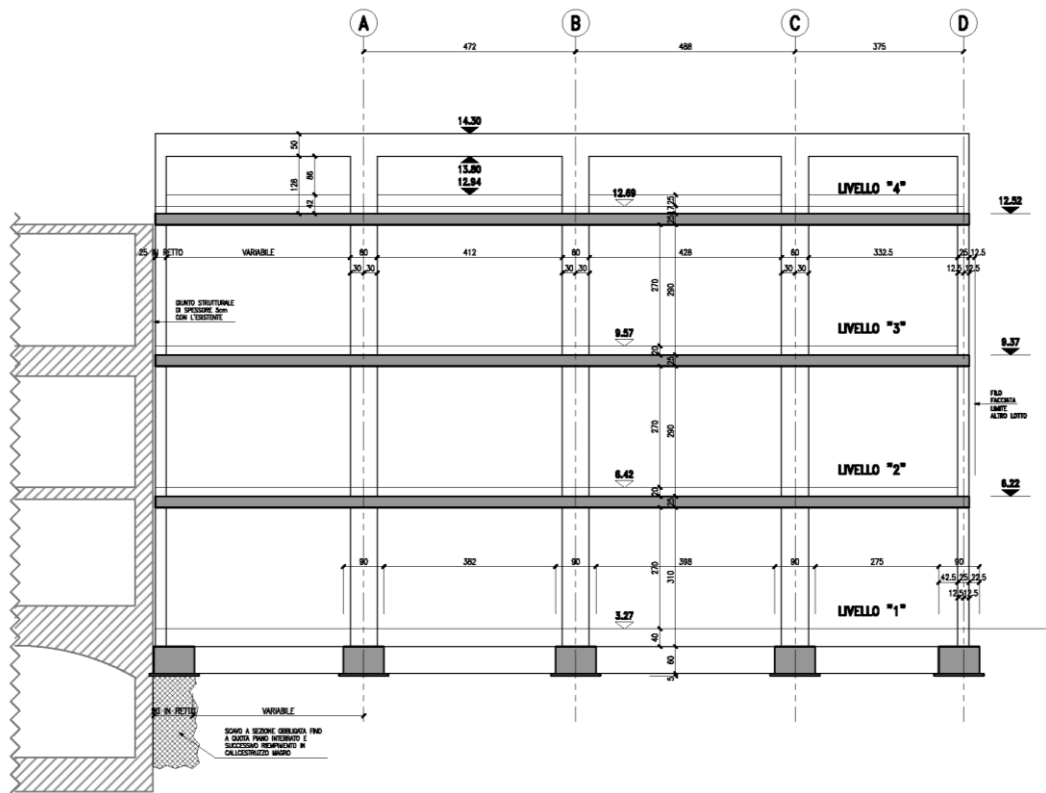


Figura 14 - Sezione significativa su filo "2"



I materiali da costruzione utilizzati, calcestruzzo e acciaio, devono essere identificati attraverso un'accurata descrizione redatta dal fornitore e possedere una certificazione che ne attesti le proprie caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche.

Particolare attenzione viene posta al calcestruzzo, per il quale, secondo la normativa CAM, deve essere previsto un minimo del 5% di materiale riciclato sul peso del prodotto a secco. Secondo le nuove Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 al paragrafo 11.2.9.2 vengono definiti gli aggregati idonei alla produzione di calcestruzzo ad uso strutturale. Tra questi sono presenti anche aggregati da riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 ed è presente una tabella (Tab.11.2.II) che ne definisce i limiti<sup>32</sup>.

### **3.3 Analisi sulla struttura in Xlam**

#### **3.3.1 La tecnologia costruttiva**

Il cemento armato resta, oggi giorno, il materiale da costruzione più diffuso e utilizzato in tutto il mondo, ma a causa delle recenti norme a favore della sostenibilità ambientale sono stati presi in considerazione altri materiali sostenibili.

Una di queste nuove tecnologie costruttive è il Cross Laminated Timber (CLT) o meglio noto come Xlam (dove la “x” indica la disposizione ortogonale degli elementi lignei che compongono il pannello). Questa tecnologia fu sviluppata agli inizi degli anni '90 in Germania e in Austria ma ci sono voluti alcuni anni prima che si passasse dalla fase di studio alla fase di costruzione. Uno dei motivi principali era la mancanza di conoscenza del materiale e delle sue tecniche di costruzione. Compensate tali mancanze, le costruzioni in Xlam hanno preso campo principalmente nel Nord Europa, dove è più facile reperire la materia prima, e successivamente si sono diffuse in tutto il mondo.

I pannelli Xlam sono pannelli in legno massiccio composti da tavole sovrapposte e incollate una sopra l'altra, ortogonali tra loro in modo che la fibratura dei pannelli non sia nella stessa direzione e con le quali è possibile realizzare l'ossatura dell'edificio (pareti, solai e coperture). Il numero minimo di strati sovrapposti uno all'altro è di tre. È necessario tenere però conto che per la realizzazione di un pannello che abbia un adeguato comportamento meccanico e fisico, il numero minimo di pannelli sovrapposti salga a cinque. In Italia e in Europa la tipologia lignea

---

<sup>32</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

più diffusa ed utilizzata per la realizzazione dei pannelli Xlam è l'Abete rosso, una conifera dalle ottime proprietà meccaniche per uso strutturale.<sup>33</sup>

Si deve però sottolineare che non è stata emanata nessuna specifica normativa che regoli le procedure di produzione dei pannelli Xlam e quindi si fa riferimento alle sole norme vigenti riferite alle condizioni di legno incollato per uso strutturale. Per questo motivo, i vari produttori sono stati spinti a sviluppare un proprio metodo di produzione a seconda delle loro esigenze. Il risultato di questo particolare sviluppo ha portato sul mercato una variegata produzione di pannelli Xlam, realizzati in modi differenti ma con lo stesso comportamento meccanico a pannello finito.

Nella produzione dei pannelli Xlam, le tavole di legno vengono refilate, piallate e giuntate di testa della lunghezza desiderata per realizzare le lamelle. Poi quest'ultime vengono affiancate e ordinate una accanto all'altra secondo il loro lato lungo formando uno strato di spessore variabile tra i 15 e 30 mm. Successivamente avviene la fase di incollaggio degli strati uno sull'altro e ortogonali tra di loro, seguita dalla fase di pressione meccanica per ottenere, come risultato finale, il pannello monolitico. Solitamente le dimensioni massime che può raggiungere il pannello finito sono di 24 m in una direzione e 4,8 m dall'altra con uno spessore di 500 mm. Però, sia le dimensioni dei pannelli monolitici che le dimensioni dei singoli strati da cui sono composti possono variare in modo notevole a seconda delle aziende produttrici. Infine segue la fase di lavorazione meccanica a controllo numerico per realizzare le varie aperture, infissi e porte, stabilite da progetto.<sup>34</sup>

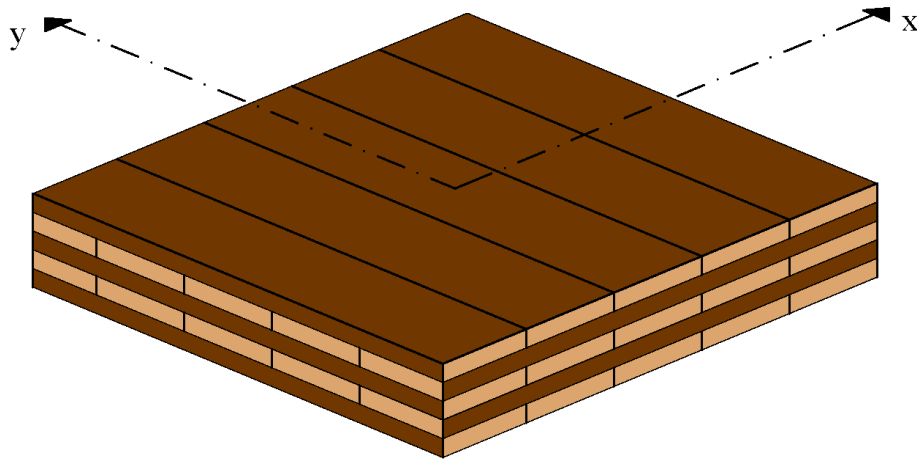


Figura 15 - Rappresentazione assonometrica pannello Xlam a strati incrociati, fonte: [www.promolegno.com](http://www.promolegno.com)

<sup>33</sup> Caratteristiche, proprietà e prestazioni dell'XLAM, Andrea Bernasconi, [www.promolegno.com](http://www.promolegno.com).

<sup>34</sup> [https://www.Xlamdolomiti.it/assets/site/doc/Xlam\\_Dolomiti\\_Production.pdf](https://www.Xlamdolomiti.it/assets/site/doc/Xlam_Dolomiti_Production.pdf).



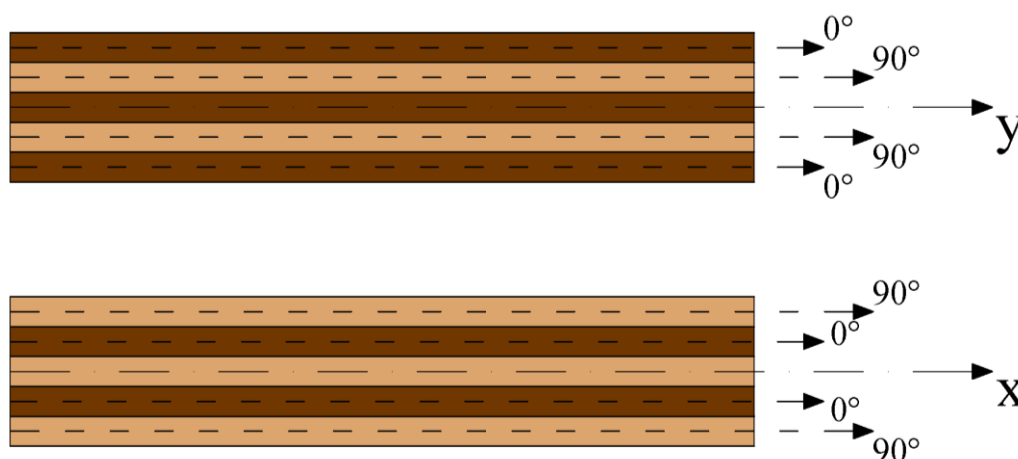


Figura 16 - Sezione pannello Xlam a strati incrociati, fonte: [www.promolegno.com](http://www.promolegno.com)

Il risultato finale di tale processo è la produzione di una superficie di grandi dimensioni ottenuta da delle semplici tavole di legno che a seguito di un'evoluzione tecnologica hanno portato a definire un prodotto innovativo e performante. Dal punto di vista delle sue proprietà meccaniche, il pannello Xlam è considerato un prodotto massiccio, leggero, estremamente rigido e resistente. Può essere considerato stabile nelle due direzioni grazie alla sovrapposizione ortogonale degli strati di lamelle e grazie ai particolari sistemi di collegamento meccanici, quali piastre, chiodi e staffe in acciaio, si garantisce un comportamento di tipo scatolare estremamente resistente sia alle azioni verticali che alle azioni orizzontali. Tale comportamento fa sì che la struttura tridimensionale monolitica, caratterizzata dalla continuità del materiale riesca a distribuire le sollecitazioni meccaniche uniformemente su tutto il materiale (un esempio da riportare è il progetto Sofie<sup>35</sup>).

L'installazione dei pannelli Xlam è molto semplice e veloce. Si inizia con la realizzazione del basamento in calcestruzzo armato, solitamente a platea oppure a fondazione continua. Al basamento viene collegato un cordolo in calcestruzzo armato dove vengono poi poste le pareti in Xlam. Tra il calcestruzzo e il legno viene posta una guaina bituminosa per isolare i due materiali che vengono collegati attraverso delle connessioni speciali in acciaio chiamate "hold down". Poi si segue con il montaggio delle pareti e dei solai in Xlam. I solai vengono messi in opera tramite dei vincoli alle pareti perimetrali, quali staffe speciali ad angolo retto oppure fissaggi del tipo "doppio hold down", entrambi dimensionati in base alle esigenze strutturali richieste. Per quanto riguarda invece le connessioni e i collegamenti tra i vari pannelli si procede con il collocamento di opportune piastre, angolari, staffe o chiodi in acciaio. I giunti tra due pannelli possono essere di tre tipologie: testa-testa, giunzione con tavola o giunzione mezzo

<sup>35</sup> <http://www.ivalsa.cnr.it/sofie.html>.

legno. Per garantire un'adeguata ermeticità all'aria è bene utilizzare delle schiume sigillanti, guaine comprimibili o nastri adesivi.

Tra i punti di forza della tecnologia costruttiva a pannelli Xlam si riportano i più significativi:

- Resistenza sismica: l'Xlam risulta essere un sistema costruttivo antisismico che resiste alle onde d'urto di un terremoto in maniera eccellente. È infatti ormai noto che gli edifici in Xlam garantiscono livelli massimi di sicurezza e resistenza al sisma. La struttura scatolare formata da solai e pareti in Xlam presenta un'elevata rigidità e robustezza strutturale che permettono di evitare l'utilizzo di pilastri e quindi la concentrazione delle forze agenti sulla struttura e sulle fondamenta. Inoltre, il legno si presta ad essere un materiale vantaggioso per la costruzione in zona sismica grazie alla massa ridotta rispetto alla propria capacità portante. Il risultato è quindi che una struttura in Xlam è poco sensibile alle sollecitazioni sismiche (che sono proporzionali alla massa della costruzione stessa). Oltre a ciò, gli elementi metallici di collegamento tra i vari pannelli (giunti, viti speciali, piastre, ecc.) assorbono l'energia del sisma e grazie alla loro duttilità, si snervano e si plasticizzano senza giungere a rottura. Altro vantaggio dell'utilizzo di pannelli Xlam è il possibile recupero del materiale in seguito all'avvenuto terremoto.<sup>36</sup>
- Resistenza al fuoco: molto spesso viene erroneamente diffusa l'idea che il rischio di incendio negli edifici costruiti in legno sia maggiore di quello delle strutture in calcestruzzo armato, muratura o acciaio. Il legno è un materiale normalmente infiammabile (classe d'incendio B2), ma grazie alla sua bassa conducibilità termica e alla costituzione di uno strato di carbone vegetale in superficie che funge da isolante, il processo d'incendio si svolge molto lentamente. Inoltre, sempre in caso di incendio, la parte di legno che non è stata ancora bruciata conserva l'efficienza strutturale nonostante l'avvenuto incremento di temperatura e comunque il raggiungimento della rottura avviene molto lentamente, solo nel momento in cui la sezione utile si è talmente ridotta da non poter sopportare più il carico applicato. Andando quindi ad effettuare un confronto tra il comportamento del legno soggetto ad incendio con quello di altri materiali da costruzione, è possibile affermare che il legno può offrire alcuni vantaggi; infatti è necessario sottolineare che nelle strutture in calcestruzzo armato, la resistenza al fuoco dipende quasi completamente dallo spessore del copriferro, e che negli elementi strutturali in acciaio, anche se non bruciano, l'aumento di temperatura porta ad un pericoloso aumento della duttilità e quindi delle deformazioni.<sup>37</sup>
- Efficienza energetica: grazie alle proprietà di conduttività termica e di inerzia termica del legno viene garantita un'ottima performance termica e tenuta all'aria. Le costruzioni

<sup>36</sup> <http://www.kecase.com/vantaggi-1.html>.

<sup>37</sup> <http://www.kecase.com/vantaggi-1.html>.

- in Xlam necessitano quindi di pochissima energia per la fase di riscaldamento (stagione invernale) o raffrescamento (stagione estiva);
- Spazio: vengono garantiti più metri quadrati a parità di superficie lorda (circa il 6% in più) rispetto a sistemi costruttivi tradizionali;
  - Sostenibilità ambientale: per gli edifici in Xlam viene utilizzato il legno, un materiale rinnovabile e abbondante, fondamentale per la tutela del clima in quanto immagazzina CO<sub>2</sub>. Deve però provenire da foreste certificate.
  - Durabilità nel tempo: il degrado dei pannelli Xlam può avvenire soltanto se non vi è una ordinaria manutenzione dell'edificio e per evitare ciò deve essere garantita una perfetta progettazione integrata che garantisce la durabilità dell'elemento;
  - Rapporto costi/benefici: garantisce a parità di spesa per un'opera realizzata con sistemi costruttivi tradizionali una maggiore qualità degli standard abitativi e un minore tempo di realizzazione.

Nel prossimo capitolo viene definita la struttura dell'ampliamento oggetto del caso studio tramite l'utilizzo della tecnologia costruttiva dell'Xlam.

### **3.3.2 L'utilizzo dei pannelli Xlam nel caso studio**

Come già visto in precedenza, l'ampliamento prevedere un piano parzialmente interrato; vista l'impossibilità però di realizzare la struttura di tale piano in pannelli Xlam (dato che a contatto con il terreno si svilupperebbero dei problemi di varia natura) si è scelto di adottare la tecnologia tradizionale del calcestruzzo armato gettato in opera. Per questo motivo la struttura in Xlam riguarda esclusivamente i restanti piani fuori terra.

Le fondazioni sono state ipotizzate della tipologia a travi rovesce con una sezione rettangolare di 90x60 cm, sovrastanti uno strato di magrone dello spessore di 10 cm. Nella porzione a Sud e a Ovest del fabbricato sono stati previsti dei muri controterra per tutta l'altezza del piano seminterrato con uno spessore di 37 cm e 25 cm. Sono anche stati previsti dei pilastri di dimensioni 25x70 cm, 25x60 cm e 25x40 cm per tutta l'altezza del piano seminterrato. Al piano terra è stata ipotizzata una soletta piena in calcestruzzo armato per uno spessore di 30 cm. Inoltre per evitare i carichi in falso derivanti dalla sovrastruttura in Xlam, è stato predisposto un sistema di travi ribassate posizionate al di sotto dei pannelli in Xlam.

Il predimensionamento della struttura in Xlam, per i piani fuori terra, è stato effettuato con l'aiuto del software di calcolo strutturale "TimberTech Buildings". Questo software è specifico per la progettazione strutturale di edifici in legno sviluppato dall'Università degli Studi di Trento.

Come primo passo è stata realizzata la pianta dell'edificio e usandola come base di progettazione è stato possibile creare l'intero modello della struttura. Sono state inserite anche tutte le aperture previste, sia quelle dei serramenti esterni che quelle delle porte interne, in quanto influiscono molto sul calcolo finale della struttura.

Il programma contiene al suo interno moltissime librerie relative ai pannelli Xlam in commercio suddivisi per produttori. Si è scelto di utilizzare i pannelli Xlam forniti dall'azienda "XLAM Dolomiti" considerata un leader in questo settore. In particolare, per la progettazione è stato scelto un pannello Xlam di 158 mm per le pareti e per i solai. Il pannello è composto da 5 strati di lamelle incrociate ortogonalmente tra loro di dimensione: 40-19-40-19-40 mm.

Mentre la copertura è stata realizzata con un sistema di arcarecci in legno lamellare di 16x36 cm passo 120 cm.

Successivamente sono state definite due tipologie di connessioni: quelle tra il pannello in Xlam e il basamento in cemento armato e quelle interpiano tra le due pareti in Xlam e il relativo solaio; per entrambe sono stati utilizzati ancoraggi forniti dall'azienda "Rothoblaas". La parete è stata vincolata al basamento tramite l'ancoraggio WHT540 per resistere alle forze di trazione e l'angolare titan TCN240 con un passo di circa 70 cm per resistere alle forze di taglio. Invece per le connessioni interpiano è stato scelto un doppio ancoraggio WHT440 per resistere alle forze di trazione e un angolare titan TTN240 con un passo di circa 70 cm per resistere alle forze di taglio.

Di seguito sono state riportate delle immagini estrapolate durante la progettazione della struttura indicando le componenti appena citate.

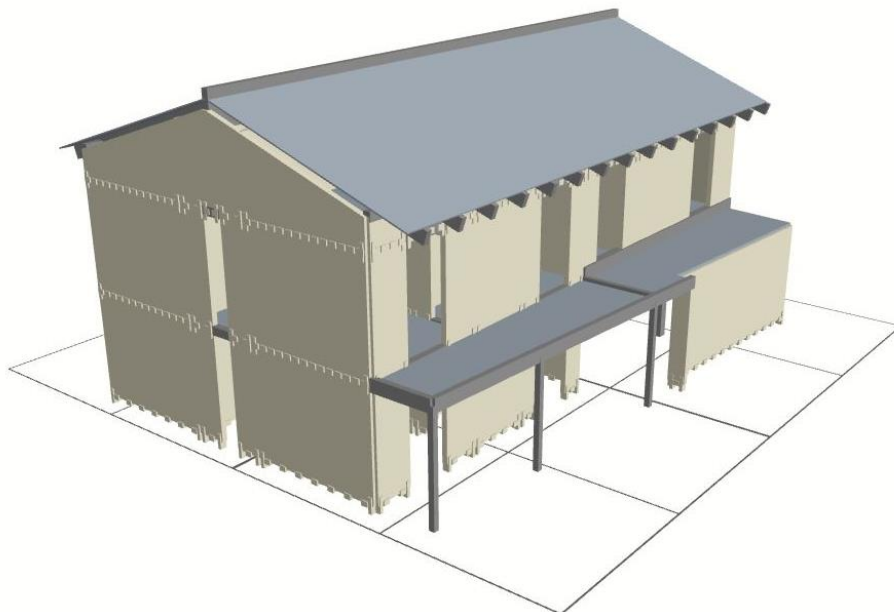


Figura 17 - Estruso del modello in Xlam (software "TimberTech Buildings")

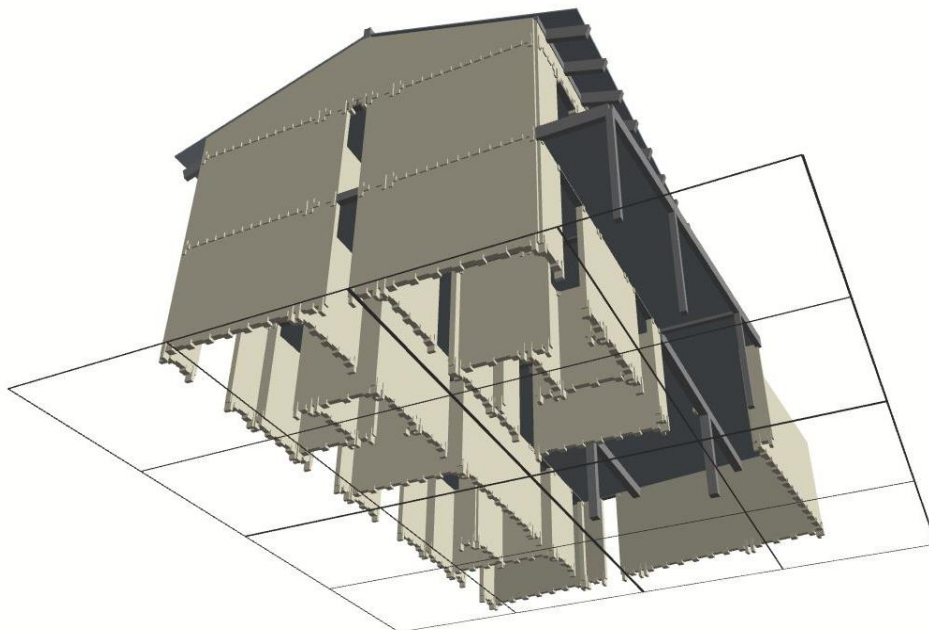


Figura 18 - Vista dal basso del modello in Xlam per risaltare le connessioni (software "TimberTech Buildings")

Caratteristiche della parete

Proprietà pannello    Tipologia giunto    Proprietà giunto

Nome: Parete - Pannello xlam - 158 mm

**Tipologia parete**

Monolitica

Giuntata

**Stratigrafia**

Sezione pannello: [XLAM 158](#)

Materiale: [C 24 - Dolomiti](#)

Spessore pannello: 158 mm

Numero strati: 5

Strato	Spessore	Orientazione
1	40	Verticale
2	19	Orizzontale
3	40	Verticale
4	19	Orizzontale
5	40	Verticale

Ruota di 90°

**Modulo di taglio a lastra**

Modulo di taglio  $G_{eff}$ : 538 MPa

Figura 19 - Pannello XLAM Dolomiti 158 mm (software "TimberTech Buildings")

Ancoraggi

Generale | Tipologia ancoraggi | Ancoraggi a trazione (hold-down) | Ancoraggi a taglio (Angolare con tasselli)

Ancoraggio [WHT 540](#)

Chiodatura Totale - 45 connettori

Tipo connettore Chiodi Anker LBA 4,0 X 60

Coefficiente di eccentricità  $k_t$  1,00

Ancorante M20 5.8

Numero ancoraggi per estremità di parete

Resistenza chiodatura  $R_c, k$  86,85 kN

Resistenza acciaio ancoraggio  $R_s, k$  63,40 kN

Resistenza a trazione ancorante  $R_t, k$  110,25 kN

Resistenza estrazione ancorante  $R_{pull}, k$  65,66 kN

Rigidezza del singolo ancoraggio 36954 N/mm

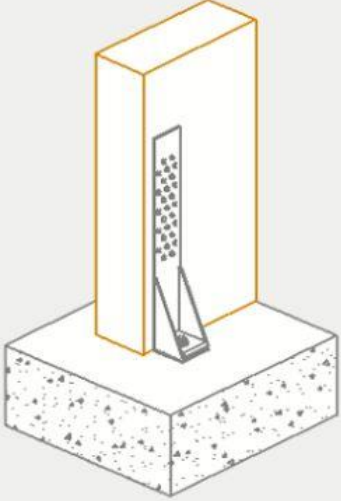


Figura 20 - Ancoraggio di base a trazione WHT 540 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings")

Ancoraggi

Generale | Tipologia ancoraggi | Ancoraggi a trazione (hold-down) | Ancoraggi a taglio (Angolare con tasselli)

Ancoraggio [Titan TCN 240](#)

Chiodatura Totale

Tipo connettore 36 x Chiodi Anker LBA 4,0 X 60

Coefficiente di eccentricità  $k_t$  1,00

Ancorante 2 x M16 5.8

Numero lati  1  2

Interasse ancoraggi  $i$   mm

Resistenza a taglio ancoraggio  $R_a, k$  30,30 kN

Resistenza a taglio ancorante  $R_p, k$  39,00 kN

Rigidezza del singolo ancoraggio 62623 N/mm

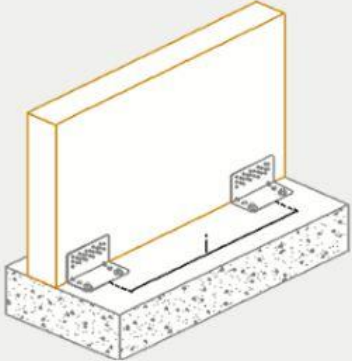


Figura 21 - Ancoraggio di base a taglio TCN 240 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings")



Ancoraggi

Generale	Tipologia ancoraggi	Ancoraggi a trazione (doppio hold-down)	Ancoraggi a taglio (Angolare fissato su legno)
Ancoraggio	<a href="#">WHT 440</a>		
Chiodatura	Totale - 30 connettori		
Tipo connettore	Chiodi Anker LBA 4,0 X 40		
Coefficiente di eccentricità $k_e$		1,00	
Bullone	M16 5.8		
Numero ancoraggi per estremità di parete	<input type="text" value="1"/>		
Resistenza chiodatura $R_{c,k}$		47,10 kN	
Resistenza acciaio ancoraggio $R_{s,k}$		63,40 kN	
Resistenza a trazione bullone $R_{t,k}$		70,65 kN	
Rigidezza del singolo ancoraggio		16233 N/mm	

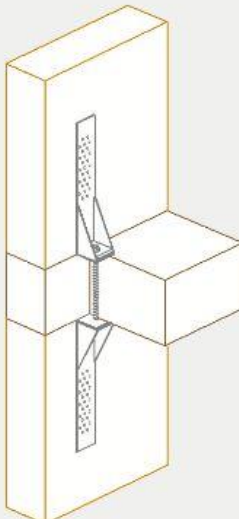


Figura 22 - Ancoraggio interpiano a trazione WHT 440 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings")

Ancoraggi

Generale	Tipologia ancoraggi	Ancoraggi a trazione (doppio hold-down)	Ancoraggi a taglio (Angolare fissato su legno)
Ancoraggio	<a href="#">Titan TTN 240</a>		
Chiodatura	Totale		
Tipo connettore verticale	36 x Viti LBS 5,0 X 50		
Tipo connettore orizzontale	36 x Viti LBS 5,0 X 50		
Numero lati	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2		
Interasse ancoraggi $i$	<input type="text" value="700"/>	700 mm	
Resistenza a taglio ancoraggio $R_{a,k}$		46,70 kN	
Rigidezza del singolo ancoraggio		67363 N/mm	

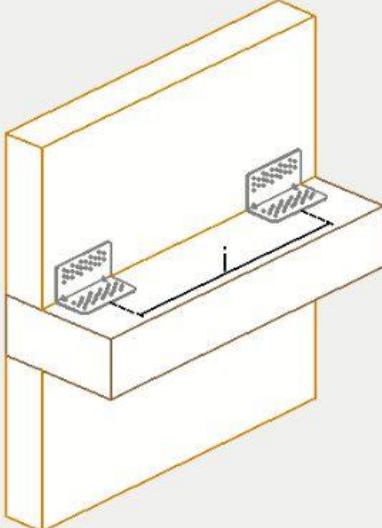


Figura 23 - Ancoraggio interpiano a taglio TTN 240 Rothoblaas (software "TimberTech Buildings")

Definito il modello, la tipologia dei materiali utilizzati e le varie connessioni, è stata “lanciata” sia l’analisi statica che l’analisi dinamica per verificare se il predimensionamento ipotizzato in partenza è stato corretto. Come si può notare dalla figura sottostante, le due analisi sono state rispettate e quindi le ipotesi poste in partenza al progetto risultano essere corrette. Inoltre il software “TimberTech Buildings” è in grado di generare, come output, la relazione tecnica e i file .dwg della struttura. Questi file sono molto utili in quanto riportano le piante, le sezioni del modello e tutti i pannelli utilizzati con le relative aperture e indicazioni della posizione delle connessioni scelte.

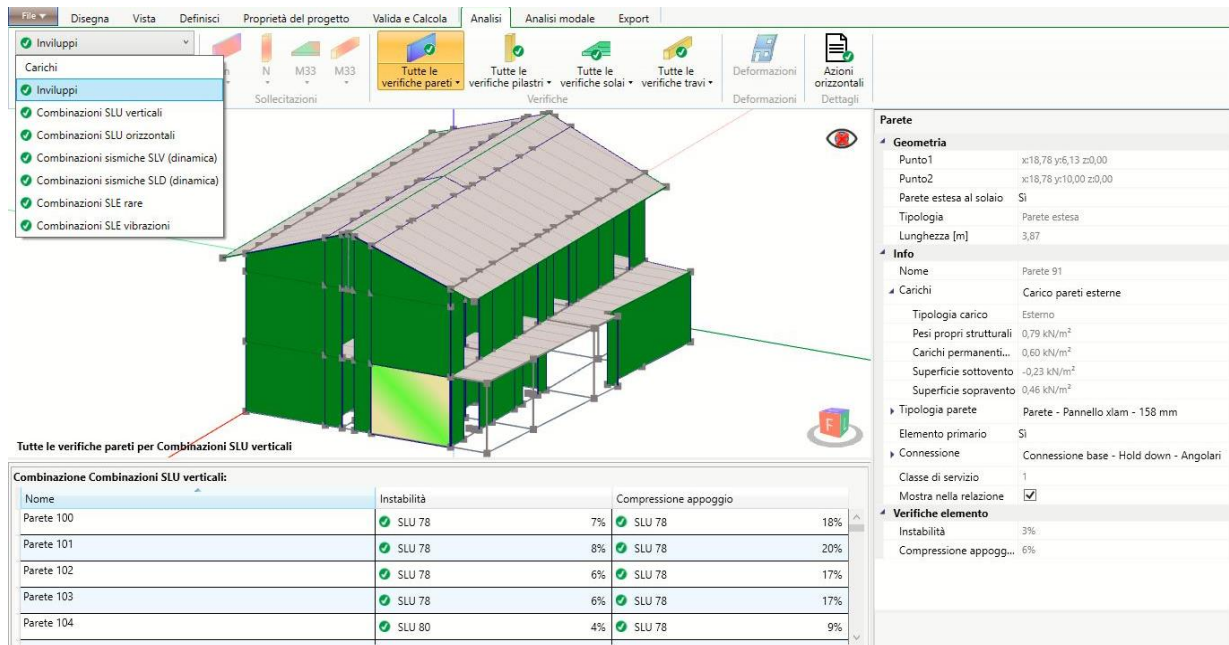


Figura 24 - Verifica soddisfatta (software "TimberTech Buildings")

Le strutture portanti della nuova costruzione, realizzata con la tecnologia Xlam, sono così costituite:

- Fondazioni a travi rovesce in cemento armato gettato in opera: aventi sezione rettangolare 90x60 cm. Prevede uno strato di magrone al di sotto delle strutture di fondazione per uno spessore di 10 cm;
- Muri controterra in cemento armato gettati in opera: presente nella porzione sud ed ovest del fabbricato ed elevantisi per tutta l’altezza del piano seminterrato, spessore di 37/25 cm;
- Pilastrini in cemento armato gettato in opera: per tutta l’altezza del piano seminterrato, di dimensioni 25x70 cm, 25x60 cm e 25x40 cm;



- Travi ribassate in cemento armato: di dimensione 25x40 cm poste al piano terra in corrispondenza delle pareti in Xlam al fine di evitare la presenza di carichi in falso per la struttura;
- Soletta piena in cemento armato gettato in opera: con spessore di 30 cm posta al piano terra ed utilizzata come basamento per la sovrastruttura in Xlam;
- Pareti in pannelli Xlam: dello spessore di 158 mm, composto da 5 strati di lamelle incrociate tra loro, di dimensione 40-19-40-19-40 mm. Le pareti al piano terra e al piano primo hanno un'altezza di 3,15 m e una lunghezza variabile, mentre al piano sottotetto hanno un'altezza dai 0,80 m a 2,48 m con lunghezza variabile;
- Solai in pannelli Xlam: dello spessore di 158 mm, composto da 5 strati di lamelle incrociate tra loro, di dimensione 40-19-40-19-40 mm. Sono considerati anche i balconi e la terrazza presenti al piano primo. In totale vi sono sei solai accoppiati al piano primo e al piano sottotetto di dimensione variabile, tre solai a balcone e due solai a terrazza al piano primo;
- Pilastrini in legno lamellare: previsti all'interno del fabbricato tra il piano terra e il piano primo nella zona comune per sorreggere le pareti soprastanti con dimensione 28x28 cm. Sono stati previsti anche nella zona porticata esterna del piano terra per sorreggere il terrazzo del piano primo di dimensione 16x16 cm;
- Travi in legno lamellare: previste all'interno del fabbricato, sopra i pilastrini interni del piano terra, per evitare i carichi in falso derivanti dalle pareti del piano primo, con una dimensione di 16x36 cm. Sono state previste anche nella zona porticata esterna del piano terra per sorreggere il terrazzo posto al primo piano, con dimensioni di 16x28 cm. Infine vi è anche una trave di colmo posta in copertura delle dimensioni di 20x60 cm;
- Arcarecci in legno lamellare: posti in copertura con una sezione di 16x36 cm e un passo di 120 cm;
- Connessione di base: utilizzati ancoraggi in acciaio WHT 540 per resistere alle forze di trazione e angolari in acciaio titan TCN 240 con passo 70 cm per resistere alle forze di taglio;
- Connessione interpiano: utilizzati ancoraggi in acciaio WHT 440 per resistere alle forze di trazione e angolari in acciaio titan TTN 240 con passo 70 cm per resistere alle forze di taglio.

### 3.3.3 Realizzazione del modello BIM

Il progetto descritto fino ad ora, relativo alla costruzione in Xlam, è stato realizzato secondo la procedura tradizionale che non prevede l'utilizzo della metodologia BIM (Building Information Modeling).

Il BIM è un processo intelligente basato su modelli di pianificazione, progettazione, costruzione e gestione di edifici, che è stato sviluppato oltre la semplice concezione di progettazione in 2D o 3D. Infatti i modelli BIM contengono una intelligenza propria che va oltre alla componente geometrica e al semplice inserimento di dati. Per questo, se l'elemento viene modificato, il software BIM applica la modifica a tutti gli elementi con le stesse caratteristiche ed in tutte le viste di visualizzazione dell'elemento stesso. In questo modo le informazioni contenute nei singoli oggetti possono essere aggiornate continuamente senza intaccare il modello totale.

Durante tutto il ciclo di vita del progetto, le informazioni contenute nel modello, sono sempre reperibili e precise e grazie a questo si riducono le rielaborazioni e gli errori ed inoltre si garantiscono delle scelte più consapevoli grazie alle simulazioni ed analisi che è possibile effettuare. In particolare, il BIM, semplifica tutta la trasmissione dell'idea progettuale dall'ufficio al cantiere, andando a ridurre i problemi di coordinamento.

Per la realizzazione del modello dettagliato della struttura in esame, è stato deciso di utilizzare il software "Autodesk Revit", in quanto è un programma sviluppato per la gestione di progetti secondo il processo di Building Information Modeling. Questo software segue la metodologia BIM con l'utilizzo di elementi intelligenti che seguono delle precise regole e parametri specifici a seconda della famiglia assegnatagli. Attraverso l'utilizzo di tale programma, una volta concluso il modello, è possibile ottenere le piante, le sezioni, i prospetti e viste tridimensionali che vengono automaticamente aggiornate in seguito alle eventuali modifiche apportate.

Per il caso studio si è deciso di modellare le sole componenti strutturali della costruzione in Xlam ed inserire le effettive connessioni in acciaio.

È stato possibile inserire nel modello BIM le famiglie degli stessi pannelli in Xlam e delle stesse connessioni in acciaio che sono stati utilizzati nel predimensionamento. Come già detto, per quanto riguarda i pannelli in Xlam è stata adoperata la libreria fornita dall'azienda XlamDolomiti e quindi è stato scelto il pannello di spessore pari a 158 mm. Mentre per le connessioni in acciaio, è stata utilizzata la libreria fornita dall'azienda Rothoblaas.

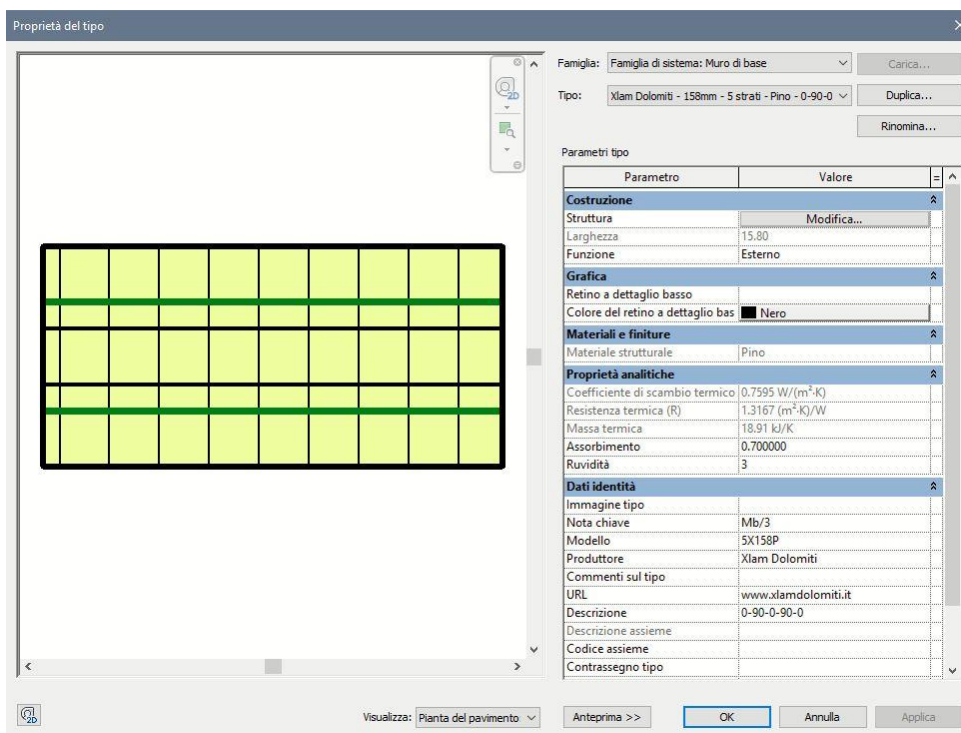


Figura 25 - Famiglia pannello Xlam sp. 158 mm (software: AutodeskRevit)

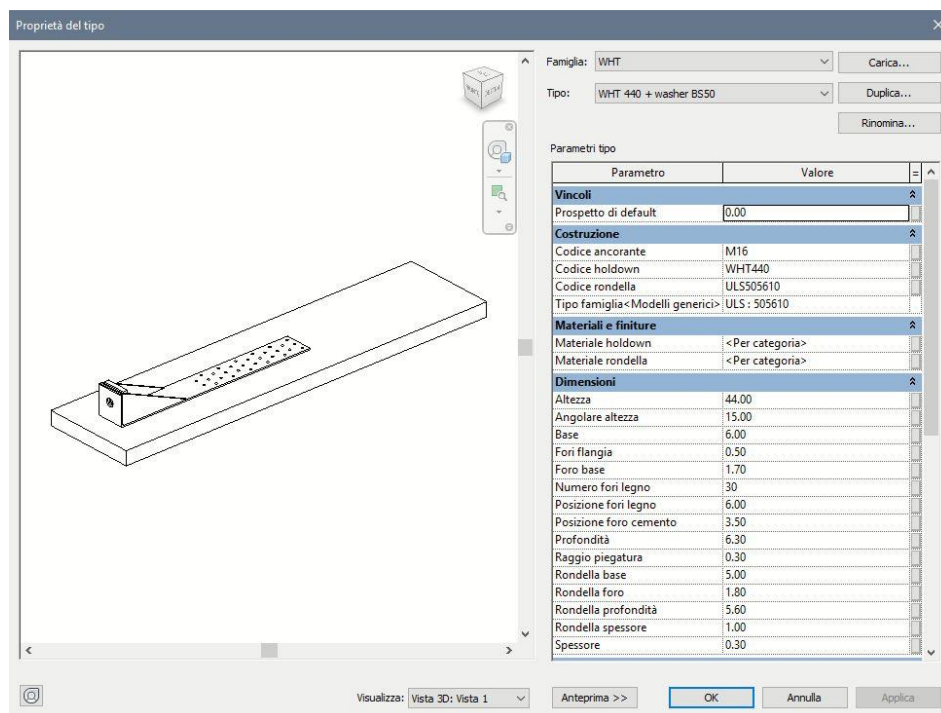
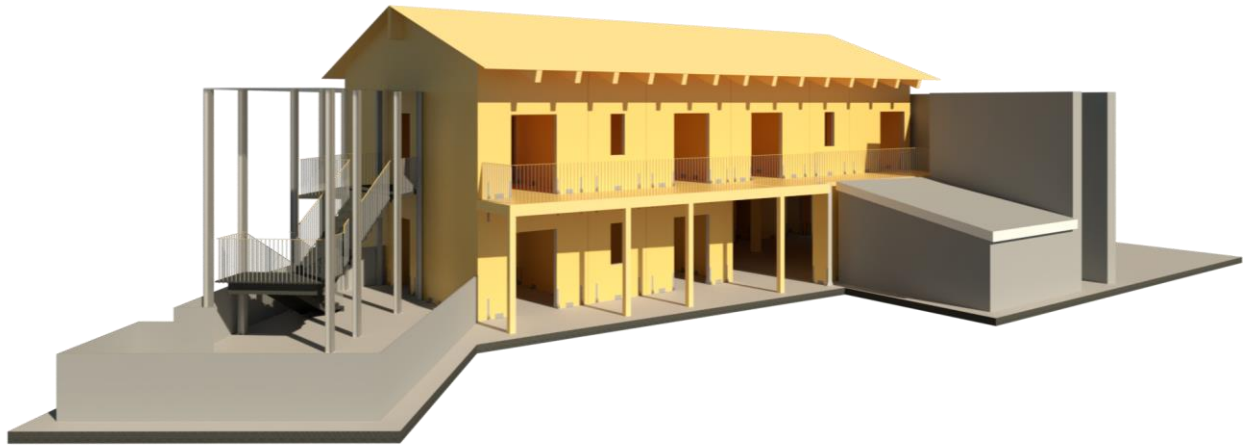


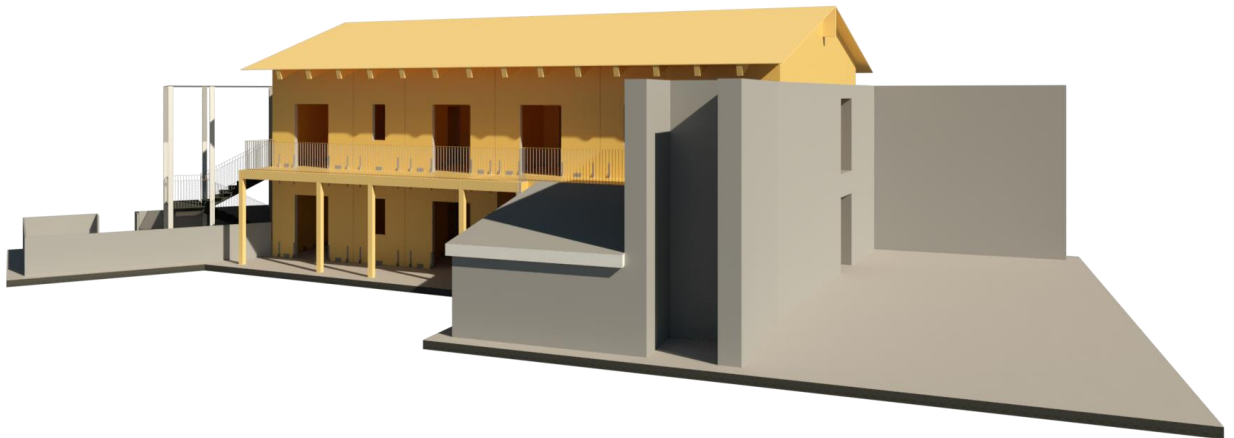
Figura 26 - Famiglia di una tipologia di connessione in acciaio (software: AutodeskRevit)

Inoltre sono stati modellati gli elementi dell'edificio esistente per indicarne il solo ingombro in prossimità dell'ampliamento.

Il risultato così ottenuto è stato un modello parametrico in cui risultano essere presenti tutte le informazioni relative alle caratteristiche degli elementi che lo compongono. Di seguito si riportano alcune rappresentazioni 3D realizzate con Autodesk Revit.



*Figura 27 - Vista 3D Nord-Est dell'edificio (software: AutodeskRevit)*



*Figura 28 - Vista 3D Nord-Ovest dell'edificio (software: AutodeskRevit)*



*Figura 29 - Vista 3D Sud-Est dell'edificio (software: AutodeskRevit)*



*Figura 30 - Vista 3D Sud-Ovest dell'edificio (software: AutodeskRevit)*

Il modello BIM è stato di seguito utilizzato per verificare l'effettiva quantità di pannelli Xlam e connessioni in acciaio presenti nella struttura, ma soprattutto, è stato sviluppato con l'idea di prestarsi come base di partenza per andare a valutare come questa nuova metodologia si interfaccia con il mondo dei Criteri Ambientali Minimi.

Tale argomento sarà poi affrontato in maniera più approfondita nel capitolo delle conclusioni a riguardo degli sviluppi futuri del lavoro svolto.

## 4. I CRITERI AMBIENTALI MINIMI NEL PROCESSO DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA STRUTTURALE

### 4.1 Studio delle possibili tecnologie costruttive

Tutte le analisi condotte sono state svolte come se la Pubblica Amministrazione fosse in una fase antecedente alla pubblicazione del bando dove viene analizzata quale tecnologia costruttiva sia utilizzabile per la realizzazione dell'opera.

Per questo motivo sono state analizzate tre possibili soluzioni progettuali, quali:

- Struttura portante in calcestruzzo armato non conforme ai Criteri Ambientali Minimi;
- Struttura portante in calcestruzzo armato conforme ai Criteri Ambientali Minimi;
- Struttura portante in pannelli Xlam.



Figura 31 - Confronto tra le due tecnologie costruttive: calcestruzzo armato e Xlam, fonte: [www.picswe.com](http://www.picswe.com)

La comparazione tra la tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato conforme e non conforme ai CAM viene effettuata in quanto, essendo un bando pubblico, la Pubblica Amministrazione è tenuta a rispettare il Decreto Ministeriale 11/10/2017 che prevede l'obbligatorietà dei Criteri Ambientali Minimi al 100% per le gare d'appalto. Inoltre il confronto tra queste due soluzioni viene effettuato per valutare se le aziende produttrici si sono adattate o meno all'adozione di calcestruzzi commerciali contenenti al loro interno la quantità di materiale riciclato prevista.

Oltre a questa comparazione interna alla tecnologia del calcestruzzo armato per indirizzare la scelta di progettazione, sono state effettuate altre analisi comparative tra le diverse tecnologie



costruttive. Sono stati valutati i differenti materiali utilizzati (calcestruzzo, acciaio e legno) quindi esplicitando le loro caratteristiche ambientali e la componente di materiale riciclato da cui sono composti. Poi sono state valutate le opere secondo l'aspetto del fine vita, e di conseguenza sono stati definiti i relativi vantaggi e svantaggi che ciascuna tecnologia costruttiva presenta. In conclusione è stata fatta un'analisi prezzo, attraverso l'utilizzo dei prezzi forniti da diverse aziende, per vedere effettivamente quali delle tre strutture, attualmente, ha un costo di realizzazione inferiore.

La scelta della tecnologia da adottare non è stata effettuata tenendo conto del solo prezzo di realizzazione ma, come visto dalle analisi e i confronti che si andranno a fare, in un'ottica di costi-efficacia.

Infine, una volta scelta la migliore tecnologia costruttiva per la realizzazione dell'opera, questa è stata posta dalla Pubblica Amministrazione alla base del bando di gara.

## **4.2 Individuazione delle quantità dei materiali utilizzati**

In questo capitolo sono state calcolate le quantità di materiale necessarie per sviluppare le ipotesi costruttive del caso studio in esame. Quindi per la tecnologia costruttiva tradizionale del calcestruzzo armato, sono state calcolate le quantità di calcestruzzo e di acciaio mentre per la tecnologia costruttiva dell'Xlam, sono state calcolate le quantità dei pannelli Xlam e di legno lamellare.

Si è partiti con l'analisi della tipologia costruttiva del calcestruzzo armato. Per determinare le quantità di calcestruzzo, sono stati analizzati i singoli elementi di cui è composta la struttura e sono stati suddivisi in base alla loro posizione. Di seguito sono riportate le tabelle di calcolo per determinare i m<sup>3</sup> di calcestruzzo.

Tabella 1 - Calcolo m<sup>3</sup> di calcestruzzo al piano interrato

Piano interrato							
Elemento	Base [m]	Altezza [m]	Quantità	Area [m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Fondazioni	-	-	-	116	0,6	-	69,60
Setto	-	-	-	10,93	3,35	-	36,62
Pilastrini	0,25	0,4	3	0,3	-	3,35	1,01
	0,25	0,7	3	0,525	-	3,35	1,76
	0,25	0,6	8	1,2	-	3,35	4,02
Tot.							113,00

Tabella 2 - Calcolo m<sup>3</sup> di calcestruzzo al piano terra

Piano terra							
Elemento	Base [m]	Altezza [m]	Quantità	Area [m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Soletta piena 1	-	-	-	209,54	0,25	-	52,39
Soletta piena 2	-	-	-	15,42	0,2	-	3,08
Setto	-	-	-	1,85	-	3,35	6,20
Pilastrini	0,25	0,4	2	0,2	-	3,35	0,67
	0,25	0,7	6	1,05	-	3,35	3,52
	0,25	0,6	10	1,5	-	3,35	5,03
	0,25	1,5	1	0,375	-	3,35	1,26
Tot.							72,14



Tabella 3 - Calcolo m<sup>3</sup> di calcestruzzo al piano primo

Piano primo							
Elemento	Base [m]	Altezza [m]	Quantità	Area [m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Soletta piena 1	-	-	-	189,04	0,25	-	47,26
Soletta piena 2	-	-	-	33,02	0,2	-	6,60
Setto	-	-	-	1,25	-	3,35	4,19
Pilastrini	0,25	0,7	6	1,05	-	3,35	3,52
	0,25	0,6	10	1,5	-	3,35	5,03
	0,25	1,5	1	0,375	-	3,35	1,26
	0,25	1	1	0,25	-	4,35	1,09
Tot.							68,94

Tabella 4 - Calcolo m<sup>3</sup> di calcestruzzo al piano sottotetto

Piano sottotetto							
Elemento	Base [m]	Altezza [m]	Quantità	Area [m <sup>2</sup> ]	Spessore [m]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Soletta piena 1	-	-	-	186,83	0,25	-	46,71
Pilastrini	0,25	0,6	10	1,5	-	1,28	1,92
Cordoli	0,25	0,42	1	0,105	-	17,65	1,85
	0,25	0,42	1	0,105	-	18,81	1,98
	0,25	0,5	1	0,125	-	18,09	2,26
	0,25	0,5	1	0,125	-	18,35	2,29
Tot.							57,01

Avendo a disposizione le tavole strutturali della carpenteria dell'edificio, è stato possibile determinare l'effettiva quantità di acciaio utilizzato. Per prima cosa, è stato analizzato ogni elemento strutturale del fabbricato e per ognuno di essi è stato determinato il quantitativo d'acciaio presente in un metro. Di seguito sono riportate le tabelle di calcolo effettuate per determinare i kg di acciaio presenti in un metro di ogni elemento strutturale.

Tabella 5 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di fondazione 90x60 cm

Fondazione 90x60x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	6	1,00	9,48
Longitudinali	Mezzeria <sub>sup</sub>	Ø 12	0,889	2	1,00	1,78
Longitudinali	Mezzeria <sub>inf</sub>	Ø 12	0,889	2	1,00	1,78
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	8	1,00	12,64
Trasversali	Esterno	Ø 12	0,889	5	2,92	12,98
Trasversali	Interno	Ø 10	0,617	5	1,70	5,25
Tot.						43,91

Tabella 6 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x70 cm

Pilastro 25x70x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Superiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Inferiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,95	3,75
Tot.						19,95

Tabella 7 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x60 cm

Pilastro 25x60x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	4	1,00	6,32
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	4	1,00	6,32
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,95	3,75
Tot.						16,40

Tabella 8 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x40 cm

Pilastro 25x40x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	3	1,00	4,74
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	3	1,00	4,74
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,65	2,57
Tot.						12,05

Tabella 9 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x150 cm

Pilastro 25x150x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Superiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Inferiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,95	3,75
Tot.						19,95

Tabella 10 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di pilastro 25x100 cm

Pilastro 25x100x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Superiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	2	1,00	3,16
Longitudinali	Inferiore	Ø 20	2,469	2	1,00	4,94
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,95	3,75
Tot.						19,95

Tabella 11 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di cordolo 25x50 cm

Cordolo 25x50x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 20	2,469	3	1,00	7,41
Longitudinali	Mezzeria	Ø 12	0,889	2	1,00	1,78
Longitudinali	Inferiore	Ø 20	2,469	3	1,00	7,41
Trasversali	Esterno	Ø 10	0,617	8	1,50	7,41
Tot.						24,00

Tabella 12 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di cordolo 25x67 cm

Cordolo 25x67x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 20	2,469	3	1,00	7,41
Longitudinali	Mezzeria <sub>sup</sub>	Ø 12	0,889	2	1,00	1,78
Longitudinali	Mezzeria <sub>inf</sub>	Ø 12	0,889	2	1,00	1,78
Longitudinali	Inferiore	Ø 20	2,469	3	1,00	7,41
Trasversali	Esterno	Ø 10	0,617	5	1,80	5,56
Tot.						23,93

Tabella 13 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di setto 25x100 cm

Setto 25x100x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore	Ø 16	1,580	5	1,00	7,90
Longitudinali	Inferiore	Ø 16	1,580	5	1,00	7,90
Trasversali	Esterno	Ø 8	0,395	10	0,95	3,75
Tot.						19,56

Tabella 14 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di soletta 25x100 cm

Soletta 25x100x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore <sub>orizzontale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Superiore <sub>verticale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Inferiore <sub>orizzontale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Inferiore <sub>verticale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Tot.						17,78

Tabella 15 - Calcolo kg di acciaio su 1 m di soletta 20x100 cm

Soletta 20x100x100 cm						
Barre	Posizionamento	Tipo	Peso [kg/m]	Numero su 1 m	Lunghezza [m]	Peso <sub>tot</sub> [kg]
Longitudinali	Superiore <sub>orizzontale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Superiore <sub>verticale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Inferiore <sub>orizzontale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Longitudinali	Inferiore <sub>verticale</sub>	Ø 12	0,889	5	1,00	4,44
Tot.						17,78

Una volta determinati i kg di acciaio presenti in un metro, è stato possibile determinare la percentuale di acciaio presente in un m<sup>3</sup> di calcestruzzo su ogni elemento strutturale. Grazie ad essa è stato possibile determinare i kg di acciaio totali esatti presenti nella struttura. Di seguito sono riportate le tabelle di calcolo.

Tabella 16 - Calcolo kg di acciaio su tutte le fondazioni 90x60 cm

<b>Fondazione 90x60 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
3,15	69,60	2,19	7860	17232

Tabella 17 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x70 cm

<b>Pilastro 25x70 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
4,36	8,79	0,38	7860	3015

Tabella 18 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x60 cm

<b>Pilastro 25x60 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
4,19	15,99	0,67	7860	5265

Tabella 19 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x40 cm

<b>Pilastro 25x40 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
4,60	1,68	0,08	7860	605

Tabella 20 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x150 cm

<b>Pilastro 25x150 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
2,08	2,51	0,05	7860	412

Tabella 21 - Calcolo kg di acciaio su tutti i pilastri 25x100 cm

<b>Pilastro 25x100 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
3,09	1,09	0,03	7860	264

Tabella 22 - Calcolo kg di acciaio sui cordoli 25x50 cm

<b>Cordolo 25x50 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
7,13	4,56	0,32	7860	2554

Tabella 23 - Calcolo kg di acciaio sui cordoli 25x67 cm

<b>Cordolo 25x67 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
5,41	3,83	0,21	7860	1626

Tabella 24 - Calcolo kg di acciaio sui setti 25x100 cm

<b>Setto 25x100 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
3,03	47,00	1,43	7860	11209

Tabella 25 - Calcolo kg di acciaio sulle solette 25x100 cm

<b>Soletta 25x100 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
2,77	146,35	4,05	7860	31818

Tabella 26 - Calcolo kg di acciaio sulle solette 20x100 cm

<b>Soletta 20x100 cm</b>				
%acciaio	Volume cls [m <sup>3</sup> ]	Volume acciaio [m <sup>3</sup> ]	Peso specifico acciaio [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso acciaio [kg]
2,77	9,69	0,27	7860	2106

Quindi, stando alle analisi effettuate, per la tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato, sono richiesti 311 m<sup>3</sup> di calcestruzzo e 76105 kg di acciaio.

Terminato il calcolo delle quantità degli elementi strutturali per la tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato, è stata poi analizzata la seconda tecnologia costruttiva e sono state calcolate le quantità dei pannelli Xlam e del legno lamellare necessari a comporre la struttura dell'edificio.

La quantità di pannelli Xlam di cui è composta la struttura è stata ricavata dal software di calcolo strutturale "TimberTech Buildings" in quanto, come output della programmazione, crea un foglio di calcolo excel con le informazioni di ogni pannello utilizzato. Inoltre è stato effettuato un controllo per verificare l'effettiva quantità dei pannelli utilizzati tramite il modello BIM realizzato con "Autodesk Revit". Di seguito sono riportate le tabelle dove vengono indicate le quantità dei pannelli al m<sup>2</sup> e al m<sup>3</sup> suddivise tra l'elemento parete e l'elemento solaio.

Tabella 27 - Calcolo m<sup>2</sup> e m<sup>3</sup> dei pannelli Xlam parete

Pannello parete in Xlam						
Nome pannello	Altezza [m]	Lunghezza [m]	Quota [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Spessore [mm]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Parete 100	3,15	0,74	3,15	2,33	158	0,37
Parete 101	3,15	0,74	3,15	2,33	158	0,37
Parete 102	3,15	1,66	3,15	5,23	158	0,83
Parete 103	3,15	1,66	3,15	5,23	158	0,83
Parete 104	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 105	3,15	1,02	3,15	3,21	158	0,51
Parete 106	3,15	1,02	3,15	3,21	158	0,51
Parete 107	3,15	3,87	3,15	12,19	158	1,93
Parete 108	3,15	0,83	3,15	2,61	158	0,41
Parete 109	3,15	0,83	3,15	2,61	158	0,41
Parete 11	3,15	3,87	0	12,19	158	1,93
Parete 110	3,15	3,88	3,15	12,22	158	1,93
Parete 111	3,15	3,91	3,15	12,32	158	1,95
Parete 112	3,15	0,83	3,15	2,61	158	0,41
Parete 113	3,15	0,83	3,15	2,61	158	0,41
Parete 114	3,15	3,9	3,15	12,29	158	1,94

Parete 115	3,15	0,74	3,15	2,33	158	0,37
Parete 116	3,15	0,74	3,15	2,33	158	0,37
Parete 117	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 118	3,15	1,18	3,15	3,72	158	0,59
Parete 119	3,15	1,18	3,15	3,72	158	0,59
Parete 120	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 121	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 122	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 123	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 124	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 125	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 126	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 127	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 128	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 129	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 130	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 131	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 132	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 133	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 134	3,15	0,3	0	0,95	158	0,15
Parete 135	3,15	1,75	0	5,51	158	0,87
Parete 136	3,15	0,3	0	0,95	158	0,15
Parete 137	3,15	0,8	0	2,52	158	0,40
Parete 138	3,15	4,72	0	14,87	158	2,35
Parete 139	3,15	0,3	0	0,95	158	0,15
Parete 140	3,15	1,68	0	5,29	158	0,84
Parete 141	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 142	3,15	0,3	0	0,95	158	0,15
Parete 143	3,15	2,55	0	8,03	158	1,27
Parete 145	3,15	1,68	0	5,29	158	0,84
Parete 146	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 147	3,15	0,3	0	0,95	158	0,15
Parete 148	3,15	2,55	0	8,03	158	1,27



Parete 149	3,15	2,55	3,15	8,03	158	1,27
Parete 150	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 151	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 152	3,15	1,68	3,15	5,29	158	0,84
Parete 153	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 154	3,15	4,72	3,15	14,87	158	2,35
Parete 155	3,15	0,8	3,15	2,52	158	0,40
Parete 156	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 157	3,15	1,75	3,15	5,51	158	0,87
Parete 158	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 159	3,15	2,55	3,15	8,03	158	1,27
Parete 16	3,15	3,88	0	12,22	158	1,93
Parete 160	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 161	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 162	3,15	1,68	3,15	5,29	158	0,84
Parete 164	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 165	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 166	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 167	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 168	3,15	0,64	3,15	2,02	158	0,32
Parete 169	3,15	1,94	3,15	6,11	158	0,97
Parete 170	3,15	0,4	3,15	1,26	158	0,20
Parete 171	3,15	1,39	3,15	4,38	158	0,69
Parete 172	3,15	1,39	3,15	4,38	158	0,69
Parete 173	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 174	3,15	0,66	3,15	2,08	158	0,33
Parete 175	3,15	0,66	3,15	2,08	158	0,33
Parete 176	3,15	3,47	3,15	10,93	158	1,73
Parete 177	3,15	0,3	3,15	0,95	158	0,15
Parete 18	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 180	3,15	0,5	3,15	1,58	158	0,25
Parete 181	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 182	3,15	1,32	3,15	4,16	158	0,66
Parete 184	0,8	2	6,3	1,60	158	0,25

Parete 187	0,8	2	6,3	1,60	158	0,25
Parete 189	0,8	1,02	6,3	0,82	158	0,13
Parete 19	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 190	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 191	0,8	1,02	6,3	0,82	158	0,13
Parete 192	0,8	1,66	6,3	1,33	158	0,21
Parete 193	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 194	0,8	1,66	6,3	1,33	158	0,21
Parete 195	0,8	0,74	6,3	0,59	158	0,09
Parete 196	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 197	0,8	0,74	6,3	0,59	158	0,09
Parete 198	0,8	1,18	6,3	0,94	158	0,15
Parete 199	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 20	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 200	0,8	1,18	6,3	0,94	158	0,15
Parete 201	0,8	1,18	6,3	0,94	158	0,15
Parete 202	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 203	0,8	1,18	6,3	0,94	158	0,15
Parete 204	0,8	2	6,3	1,60	158	0,25
Parete 205	0,8	0,74	6,3	0,59	158	0,09
Parete 206	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 207	0,8	0,74	6,3	0,59	158	0,09
Parete 208	0,8	0,66	6,3	0,53	158	0,08
Parete 209	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 210	0,8	0,66	6,3	0,53	158	0,08
Parete 211	0,8	2	6,3	1,60	158	0,25
Parete 212	0,8	1,39	6,3	1,11	158	0,18
Parete 213	0,8	1,4	6,3	1,12	158	0,18
Parete 214	0,8	1,39	6,3	1,11	158	0,18
Parete 218	2,12	0,3	6,3	0,64	158	0,10
Parete 219	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 220	2,12	1,75	6,3	3,71	158	0,59
Parete 221	2,12	0,3	6,3	0,64	158	0,10

Parete 222	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 223	2,12	0,8	6,3	1,70	158	0,27
Parete 224	2,12	4,72	6,3	10,01	158	1,58
Parete 225	2,12	0,3	6,3	0,64	158	0,10
Parete 226	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 227	2,12	1,68	6,3	3,56	158	0,56
Parete 228	2,12	2	6,3	4,24	158	0,67
Parete 229	2,12	0,3	6,3	0,64	158	0,10
Parete 230	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 231	2,12	2,55	6,3	5,41	158	0,85
Parete 240	1,44	3,88	6,3	5,59	158	0,88
Parete 241	2,25	0,83	6,3	1,87	158	0,30
Parete 242	2,44	0,6	6,3	1,46	158	0,23
Parete 243	2,26	0,83	6,3	1,88	158	0,30
Parete 244	1,47	3,87	6,3	5,69	158	0,90
Parete 245	1,44	3,9	6,3	5,62	158	0,89
Parete 246	2,25	0,83	6,3	1,87	158	0,30
Parete 247	2,43	0,6	6,3	1,46	158	0,23
Parete 248	2,26	0,83	6,3	1,88	158	0,30
Parete 249	1,48	3,91	6,3	5,79	158	0,91
Parete 250	2,3	2,25	6,3	5,18	158	0,82
Parete 251	2,12	2,55	6,3	5,41	158	0,85
Parete 252	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 253	2,12	0,3	6,3	0,64	158	0,10
Parete 254	2,12	2	6,3	4,24	158	0,67
Parete 255	2,12	1,68	6,3	3,56	158	0,56
Parete 258	2,12	0,5	6,3	1,06	158	0,17
Parete 259	2,12	0,9	6,3	1,91	158	0,30
Parete 260	2,12	1,32	6,3	2,80	158	0,44
Parete 261	2,12	2	6,3	4,24	158	0,67
Parete 262	2,12	1,2	6,3	2,54	158	0,40
Parete 263	2,12	3,47	6,3	7,36	158	1,16
Parete 265	2,12	1,2	6,3	2,54	158	0,40
Parete 31	3,15	3,87	3,15	12,19	158	1,93

Parete 33	3,15	3,88	3,15	12,22	158	1,93
Parete 34	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 35	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 36	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Parete 37	3,15	3,88	0	12,22	158	1,93
Parete 38	3,15	3,88	3,15	12,22	158	1,93
Parete 58	3,15	1,02	0	3,21	158	0,51
Parete 59	3,15	1,02	0	3,21	158	0,51
Parete 6	3,15	0,51	0	1,61	158	0,25
Parete 60	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 61	3,15	1,66	0	5,23	158	0,83
Parete 62	3,15	1,66	0	5,23	158	0,83
Parete 63	3,15	0,74	0	2,33	158	0,37
Parete 64	3,15	0,74	0	2,33	158	0,37
Parete 65	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 66	3,15	1,18	0	3,72	158	0,59
Parete 67	3,15	1,18	0	3,72	158	0,59
Parete 68	3,15	1,18	0	3,72	158	0,59
Parete 69	3,15	1,18	0	3,72	158	0,59
Parete 7	3,15	6,7	0	21,11	158	3,33
Parete 70	3,15	2	0	6,30	158	1,00
Parete 71	3,15	0,74	0	2,33	158	0,37
Parete 72	3,15	0,74	0	2,33	158	0,37
Parete 73	3,15	1,94	0	6,11	158	0,97
Parete 74	3,15	0,64	0	2,02	158	0,32
Parete 75	3,15	0,4	0	1,26	158	0,20
Parete 76	3,15	0,4	0	1,26	158	0,20
Parete 77	3,15	0,64	0	2,02	158	0,32
Parete 78	3,15	1,94	0	6,11	158	0,97
Parete 79	3,15	0,4	0	1,26	158	0,20
Parete 80	3,15	0,64	0	2,02	158	0,32
Parete 82	3,15	0,4	0	1,26	158	0,20
Parete 83	3,15	0,64	0	2,02	158	0,32

Parete 84	3,15	1,94	0	6,11	158	0,97
Parete 85	3,15	1,94	0	6,11	158	0,97
Parete 86	3,15	0,64	0	2,02	158	0,32
Parete 87	3,15	0,4	0	1,26	158	0,20
Parete 88	3,15	3,88	0	12,22	158	1,93
Parete 89	3,15	0,83	0	2,61	158	0,41
Parete 90	3,15	0,83	0	2,61	158	0,41
Parete 91	3,15	3,87	0	12,19	158	1,93
Parete 92	3,15	2,42	0	7,62	158	1,20
Parete 93	3,15	3,9	0	12,29	158	1,94
Parete 94	3,15	0,83	0	2,61	158	0,41
Parete 95	3,15	0,83	0	2,61	158	0,41
Parete 96	3,15	3,91	0	12,32	158	1,95
Parete 97	3,15	1,18	3,15	3,72	158	0,59
Parete 98	3,15	1,18	3,15	3,72	158	0,59
Parete 99	3,15	2	3,15	6,30	158	1,00
Tot.				808,23	Tot.	127,70

Tabella 28 - Calcolo  $m^2$  e  $m^3$  dei pannelli Xlam solaio

Pannello solaio in Xlam				
Nome Sezione	Piano	Area [ $m^2$ ]	Altezza [mm]	Volume [ $m^3$ ]
Solaio 1	Primo	18,0	158	2,84
Solaio 2	Primo	20,0	158	3,16
Solaio 3	Primo	180,0	158	28,44
Solaio 4	Secondo	180,0	158	28,44
Tot.		398,0	Tot.	62,88

Con la stessa metodologia con cui sono stati ricavati i pannelli in Xlam, si sono determinate anche le quantità al m<sup>3</sup> di legno lamellare utilizzato. Di seguito sono state riportate le tabelle suddivise in base alla tipologia di elemento strutturale trave o pilastro.

Tabella 29 - Calcolo m<sup>3</sup> di legno lamellare

Pilastri e Travi in Legno Lamellare						
Nome Sezione	Base [mm]	Altezza [mm]	Quantità	Area <sub>tot</sub> [m <sup>2</sup> ]	Lunghezza [m]	Volume <sub>tot</sub> [m <sup>3</sup> ]
Pilastro LL - 28x28 cm	280	280	2	0,16	3,15	0,49
Pilastro LL - 16x16 cm	160	160	3	0,08	3,15	0,24
Trave LL - 16x36 cm	160	360	1	0,06	8,91	0,51
Trave LL - 16x36 cm	160	360	1	0,06	9,40	0,54
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	1,77	0,08
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	2,00	0,09
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	2,34	0,10
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	3,76	0,17
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	4,90	0,22
Trave LL -16x28 cm	160	280	1	0,04	1,92	0,09
Trave LL - 20x60 cm	200	600	1	0,12	18	2,16
Travetti LL - 16x36 cm	160	360	30	1,73	6,5	11,23
Tot.						15,93

Per la seconda tipologia costruttiva, sono richiesti 1206 m<sup>2</sup> (191 m<sup>3</sup>) di pannelli in Xlam dello spessore di 158 mm e 16 m<sup>3</sup> di legno lamellare per realizzare le componenti strutturali del caso studio in esame.

### 4.3 Analisi prezzo dei materiali da costruzione utilizzati

Le due tipologie costruttive sono state confrontate eseguendo un'analisi prezzo tra le aziende produttrici di calcestruzzo, acciaio e legno, considerando però il solo costo del materiale fornito in cantiere e quindi escludendo i costi relativi alle lavorazioni e alla manodopera.

Nel determinare il prezzo del calcestruzzo ne sono stati valutati, come già detto, due tipologie: quello di un calcestruzzo conforme al nuovo Decreto Ministeriale 11/10/2017 dei Criteri Ambientali Minimi, quindi con all'interno un contenuto minimo del 5% di materiale riciclato e quello di un calcestruzzo non conforme ai CAM.

Durante la ricerca, sono state contattate, telefonicamente e via mail, sei aziende produttrici di calcestruzzo. Tutte le aziende hanno dichiarato di essere conformi al D.M. 11/10/2017 ma solo due di loro hanno fornito il certificato EPD. Il certificato EPD (*Environmental Product Declaration*), come visto nei capitoli precedenti, è una certificazione ambientale di Tipo III che ha il compito di dichiarare le informazioni ambientali del prodotto da costruzione durante il suo intero ciclo vita. Quindi sono state considerate aziende conformi ai Criteri Ambientali Minimi solo le aziende che hanno fornito tale certificazione. In allegato saranno riportati tutti i prezzi forniti dalle aziende e i certificati EPD.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che indica i prezzi del calcestruzzo al m<sup>3</sup> e l'effettivo peso del prezzo di tale materiale nella struttura dell'edificio in esame.

Tabella 30 - Prezzo del calcestruzzo non conforme ai CAM

Calcestruzzo non conforme ai Criteri Ambientali Minimi					
Aziende non conformi ai Criteri Ambientali Minimi	C25/30; S4; XC2 [€/m <sup>3</sup> ]	Quantità [m <sup>3</sup> ]	C28/35; S4; XC3 [€/m <sup>3</sup> ]	Quantità [m <sup>3</sup> ]	Totale
Betonrossi	105	106,22	109	204,87	€ 33.483
B&B CAVE srl.	88,5	106,22	95,5	204,87	€ 28.965
Holcim	114	106,22	121,5	204,87	€ 37.000
Italcave 2000	104	106,22	114	204,87	€ 34.401

Tabella 31 - Prezzo del calcestruzzo conforme ai CAM

Calcestruzzo conforme ai Criteri Ambientali Minimi					
Aziende conformi ai Criteri Ambientali Minimi	C25/30; S4; XC2 [€/m <sup>3</sup> ]	Quantità [m <sup>3</sup> ]	C28/35; S4; XC3 [€/m <sup>3</sup> ]	Quantità [m <sup>3</sup> ]	Totale
Calcestruzzi S.P.A	125	106,22	130	204,87	€ 39.910
Unicalcestruzzi S.P.A.	132	106,22	137	204,87	€ 42.087

Si è passati poi a determinare il prezzo delle barre d'acciaio conformi al Decreto Ministeriale 11/10/2017 dei Criteri Ambientali Minimi, quindi con una percentuale di materiale riciclato al suo interno del 10% o del 70% a seconda del processo di produzione che ha seguito. Per valutare tale prezzo, sono state contattate, telefonicamente e via mail, tre aziende. Tutte hanno rilasciato il certificato ambientale EPD indicando la percentuale di materiale riciclato all'interno dei loro prodotti. In allegato saranno riportati tutti i prezzi forniti dalle aziende e i certificati EPD.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che indica i prezzi dell'acciaio al kg e l'effettivo peso in prezzo di tale componente nella struttura dell'edificio in esame.

<b>Acciaio conforme ai Criteri Ambientali Minimi</b>			
Aziende produttrici	B450C [€/kg]	Quantità [kg]	Totale
Alfacciai	1,26	76105,25	€ 95.959
Presider	1,52	76105,25	€ 115.812
Gruppo Pittini	1,41	76105,25	€ 107.540

Infine, sono state contattate, telefonicamente e via mail, quattro aziende produttrici di pannelli Xlam rispettoso del Decreto Ministeriale 11/10/2017 sui Criteri Ambientali Minimi, dove il materiale legnoso deve provenire da foreste gestite in maniera sostenibile, per determinarne il prezzo. Tutte hanno rilasciato il certificato ambientale PEFC (*Programme for Endorsement of Forest Certification schemes*) che certifica l'effettiva provenienza della materia legnosa da foreste gestite in maniera sostenibile. In allegato saranno riportati tutti i prezzi forniti dalle aziende e le certificazioni PEFC. I prezzi ottenuti contengono al loro interno anche le lavorazioni di intaglio dei pannelli eseguite in stabilimento per la realizzazione delle aperture di porte e serramenti esterni ed anche l'incidenza della ferramenta.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che indica i prezzi dei pannelli Xlam di spessore 158 mm e composti da 5 strati al m<sup>2</sup>, con la relativa incidenza della ferramenta e l'effettivo prezzo della struttura dell'edificio in esame.



Tabella 32 - Confronto prezzi pannelli Xlam sp.158 mm con incidenza ferramenta

Pannello Xlam conforme ai Criteri Ambientali Minimi				
Aziende produttrici	Pannello Xlam spessore 158 mm [€/m <sup>2</sup> ]	Incidenza ferramenta [€/m <sup>2</sup> ]	Quantità [m <sup>2</sup> ]	Totale
Ilma legno	104	10	1206,23	€ 137.510
Mozzone srl.	120	11	1206,23	€ 158.016
Xlam Dolomiti	136	13	1206,23	€ 179.728
Xlam Italia	105,5	10	1206,23	€ 139.319

Avendo ricavato tutti prezzi relativi ai singoli materiali che compongono le parti strutturali dell'opera, ottenuti dalle aziende produttrici, ed avendone calcolato il peso sulla struttura, per ottenere il prezzo del totale delle diverse tecnologie costruttive è stata effettuata una semplice media.

Come risultato finale dell'analisi prezzo appena riportata, si ottiene:

- Prezzo della struttura portante in calcestruzzo armato non conforme ai Criteri Ambientali Minimi:  
33.500 € (cls non CAM) + 106.437 € (acciaio) = 139.899 €
- Prezzo della struttura portante in calcestruzzo armato conforme ai Criteri Ambientali Minimi:  
41.000 € (cls CAM) + 106.437 € (acciaio) = 147.436 €
- Prezzo della struttura portante in pannelli Xlam conforme ai Criteri Ambientali Minimi:  
153.643 €

Si ricorda che i prezzi sono relativi alla sola componente strutturale delle due tipologie costruttive proposte, dove è stato tenuto conto solo del prezzo dei materiali e della loro fornitura in cantiere escludendo le lavorazioni e la manodopera.

#### 4.4 Disassemblaggio e riciclabilità dei materiali

Il secondo confronto tra le due diverse tecnologie costruttive del caso studio è stato effettuato valutando la disassemblabilità e il riciclaggio dei materiali arrivati alla fine del loro ciclo vita. Si è fatto riferimento al Decreto Ministeriale 11/10/2017 quindi deve essere previsto che almeno il 50% dell'opera sia disassemblabile e che almeno il 15% dei materiali utilizzati nella costruzione siano riciclabili arrivati alla fine del loro ciclo vita.

Lo scenario di fine vita di un edificio realizzato secondo la tecnologia tradizionale del calcestruzzo armato è determinato principalmente dal modo in cui è stato costruito.



Figura 32 - Accatastamento di calcestruzzo armato proveniente da demolizione, fonte: [www.bricl-a-brack.com](http://www.bricl-a-brack.com)

Attualmente lo scenario di fine vita predominante per gli edifici realizzati in calcestruzzo armato è la demolizione. In alcuni casi il calcestruzzo demolito può passare attraverso un processo di riciclaggio dove viene frantumato per poi essere utilizzato, per esempio, per i letti delle strade.

Il riutilizzo di elementi in calcestruzzo negli edifici costruiti in maniera tradizionale è un processo complicato e costoso, come è stato dimostrato attraverso il progetto “*Nya Udden*” a Linköping. In questo progetto, sono stati utilizzati materiali provenienti da edifici abbandonati e l'intervento ha comportato un aumento dei costi del 10-15% rispetto a simili costruzioni realizzate con metodologie tradizionali.

Altri aspetti da non sottovalutare durante questa fase sono le dimensioni e il peso degli elementi. Questi aspetti gravano in maniera molto significativa nei processi di disassemblaggio, in quanto vi è un incremento significativo della manodopera e quindi dei costi ed un aumento della pericolosità con cui si eseguono le lavorazioni.

Il riutilizzo del calcestruzzo armato può avvenire secondo due tipologie:

- Riutilizzo degli elementi per lo stesso scopo, quindi riutilizzare gli elementi in calcestruzzo armato di un edificio per la realizzazione di un altro edificio. Questa opzione è la più efficace e garantisce un ciclo di vita ciclico che però può avvenire solo

nel caso in cui i materiali utilizzati per la costruzione originale siano classificati come riutilizzabili e quindi possono essere riutilizzati per lo stesso scopo come pilastri, travi o solette;

- Riutilizzo di elementi per scopi simili, quindi riutilizzare gli elementi in calcestruzzo armato di un edificio per applicazioni simili a quelle per cui sono stati progettati. Un esempio per questa opzione è il riutilizzo dei setti murari come recinzioni o barriere sonore intorno ad autostrade.

Si deve però sottolineare il fatto che, in entrambi i casi, per il riutilizzo del materiale è bene che la struttura di partenza sia realizzata in pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato e non gettato in opera come previsto dalla costruzione analizzata.

Nel caso studio in esame, sono state valutate due ipotesi per la realizzazione dell'opera con il calcestruzzo armato e solo quella conforme ai Criteri Ambientali Minimi può essere presa in considerazione per riuscire al meglio nel processo di riciclaggio del calcestruzzo. Questo avviene perché il calcestruzzo utilizzato contiene materiale riciclato e quindi tende a ridurre l'impatto ambientale derivante dalla fase di disassemblaggio e riciclaggio.

Inoltre si sarebbe potuto prevedere l'utilizzo di elementi prefabbricati in calcestruzzo armato, in quanto gli elementi prefabbricati hanno caratteristiche ambientali migliori e facilitano la fase di disassemblaggio dell'edificio arrivato a fine vita.<sup>38</sup>

Detto questo, risulta difficile sviluppare l'idea di disassemblaggio dell'opera, oggetto del caso studio, in quanto è stata realizzata completamente in calcestruzzo armato gettato in opera. Questo incide notevolmente sui costi dell'operazione e inoltre vi è un maggior impatto ambientale; quindi un aumento del consumo di energia rispetto alla scelta della demolizione.

In conclusione per il tipo di tecnologia utilizzata, è stata prevista la sola demolizione. In questo scenario, l'opera demolita passa in una fase di riciclaggio dove viene frantumata per separare l'acciaio dal calcestruzzo. L'acciaio separato può essere riciclato quasi interamente, mentre il calcestruzzo può essere utilizzato come inerte riciclato nell'impasto di nuovi calcestruzzi conformi alla normativa dei Criteri Ambientali Minimi o, come già detto, come sottofondo di opere stradali.

---

<sup>38</sup> Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review, Wasim Salama, 31/03/2017

Il legno, al contrario del calcestruzzo armato, è un materiale con un basso impatto ambientale e che, arrivato alla fine del suo ciclo vita, può essere riutilizzato o riciclato per una grande quantità di usi.



Figura 33 - Accatastamento legname proveniente da disassemblaggio fonte: [www.alamy.com](http://www.alamy.com)

I progetti in Xlam hanno una notevole semplicità nella loro costruzione grazie ad un progetto accurato e per questo anche la fase di smontaggio risulta estremamente facile, se paragonata alle tecnologie costruttive tradizionali ed impiega un tempo considerevolmente ridotto. Per questo motivo si riduce anche il tempo di utilizzo della manodopera. Inoltre, questa fase è facilitata dal peso al m<sup>3</sup> dei pannelli Xlam che sono un quinto di quello del calcestruzzo armato.

A causa del fatto che i pannelli Xlam sono stati studiati in fase di progettazione e ingegnerizzati, la produzione di rifiuti sul posto è scarsa e qualsiasi rifiuto prodotto durante la fase di montaggio o smontaggio può essere riutilizzato per altri scopi. Ad esempio, i rifiuti prodotti in cantiere, possono essere rispediti all'azienda produttrice che li utilizzerà con emissioni zero.<sup>39</sup>

Però va ricordato che i pannelli Xlam, sono pannelli formati dalla sovrapposizione alternata di tavole mediante una colla o dei particolari adesivi. Per questo motivo, per valutare le effettive emissioni nell'ambiente, è necessario tenere conto anche dei collanti utilizzati che, durante il loro ciclo vita, possono emettere nell'ambiente diverse sostanze. Le principali aziende produttrici di pannelli Xlam, per ovviare a questo problema, hanno analizzato diverse soluzioni progettuali per eliminare l'uso di collanti classici che possono produrre formaldeide. Una delle soluzioni principalmente sviluppate è quella utilizzata nel caso studio in esame, cioè l'utilizzo

<sup>39</sup> <http://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/clt/sustainable>.

di adesivi biologici. Sono resine biologiche ottenute da rifiuti ecologici come piante, animali o cera. Attraverso questa tipologia di collante è possibile utilizzare i pannelli in Xlam normalmente durante il loro ciclo vita ed arrivati alla fine di questo, possono essere quasi interamente riciclati.

Un altro aspetto da non sottovalutare durante questa fase è la presenza di elementi metallici. Sono un impedimento al riciclaggio e possono variare da una piccola ferramenta, come chiodi o viti, ad una grande ferramenta, come piastre hold-down e angolari. Per questo motivo, il metallo deve essere rimosso in maniera scrupolosa in quanto può danneggiare i macchinari per il riciclaggio del legno. Questo procedimento aumenterà il tempo e i costi di smontaggio del fabbricato che saranno però sempre minori rispetto a quelli di un edificio in calcestruzzo armato.<sup>40</sup>

Dopo il disassemblaggio di una costruzione in Xlam, i pannelli che contengono biomassa sono riciclabili e possono essere riutilizzati. Mentre materiale come la segatura o gli sfridi dei pannelli non sono facilmente riutilizzabili o riciclabili. Per questa ragione, tagliando i materiali di scarto in dimensioni più piccole e comprimendoli, si producono i cosiddetti “chip” o pallet che, seguendo un particolare processo, non attivano i prodotti chimici dell’adesivo al loro interno e possono essere utilizzati per produrre energia da combustione. Inoltre, i trucioli di legno possono essere riutilizzati per la produzione di pannelli truciolari, pannelli in legno incollato e pannelli isolanti in fibra di legno.<sup>41</sup>

Riutilizzando il materiale di scarto e smaltimento per produrre nuovi materiali da costruzione, il concetto di ciclo di sostenibilità, composto da risorse, produzione, uso e smaltimento, è completo. Per questo motivo è possibile considerare la tecnologia costruttiva con pannelli Xlam e la sua produzione quasi al 100% sostenibile.<sup>42</sup>

#### **4.5 Confronto tra le due tecnologie costruttive: vantaggi e svantaggi**

Il Confronto tra le due tipologie costruttive è stato fatto ponendosi nella fase decisionale antecedente al bando di gara, valutando quale materiale utilizzare per realizzare la struttura del caso studio in esame.

A livello nazionale, il calcestruzzo armato è la tecnologia costruttiva predominante. Per i nuovi edifici, circa l’80% del settore dell’edilizia residenziale e circa il 60% del settore dell’edilizia

<sup>40</sup> <https://www.building.co.uk/focus/recycling-timber-wasting-away/5078393.article>.

<sup>41</sup> Cross Laminated Timber as Sustainable Construction Technology for Future, Tommaso Scalet, 2015.

<sup>42</sup> Cross Laminated Timber as Sustainable Construction Technology for Future, Tommaso Scalet, 2015.

non residenziale, sono realizzati in struttura portante in calcestruzzo armato (dati forniti dalla AITEC, *Associazione Italiana Tecnico Economica del Cemento*). Per quanto riguarda le strutture in legno, le nuove costruzioni sono realizzate con questo materiale con un'incidenza del 10%. Se si considera il solo settore dell'edilizia residenziale, scende al 3% (dati forniti da Promo\_Legno (Associazione italiana che si occupa della promozione del legno nell'Edilizia)).<sup>43</sup>

Tenendo in considerazione quanto detto, il confronto è stato basato sui tre requisiti predominanti del Decreto Ministeriale 11/10/2017 dei Criteri Ambientali Minimi, quali: l'aspetto della sostenibilità dei materiali utilizzati, la disassemblabilità e la riciclabilità dell'opera a fine vita. Inoltre, è stato effettuato un ulteriore confronto relativo al prezzo dei materiali utilizzati nelle due diverse tecnologie costruttive, valutando la sola fornitura in cantiere.

Nei sottocapitoli che seguono si esplicitano i vantaggi e gli svantaggi delle due diverse tecnologie costruttive nei vari confronti analizzati.

#### 4.5.1 Confronto tra i materiali da costruzione

Il paragone tra i due materiali che compongono la struttura del caso studio è stato effettuato analizzando e mettendo a confronto le loro caratteristiche di seguito riportate:

- **Leggerezza:**  
la struttura in Xlam ha un peso nettamente inferiore rispetto alla struttura in calcestruzzo armato. Si parla di un peso variabile dai  $4\text{kN/m}^3$  ai  $10\text{kN/m}^3$  per l'Xlam contro i  $25\text{kN/m}^3$  del calcestruzzo armato. La maggior leggerezza è valutata positivamente sul sistema strutturale, sulla movimentazione in cantiere e sul trasporto.
- **Durevolezza:**  
l'Xlam è soggetto maggiormente a fenomeni di corrosione derivanti da fattori biologici, fisici, chimici e ambientali che nel tempo possono ridurre le proprie caratteristiche principali, quali per esempio la capacità resistente. Per tale motivo, questo materiale deve subire dei trattamenti preventivi, in fase di produzione e di manutenzione, che ne aumentano i costi. Nel calcestruzzo armato non si presentano questi specifici fenomeni di corrosione di cui sopra; è un materiale che presenta una vita notevolmente maggiore e gli interventi di manutenzione durante il suo ciclo vita sono minimi.
- **Resistenza al fuoco:**

---

<sup>43</sup> <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/legno/legno-calcestruzzo-sfida-sostenibilita-370>.



le strutture in calcestruzzo armato presentano un'elevata resistenza al fuoco grazie al calcestruzzo che ricopre l'acciaio. Anche le strutture in Xlam presentano un'elevata resistenza al fuoco, molto vicina a quella del calcestruzzo armato, resa possibile da dei trattamenti di ignifugazione.

- Affidabilità:

le caratteristiche fisiche e meccaniche dei pannelli impiegati nella struttura possono essere ritenute "quasi" note e questo comporta la conoscenza delle tensioni reali che andranno a gravare struttura. Mentre per quanto riguarda il calcestruzzo armato, le tensioni calcolate possono variare dalle tensioni che si andranno a sviluppare effettivamente sulla struttura, in quanto in cantiere, durante la realizzazione, possono essere stati effettuati dosaggi non corretti oppure il getto non è stato eseguito con cura oppure ancora può essere presente l'influenza negativa dei fattori ambientali.

- Lavorabilità:

le due tecnologie costruttive, seppur notevolmente differenti presentano una lavorabilità dei loro materiali da costruzione molto simile.<sup>44</sup>

- Comportamento al sisma:

gli edifici in pannelli Xlam hanno un'alta capacità di resistenza sismica grazie alla loro forma scatolare, in grado di assorbire le sollecitazioni sismiche verticali e orizzontali. Sono in grado di resistere alle onde d'urto del terremoto meglio di una analoga struttura in calcestruzzo armato.

Da questo confronto tra i materiali delle due tipologie costruttive, è stato valutato che la tecnologia costruttiva con pannelli Xlam è considerata una buona soluzione progettuale almeno quanto la soluzione del calcestruzzo armato per la realizzazione del caso studio in esame.

#### 4.5.2 Confronto per disassemblaggio e riciclabilità a fine vita

Le analisi riportate precedentemente sono state fondamentali per rilevare che l'edificio realizzato in Xlam sfrutta una più bassa energia di demolizione rispetto ad un edificio in cemento armato. Ci sono stati degli studi a livello mondiale che determinano l'energia della demolizione e le emissioni di gas serra per le due tipologie di edifici ed è provato che una struttura in calcestruzzo armato ha delle emissioni che variano dal 3% al 8%<sup>45</sup>, mentre le strutture in legno dell'1%<sup>46</sup> (le analisi riportate hanno considerato un ciclo vita dell'edificio di

<sup>44</sup> [https://seieditrice.com/progettazione-costruzioni-impianti/files/2012/04/4\\_1\\_1\\_confronto\\_legno\\_CA.pdf](https://seieditrice.com/progettazione-costruzioni-impianti/files/2012/04/4_1_1_confronto_legno_CA.pdf).

<sup>45</sup> Life-Cycle assessment of office buildings in Europe and the United States J. Infrastruct. Sys; Junnila, S. Horvath, A. Guggemos, A.A.; 2006.

<sup>46</sup> Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. Energy Build; Gustavsson, L. Joelsson, A. Sathre, R; 2010

50 anni). Questo evidenzia che la struttura in Xlam consuma meno energia durante la fase di demolizione.

Oltre all'aspetto dell'energia e delle emissioni prodotte durante la fase di demolizione, è stato fatto riferimento anche alle opzioni di smaltimento, sia per i materiali della struttura in cemento armato che per la struttura in pannelli Xlam. Come è stato visto precedentemente, dopo la demolizione, i materiali che compongono la costruzioni possono essere riciclati, riutilizzati, smaltiti in discarica oppure convertiti in energia.

In entrambe le tipologie costruttive, è stato confermato che se si procede con un piano di demolizione concentrato al riutilizzo dei materiali, si ha un aumento dei tempi, di energia prodotta e dei costi. Però l'opzione del riutilizzo è stata valutata più fattibile nella struttura in Xlam, in quanto gli elementi strutturali, possono essere smontanti perché realizzati come elementi individuali prefabbricati. Tale procedura sarebbe molto più difficile da effettuare con la struttura in calcestruzzo armato poiché, essendo stato gettato in opera, va a creare una struttura monolitica.

Per quanto riguarda le opzioni di riciclaggio e ritrattamento, queste possono essere applicate sia ai sistemi in Xlam che a quelli in calcestruzzo armato. I pannelli in Xlam danneggiati, ad esempio quelli alla base della struttura, possono essere riprocessati come nuovi prodotti di qualità inferiore oppure possono seguire un processo di riciclo per la realizzazione di pannelli truciolari, pannelli in legno incollato o pannelli isolanti in fibra di legno. Allo stesso modo, il calcestruzzo armato, può essere frantumato e utilizzato nei letti delle strade oppure può anche sostituire gli aggregati naturali nella produzione di nuovo calcestruzzo. Le barre in acciaio possono essere quasi interamente riciclate dalle quali è possibile realizzare nuovi prodotti metallici di qualità leggermente inferiore.

L'opzione del recupero del materiale per la produzione di energia è stata valutata solo per la struttura in Xlam in quanto il materiale può essere convertito in pallet per produrre energia da combustione.

Infine, lo smaltimento dei materiali da costruzione in discarica è stato valutato per entrambe le tipologie costruttive.



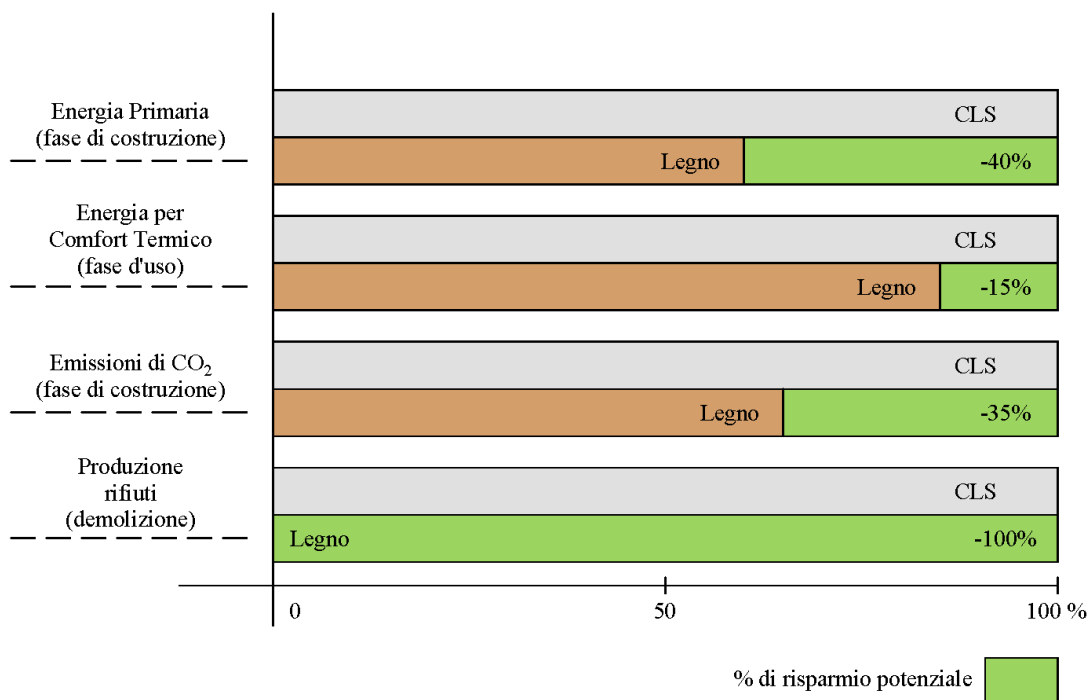


Figura 34 - Legno VS Calcestruzzo. Chi vince la sfida della sostenibilità? Fonte: [www.architetturaecosostenibile.it](http://www.architetturaecosostenibile.it)

Da questo confronto si può dire che l'alternativa del sistema costruttivo con pannelli Xlam dispone di più opzioni di smaltimento, tra cui il riutilizzo delle proprie componenti e il recupero di energia tramite combustione che non sono applicabili ad una progettazione in calcestruzzo armato gettato in opera.<sup>47</sup>

#### 4.5.3 Confronto tra le analisi prezzo

Per confrontare i materiali da costruzione, quali calcestruzzo, acciaio e Xlam, sono stati tenuti in considerazione i soli prezzi relativi alla fornitura in cantiere senza costi aggiuntivi come lavorazioni o manodopera.

Il prezzo del calcestruzzo armato è stato valutato considerando separatamente i due materiali: il calcestruzzo e l'acciaio.

Per il calcestruzzo va ricordato che l'analisi è stata effettuata facendo riferimento a due tipologie di calcestruzzo, il C25/30 con classe di esposizione XC2 e consistenza S4 ed il C28/35 con

<sup>47</sup> A Comparative Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Mid-Rise Office Building Construction Alternatives: Laminated Timber or Reinforced Concrete; Adam B. Robertson, Frank C.F. Lam and Raymond J. Cole; 2012

classe di esposizione XC3 e stessa classe di consistenza S4. È stata effettuata un'ulteriore suddivisione tra la tipologia conforme al nuovo decreto sui Criteri Ambientali Minimi (con all'interno un 5% in peso di materiale proveniente da riciclo) e un calcestruzzo non conforme al nuovo decreto. Si è visto che tra le sei aziende contattate solo due avevano il certificato EPD. Di seguito sono stati riportati due grafici riassuntivi del confronto.

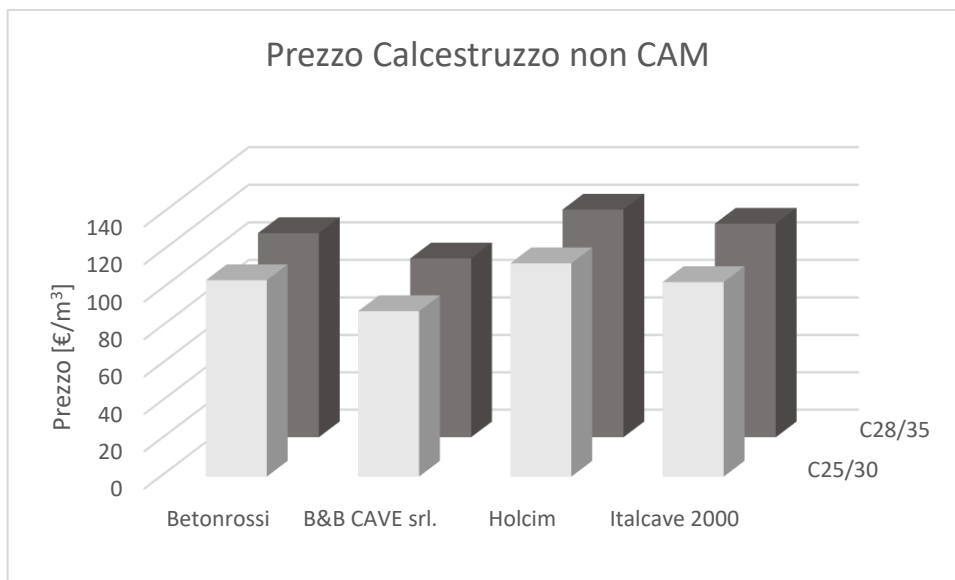


Figura 35 - Confronto tra i prezzi del calcestruzzo forniti da aziende non conformi ai Criteri Ambientali Minimi

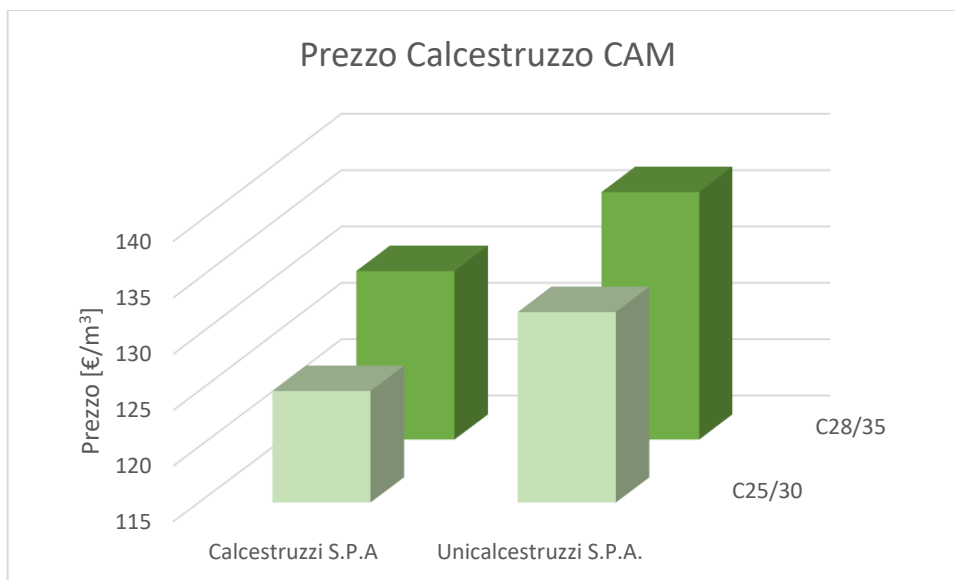


Figura 36 - Confronto tra i prezzi del calcestruzzo forniti da aziende conformi ai Criteri Ambientali Minimi

I prezzi variano significativamente tra le due tipologie di calcestruzzo; infatti vi è uno scarto di 25€/m<sup>3</sup>. In media il calcestruzzo non CAM ha un prezzo di 106 €/m<sup>3</sup> contro i 131 €/m<sup>3</sup> di un calcestruzzo conforme ai CAM. Tale differenza di prezzo è stata ritenuta insolita in quanto all'interno del calcestruzzo conforme ai CAM vi è la presenza di inerte riciclato e non inerte naturale.

Per capire da cosa è dovuta tale differenza di prezzo, è stata contattata l'azienda "ItalCalcestruzzi" in quanto produttrice di calcestruzzi conformi ai Criteri Ambientali Minimi. Sono state fornite indicazioni inerenti a tale materiale per il Piemonte. In tale regione è difficile raggiungere il contenuto minimo del 5% di materiale riciclato all'interno di un calcestruzzo ad uso strutturale con i soli aggregati, in quanto sono difficili da reperire. Per ovviare a questo problema, il contenuto obbligatorio del 5%, di materiale riciclato viene inserito nel cemento. Il prezzo di questi calcestruzzi risulta essere maggiore proprio perché la gestione del materiale riciclato varia molto dalle differenti zone dell'Italia.

In particolare, in Piemonte non esistono società o aziende che producano inerte riciclato con appropriata marcatura che ne identifica l'utilizzo nelle componenti strutturali. In Lombardia si può trovare qualche azienda, ma come materiale riciclato vengono utilizzate scorie di acciaieria. Quindi il principale problema è l'assenza di aziende che producano materiale riciclato e per questo costa meno produrre l'aggregato naturale (soprattutto in Piemonte che è un territorio dove sono presenti molte cave e questo ne abbassa i costi) che la lavorazione dell'aggregato riciclato.

Il calcestruzzo proveniente da demolizioni viene riutilizzato principalmente per produrre sottofondi o letti delle strade e difficilmente viene utilizzato come aggregato per la produzione di calcestruzzo armato per uso strutturale. Per queste motivazioni, per raggiungere il quantitativo del 5% di materiale riciclato si agisce sul legante. La parte riciclata contenuta nel cemento è composta da ceneri volanti o scorie di acciaierie. In Italia ci sono pochissime scorie di acciaierie, in quanto ci sono pochissime acciaierie che facciano un ciclo completo. Mentre le ceneri volanti utilizzate sono quelle di carbone e sono difficili da trovare in Italia in quanto è un materiale prezioso; per questo motivo queste vengono recuperate dalla Francia.

Inoltre, se viene richiesto un contenuto maggiore del 5% di materiale riciclato all'interno del calcestruzzo armato strutturale, la sola azione sul cemento non è più sufficiente ed in questo caso si tende ad inserire inerti provenienti da riciclo. Però la qualità e le caratteristiche dell'aggregato riciclato sono inferiori a confronto di un aggregato naturale, per cui la miscelazione per la realizzazione del calcestruzzo deve prevedere più cemento e di migliore qualità. Solitamente, come aggregato riciclato vengono utilizzati aggregati pozzolanici derivanti dal ciclo delle ferriere al posto degli aggregati provenienti da demolizione di opere esistenti, poiché questi ultimi sono molto incostanti.

Infine, l'aumento del prezzo è dovuto non all'utilizzo di inerte provenite da riciclo ma dalla necessità di aggiungere più cemento e di qualità superiore per ottenere le caratteristiche meccaniche richieste. Si può concludere affermando che per i calcestruzzi contenenti al loro interno solo il 5% di materiale riciclato, come previsto dai Criteri Ambientali Minimi, le aziende intervengono solo sulla componente cementizia dell'impasto di calcestruzzo introducendo ceneri volanti o scorie di acciaierie, che non sono reperibili a basso costo in quanto in Italia non vi è una grande quantità. Invece, per una richiesta di materiale riciclato superiore al 5% all'interno del calcestruzzo, le aziende sono obbligate ad inserire aggregati provenienti da riciclo e per compensare le sue scarse caratteristiche devono essere inseriti dei cementi di qualità migliore che però ne aumentano il prezzo. Quindi la maggiorazione del prezzo di un calcestruzzo con materiale riciclato rispetto ad uno che non ne ha, non è dovuta all'aggregato, che di per sé costa meno o al massimo ha lo stesso prezzo di un aggregato naturale se si considerano le lavorazioni del riciclo, ma dalla tipologia di legante cementizio utilizzato.

Dopo questa analisi si è passati al calcolo delle barre d'acciaio da utilizzare come rinforzo strutturale per il calcestruzzo. Si ricorda che la tipologia delle barre utilizzate è la B450C. Questa analisi è stata effettuata tenendo in considerazione il prezzo delle barre fornito da tre aziende leader nel settore italiano. Il prezzo tiene in conto della fornitura ed anche le lavorazioni come sagomatura e legatura. Come si può notare dal grafico riportato di seguito, il prezzo è poco variabile tra le varie aziende con una media di 1,40 €/kg. Inoltre, tutte e tre le aziende producono acciaio conformi ai Criteri Ambientali Minimi e hanno rilasciato il certificato che lo attesti. Il contenuto di materiale riciclato in tutte le aziende è all'incirca del 95% quindi si può affermare che per l'acciaio non ci siano problemi secondo gli aspetti di riciclabilità; questo è dovuto principalmente alle sue caratteristiche chimico fisiche. Inoltre, il processo del riciclo dell'acciaio è presente da ben più tempo del calcestruzzo e, per questo motivo, tale processo ha un costo nettamente inferiore rispetto alla produzione dell'acciaio derivante dalla materia prima.

Di seguito è stato riportato il grafico che pone a confronto i prezzi forniti dalle tre aziende contattate.

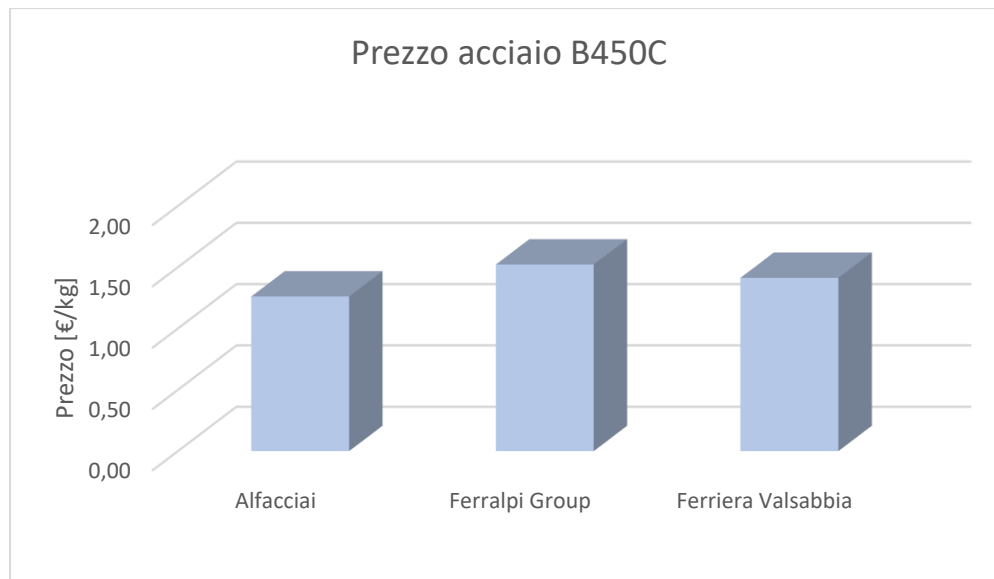


Figura 37 - Confronto barre d'acciaio per calcestruzzo B450C fornite dalle aziende

Avendo calcolato i prezzi relativi ai singoli materiali, è stato poi calcolato il prezzo totale della struttura in calcestruzzo armato, semplicemente sommando i prezzi. Di seguito sono riportati i due prezzi a confronto:

- Struttura in cemento armato NON conforme ai CAM = 139.899 €
- Struttura in cemento armato conforme ai CAM = 147.436 €

Infine, i prezzi dei pannelli Xlam variano in modo significativo in quanto non vi sono dei tariffari standard da poter confrontare. Il prezzo al m<sup>2</sup> può variare tra le diverse aziende produttrici. Sono state contattate quattro aziende che hanno fornito dei prezzi variabili dai 104 €/m<sup>2</sup> ai 136 €/m<sup>2</sup>. Inoltre è stato chiesto anche l'incidenza della ferramenta nella costruzione e tutte le aziende hanno dichiarato una percentuale all'incirca del 10% sul prezzo dei pannelli.

Di seguito è riportato un grafico che confronta i prezzi dei pannelli in Xlam dello spessore di 158 mm con la relativa incidenza della ferramenta.

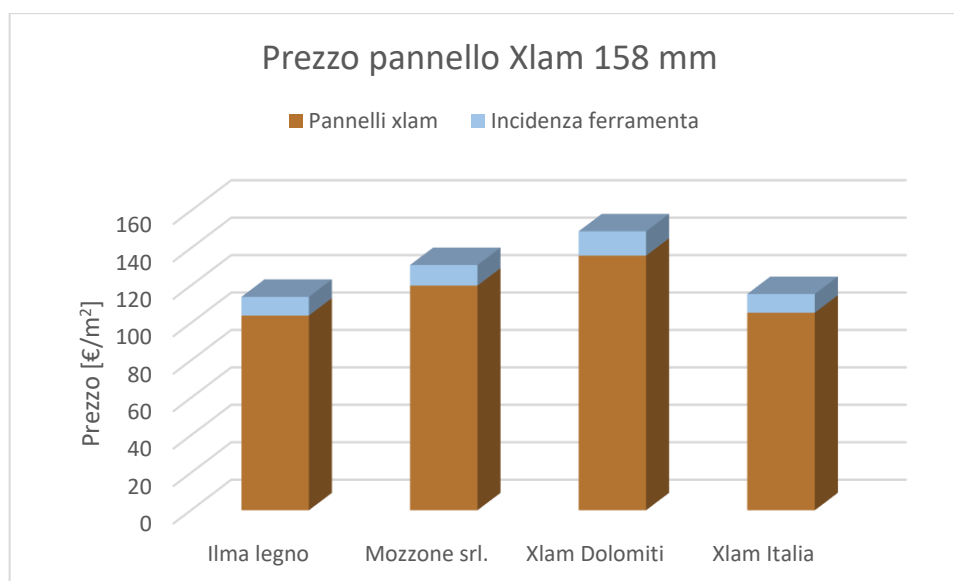


Figura 38 - Confronto pannelli Xlam sp.158 mm forniti dalle aziende con incidenza ferramenta

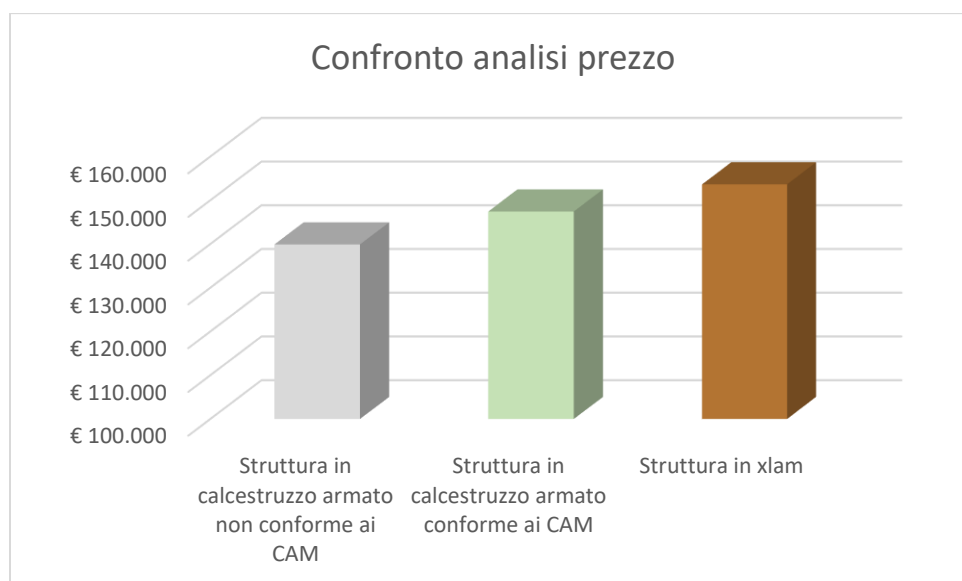
Avendo determinato il prezzo dei pannelli in Xlam e la relativa incidenza della ferramenta, è stato possibile calcolare il prezzo totale della struttura semplicemente mediando i risultati ottenuti. Di seguito è stato riportato tale importo:

- Struttura in Xlam = 153.643 €

Quindi la tecnologia costruttiva in Xlam risulta essere poco più costosa rispetto alla tecnologia costruttiva del calcestruzzo armato sia conforme ai Criteri Ambientali Minimi che non conforme, come si evince dalla seguente tabella e rispettivo grafico.

Tabella 33 - Confronto finale analisi prezzo

Tipologia caso studio	Prezzo
Struttura in calcestruzzo armato non conforme ai CAM	€ 139.899
Struttura in calcestruzzo armato conforme ai CAM	€ 147.436
Struttura in Xlam	€ 153.643



*Figura 39 - Confronto finale analisi prezzo*

Però il risparmio più grande dei pannelli Xlam rispetto al calcestruzzo armato è la prefabbricazione. I pannelli Xlam sono modellati esattamente come da progetto, con una precisione al millimetro e, una volta arrivati in cantiere, sono pronti ad essere assemblati come blocchi di “Lego”. Questo processo di prefabbricazione riesce a garantire un ottimo coordinamento tra la fase di progettazione, di produzione e di costruzione. I costi complessivi del progetto sono ridotti perché la fase di costruzione è più breve in quanto i materiali arrivano in cantiere pronti per essere montati.

Si può concludere dicendo che il costo relativo alla sola fornitura di una struttura portante in Xlam è mediamente maggiore rispetto ad un’analoga struttura realizzata in calcestruzzo armato; è da sottolineare però il fatto che le fondazioni di quest’ultima, a confronto, presentano un costo maggiore in quanto necessitano di una maggior quantità di acciaio per sostenere il peso della struttura che è quattro volte maggiore rispetto a quello della struttura realizzata con pannelli Xlam.<sup>48</sup>

Considerando le spese iniziali dei materiali, ottenute dall’analisi prezzo, si può dire che la costruzione in Xlam ha un costo di circa il 5% in più rispetto alla costruzione in calcestruzzo armato, ma questo prezzo andrà ad abbassarsi nei successivi step di costruzione.

Tutti i lavori di montaggio e di completamento dell’edificio in Xlam, rispetto alla struttura in calcestruzzo armato, sono più veloci e quindi richiedono meno manodopera e di conseguenza hanno un costo minore. Anche i fissaggi tra gli elementi non strutturali, come impianti e pareti divisorie, si semplificano notevolmente.

<sup>48</sup> <https://biolegnoedilizia.it/i-costi/>.

Si deve anche tenere conto che il prezzo al metro quadro si abbassa ulteriormente se si considera la superficie calpestabile interna, poiché una struttura in Xlam produce circa il 10% in più di superficie. Il responsabile di questo aumento di superficie è lo spessore delle pareti in Xlam che sono inferiori, rispetto alle analoghe pareti in calcestruzzo armato, e questo genera un aumento di superficie interna significativo.<sup>49</sup>

In conclusione, analizzando i confronti appena riportati, è stata scelta la tecnologia costruttiva in Xlam per la struttura dell'ampliamento del caso studio, in quanto risulta la migliore soluzione sotto tutti gli aspetti ed inoltre rispetta appieno i Criteri Ambientali Minimi che sono ormai obbligatori per gli appalti pubblici.

---

<sup>49</sup> <https://biolegnoedilizia.it/i-costi/>.





## 5. L'AGGIUDICAZIONE DELL'APPALTO E IL TEMA DEI CAM

Come è stato esplicitato nei capitoli precedenti, i Criteri Ambientali Minimi devono essere previsti ed inseriti nei documenti di gara di cui al D.M. 11/10/2017.

Una volta concluso il progetto esecutivo dell'opera, il Responsabile Unico del Procedimento (RUP) ha l'incarico di redigere il bando di gara, scegliere quale tipologia di aggiudicazione adottare per l'appalto e individuare i criteri su cui attribuire i punteggi ai vari operatori economici che partecipano alla procedura di selezione.

La norma stabilisce due tipologie di aggiudicazione per l'appalto: quella al massimo ribasso e quella secondo l'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa (OEPV).

Nel caso studio preso in esame è stato previsto, nel relativo bando di gara (Novembre/2015), l'aggiudicazione dell'appalto secondo il criterio del massimo ribasso.

Questo tipo di aggiudicazione è utilizzata nelle gare dove l'unica discriminante per la scelta dell'operatore economico a cui affidare il lavoro è il prezzo. In questo caso vengono stabiliti una serie di requisiti minimi che devono essere rispettati dai vari operatori economici per poter partecipare alla gara. Per questo motivo, a parità di condizioni, i vari operatori presentano la loro offerta e verrà scelta dalla Stazione Appaltante quella con il prezzo più basso dopo aver fatto le dovute analisi relativamente all'anomalia dell'offerta, ove previsto. Con il criterio di aggiudicazione al massimo ribasso, non ha senso parlare di Criteri Ambientali Minimi, se non per verificare di quanto, in termini monetari, una soluzione sia migliore (più economica) rispetto all'altra.

In ragione di questa premessa, è stato ipotizzato un caso teorico a solo scopo di analisi, dove a base dell'appalto di gara sia data la possibilità di scegliere tra le due tecnologie costruttive, quella del calcestruzzo armato e quella dell'Xlam. Per questo motivo, se nel caso studio in esame è stata prevista l'aggiudicazione secondo il massimo ribasso, dal punto di vista dell'operatore economico (impresa di costruzione) la scelta tra le due tecnologie costruttive ricadrà inevitabilmente su quella tradizionale del calcestruzzo armato, in quanto il prezzo della sola struttura portante è il 4% più basso rispetto a quello della tecnologia in Xlam.

Questa tipologia di aggiudicazione di gara non premia chiaramente la qualità del prodotto. Per queste ragioni i vari operatori economici, per non perdere la gara e aggiudicarsi il lavoro, tenderanno a proporre un'offerta con il minor prezzo, andando talvolta ad inficiare la qualità finale del prodotto.

Avendo analizzato brevemente l'aspetto dell'aggiudicazione secondo il massimo ribasso e quello che comporta, è stata ipotizzata un'altra situazione (sempre teorica), quella che

prevedrebbe nel bando di gara un'aggiudicazione secondo l'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa (OEPV) e non più al massimo ribasso o minor prezzo.

In una gara con questo tipo di aggiudicazione, la valutazione dell'offerta è basata su due aspetti: il prezzo e la qualità del prodotto; per questo motivo sarebbe opportuno applicare questa tipologia di aggiudicazione dell'appalto, volendo tenere conto dei Criteri Ambientali Minimi emanati dal Ministero.

In questo caso, gli operatori economici devono presentare l'offerta che non solo rispetta appieno quanto previsto dai CAM Edilizia, ma andando a migliorarne i punti all'interno del progetto esecutivo. Le ottimizzazioni apportate andando ad agire sul miglioramento dei Criteri Ambientali Minimi consentiranno di ricevere, agli operatori economici che partecipano alla gara, un maggior punteggio dell'offerta presentata.

## **5.1 Il criterio dell'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa (OEPV)**

Il criterio di aggiudicazione dei contratti pubblici secondo l'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa è stato studiato per individuare, in maniera il più possibile oggettiva, la migliore offerta presentata in fase di gara.

A differenza del criterio del minor prezzo (o massimo ribasso come definito dalla precedente normativa), consente di valorizzare alcuni aspetti, a vantaggio di scelte premianti la qualità delle offerte.

All'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa è dedicata la linea guida n.2 dell'ANAC che dettaglia modalità operative e strumenti per la valutazione delle offerte.

L'art.34 introduce i criteri di sostenibilità energetica e ambientale e al punto 1 esplicita che: *“Le stazioni appaltanti contribuiscono al conseguimento degli obiettivi ambientali previsti dal Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della pubblica amministrazione attraverso l'inserimento, nella documentazione progettuale e di gara, almeno delle specifiche tecniche e delle clausole contrattuali contenute nei criteri ambientali minimi adottati con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e conformemente, in riferimento all'acquisto di prodotti e servizi nei settori della ristorazione collettiva e fornitura di derrate alimentari, anche a quanto specificamente previsto nell'articolo 144”*. Inoltre al punto 2 viene anche esplicitato che: *“I criteri ambientali minimi definiti dal decreto di cui al comma 1, in particolare i criteri premianti, sono tenuti in considerazione anche ai fini della stesura dei documenti di gara per l'applicazione del criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, ai sensi dell'articolo 95, comma 6. Nel caso di contratti*

*relativi alle categorie di appalto riferite agli interventi di ristrutturazione, inclusi quelli comportanti demolizione e ricostruzione, i criteri ambientali minimi di cui al comma l, sono tenuti in considerazione per quanto possibile, in funzione della tipologia di intervento e della localizzazione delle opere da realizzare, sulla base di adeguati criteri definiti dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare".<sup>50</sup>*

I criteri generali si possono dividere in base al tipo di valutazione. I criteri quantitativi, che sono quelli misurabili tramite un procedimento algoritmico e possono essere automaticamente tradotti in valori numeri, come per esempio i tempi di costruzioni o il costo di realizzazione. Poi si possono avere i criteri qualitativi che sono quelli non misurabili oggettivamente e possono essere valutati con la sola esperienza dei membri della commissione aggiudicatrice e quindi sono discrezionali; per esempio si può ricorrere a questo tipo di criterio nella valutazione degli aspetti energetici e funzionali oppure ai requisiti materiali o all'efficacia di manutenzione.<sup>51</sup>

Quindi l'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa individua, sulla base del miglior rapporto di qualità e prezzo e valutando con criteri oggettivi, gli aspetti migliorativi della qualità, dell'ambiente o sociali, relativi all'opera dell'appalto. Tra i criteri di valutazione possono rientrare quelli riferiti:

- Alla qualità, che comprende al suo interno i miglioramenti tecnici, estetici e funzionali. Inoltre tiene conto del metodo di progettazione e delle caratteristiche sociali, ambientali e di contenimento dei consumi energetici.
- Al possesso di un marchio di qualità ecologica dell'Unione Europea (come ad esempio l'Ecobel sopra descritto) in relazione all'oggetto del contratto.
- Al costo di utilizzazione e manutenzione in relazione ai consumi energetici delle risorse utilizzate, alla emissione di inquinante e ai costi complessivi riferiti all'intero ciclo di vita dell'opera oggetto dell'appalto. Ponendo l'obiettivo strategico dell'uso più efficiente delle risorse e di rientrare in un'economia circolare che valorizzi l'ambiente.
- Alla compensazione delle emissioni di gas ad effetto serra determinate attraverso quanto stabilito nella raccomandazione n.2013/179/UE della Commissione del 09/04/2013.
- All'esperienza del personale utilizzato nell'appalto, qualora influisca significativamente sul livello finale dell'esecuzione dell'appalto.
- Al successivo servizio di vendita e assistenza tecnica.
- Alle condizioni di consegna, come ad esempio la data e il processo di consegna uniti al termine di esecuzione dei lavori.

---

<sup>50</sup> D.Lgs.50/2016; D.Lgs.56/2017.

<sup>51</sup> Slide "Estimo ed esercizio professionale" – Prof.ssa Manuela Rebaudengo, 2018

## 5.2 I criteri premianti dei CAM

Il Decreto Ministeriale 11/10/2017, al paragrafo 2.6, stabilisce i criteri premianti da attribuire agli operatori economici che vanno a migliorare gli aspetti obbligatori posti nel bando di gara relativi ai Criteri Ambientali Minimi:

- La Capacità tecnica dei progettisti: dove viene attribuito un punteggio maggiore deciso dalla stazione appaltante in relazione ai miglioramenti prestazionali ottenuti se l'affidatario del servizio di progettazione è un professionista accreditato agli organismi di certificazione energetico-ambientale secondo la norma di integrazione ISO/IEC 17024 – “Conformity assessment - General requirements for bodies operating certification of persons” o equivalente.
- Il miglioramento prestazionale del progetto: dove viene attribuito un punteggio del 5% deciso dalla stazione appaltante in relazione ai miglioramenti prestazionali ottenuti se sono state previste prestazioni superiori per alcuni o tutti i Criteri Ambientali Minimi previsti a base di gara. Tale punteggio sarà proporzionale al numero di criteri base per cui è stata prevista una prestazione superiore.
- Il sistema di monitoraggio dei consumi energetici: dove viene attribuito un punteggio deciso dalla stazione appaltante in relazione ai miglioramenti prestazionali ottenuti se si prevede l'installazione e messa in servizio di un sistema di monitoraggio dei consumi energetici in grado di fornire informazioni sull'uso di energia dell'edificio.
- I materiali rinnovabili: dove viene attribuito un punteggio deciso dalla stazione appaltante in relazione ai miglioramenti prestazionali ottenuti se vengono utilizzati materiali da costruzione derivanti da materie prime rinnovabili (secondo norma UNI EN ISO 14021) per almeno il 20% in peso sul totale dell'edificio escluse le strutture portanti. Il punteggio è progressivo e prevede tre sogli distinte correlate da una percentuale in peso pari o superiore al 20%.
- La distanza di approvvigionamento dei prodotti da costruzione: dove viene attribuito un punteggio deciso dalla stazione appaltante in relazione ai miglioramenti prestazionali ottenuti se viene previsto l'utilizzo di materiali estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati (processo di fabbricazione) ad una distanza massima di 150 km dal cantiere di utilizzo, per almeno il 60% in peso sul totale dei materiali utilizzati.<sup>52</sup>

Come visto, i vari operatori economici per cercare di aggiudicarsi il lavoro e quindi per ottenere un maggior punteggio dalla Stazione Appaltante possono puntare sul miglioramento dei Criteri Ambientali Minimi inseriti obbligatoriamente nel bando di gara.

---

<sup>52</sup> D.M.11/10/2017.

### 5.3 Applicazione dell'OEPV al caso studio

Come si è già detto, è stato ipotizzato di prevedere l'aggiudicazione secondo l'Offerta Economicamente Più Vantaggiosa per il caso studio in esame e di seguito sono state riportate alcune considerazioni del tutto teoriche inerenti alla tecnologia costruttiva in Xlam, in quanto presenta il miglior rapporto qualità prezzo come risultato dalle analisi riportate nei capitoli precedenti.

I vari operatori economici che vogliono partecipare all'aggiudicazione del bando devono fornire alla Stazione Appaltante l'offerta economica e l'offerta tecnica.

L'offerta economica tiene conto del prezzo finale del lavoro e ha un incidenza massima del 30% sull'aggiudicazione dell'appalto, come previsto dal D.Lgs. 50/2016 nell'art.95 successivamente corretto con il D.Lgs. 56/2017 nell'art.60. Mentre l'offerta tecnica tiene conto della qualità del lavoro e dei prodotti utilizzati ed ha un incidenza che varia dal 70% al 80% in funzione dell'incidenza dell'offerta economica.

Fatto questa breve premessa sulle due tipologie di offerte che l'operatore economico deve presentare per aggiudicarsi l'appalto del lavoro, è stato ipotizzato che un teorico bando preveda 30 punti per l'offerta economica e 70 punti per l'offerta tecnica. Inoltre, per ottenere il massimo punteggio nell'offerta economica, è stato preso in considerazione il prezzo a base di gara (ricavato dal bando del caso studio, Novembre/2015) di 739.233,77 € a cui è stato sottratto il ribasso medio delle aggiudicazioni in Piemonte nell'anno 2015 del 27,40% ottenendo così un importo di 580.246,29 €.

Le analisi prezzo riportate sono indicative della sola componente strutturale dell'opera e quindi non tengono conto delle restanti parti che la completano, come la finitura dell'involucro edilizio, gli infissi, gli impianti, ecc. Per questo motivo è stato ipotizzato che la componente prezzo strutturale abbia un'incidenza del 25% sul totale del prezzo.

Per tale motivo è stato calcolato innanzitutto il prezzo totale dell'opera realizzata in calcestruzzo armato che è risultato pari a 589.744 €. Stesso ragionamento è stato applicato all'edificio in pannelli Xlam ottenendo un prezzo totale di 614.572 €. A questo punto i due prezzi sono stati confrontati con il prezzo a base di gara ridotto del 27,40% per determinare l'aggiudicazione dei relativi punteggi. Per quanto riguarda l'opera realizzata in calcestruzzo armato è stato attribuito un punteggio di 30 punti, in quanto i due prezzi totali differiscono di una quantità irrilevante. Mentre per l'edificio in Xlam, i due prezzi risultano differire di 34.325,71 € e sono stati quindi attribuiti 28 punti totali.

Per effetto di questa scelta, però, è possibile accedere a punti premiali: sono stati infatti valutati su quali punteggi dell'offerta tecnica l'operatore economico, che presenta a base di gara il progetto della struttura in pannelli Xlam, può fare affidamento per ricevere i punti premiali che andranno a sopperire i punti persi nell'offerta economica.

In particolare, tenendo conto del D.M. 11/10/2017, l'operatore economico può fare affidamento ai punti che riguardino il miglioramento prestazionale del progetto, l'inserimento di materiali rinnovabili e la scelta di prodotti da costruzioni con distanza minima di approvvigionamento.

Sulla base del miglioramento prestazionale del progetto, si può considerare che una struttura realizzata con la tecnologia dei pannelli Xlam riceva il massimo punteggio. L'incidenza stabilita dalla legge è del 5% sul totale dell'opera, ma in questa valutazione è stato tenuto conto della sola componente strutturale e quindi è stata ridotta del 25% ottenendo così un'incidenza del 1,25%. È stato possibile attribuire quindi il massimo punteggio in quanto una struttura realizzata con questa tecnologia presenta un bassissimo impatto ambientale.

Per quanto riguarda l'inserimento dei materiali rinnovabili, si può pensare che all'operatore economico venga attribuito il massimo punteggio con incidenza del 20% sul totale che però anche in questo caso è stata ridotta del 25% per lo stesso motivo di cui sopra, ottenendo una percentuale pari al 5%. Tale criterio premiante è applicabile alla struttura in pannelli Xlam in quanto è composta interamente da materie prime rinnovabili. Infatti il legno utilizzato è un materiale sostenibile quasi al 100% ed essendo conforme ai Criteri Ambientali Minimi, proviene da foreste sostenibili e arrivato alla fine del suo ciclo di vita può seguire diversi processi che garantiscano il suo completo smaltimento attraverso varie tipologie di trattamenti quali: riciclo, riutilizzo e recupero di energia tramite combustione.

Infine per quanto riguarda la distanza minima di approvvigionamento dei materiali da costruzione, l'operatore economico può puntare a ricevere un buon punteggio selezionando uno stabilimento di approvvigionamento il più possibile vicino al cantiere. Nel caso studio in esame, lo stabilimento di produzione di pannelli Xlam più vicino a Vinadio, è ad una distanza di 50 km e per questo l'operatore economico può puntare a ricevere un buon punteggio essendo ad una distanza inferiore ai 150 km previsti dal Decreto Ministeriale.

Quindi si può concludere affermando che, a fronte delle seguenti ipotesi e dei seguenti risultati, per poter godere appieno dei punti premiali sopra citati sarebbe opportuno andare a rendere l'intero edificio, e quindi non solo la struttura portante, rispettoso dei Criteri Ambientali Minimi per ottenere così un ottimo punteggio che non differisca molto dal massimo di 70 punti relativi all'offerta tecnica.

## 6. CONCLUSIONI

La presente tesi si poneva come obiettivo quello di dimostrare i vantaggi che possiede una struttura composta da pannelli Xlam nel rispetto dei Criteri Ambientali Minimi, alla base di un bando di gara pubblico. Per raggiungere tale obiettivo si sono confrontate due diverse tecnologie costruttive.

I risultati raggiunti sono stati positivi. Prima di tutto, tramite il caso studio preso in esame è stato possibile concretizzare ciò che è stato acquisito in modalità teorica durante la fase di ricerca sull'argomento dei Criteri Ambientali Minimi. Inoltre, in seguito alla scelta di alcuni strumenti specifici, si è imparato a conoscere le potenzialità di alcuni software utilizzati volendo ottenere quanti più benefici possibili riguardo al tema d'interesse.

Attraverso il confronto tra le due tecnologie costruttive, calcestruzzo armato e Xlam, sono stati valutati diversi aspetti inerenti all'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi. In particolare, è stato possibile evidenziare i vantaggi e gli svantaggi che le tecnologie costruttive presentano.

È evidente che l'introduzione dei CAM Edilizia, divenuti obbligatori a fine 2015 per il settore delle costruzioni, abbia apportato considerevoli vantaggi relativi alla diminuzione dell'impatto ambientale, sia per quanto riguarda l'applicazione del calcestruzzo armato conforme ai CAM che per l'utilizzo dei pannelli in Xlam. Questa nuova forma di edilizia, incentrata sulla sostenibilità, proietta l'opera verso una maggiore attenzione nel suo intero ciclo di vita (Life Cycle Assessment - LCA), andando a privilegiare l'impiego di materiali contenenti al loro interno materiale riciclato e che possano, arrivati alla fine del loro ciclo vita, essere riciclati o riutilizzati.

Il confronto tra le due tecnologie costruttive ha seguito tre aspetti cardine del CAM Edilizia, quali l'uso di materiali contenenti materiale riciclato, la disassemblabilità e la riciclabilità dell'opera arrivata a fine vita. Inoltre è stato ipotizzato di porsi in una fase decisionale, antecedente alla stesura del bando di gara, dove la Pubblica Amministrazione valuta qual è la scelta migliore da utilizzare per la realizzazione dell'opera. Inoltre, è stata effettuata un'analisi prezzo della fornitura delle sole componenti strutturali per valutare quale sia la soluzione più conveniente dal solo punto di vista economico (quello dell'operatore economico, che punta a ridurre i costi e a non curarsi degli aspetti ambientali dell'opera).

Dal confronto economico, risulta - in modo abbastanza scontato - che la struttura in pannelli Xlam ha un prezzo maggiore del 5% rispetto alla struttura in calcestruzzo armato, ma in un'ottica di ciclo di vita dell'edificio si deve tenere conto che questo maggior costo iniziale tenderà a produrre minori costi di gestione e manutenzione dell'opera. Con la scelta della tecnologia costruttiva dell'Xlam, si avrà un guadagno non tangibile immediatamente al tempo zero ma nel corso della vita utile. La fase di montaggio della struttura in pannelli Xlam, infatti,



è decisamente più veloce rispetto alla costruzione in calcestruzzo armato e questo ne determina un minor costo della manodopera utilizzata. Si avrà un ulteriore risparmio quando l'edificio arriverà alla fine del suo ciclo di vita, dal momento che una struttura in pannelli Xlam richiede minor tempo per essere disassemblata ed inoltre dispone di più opzioni di smaltimento, tra cui il riutilizzo delle proprie componenti e il recupero di energia tramite combustione che non sono applicabili alla costruzione in calcestruzzo armato, dove può essere eseguita la sola demolizione. Per di più considerando la crisi che sta vivendo il mercato dell'edilizia, è più facile approcciarsi ad una struttura sostenibile come quella in Xlam.

Quindi si può concludere affermando che dietro un apparente maggior costo iniziale, qui valutato per la sola struttura in Xlam, sono presenti considerevoli benefici (anche economici e non solo intangibili) che si manifestano nell'intero ciclo di vita dell'opera e per questo una stazione appaltante "green" dovrebbe preferire tale tecnologia costruttiva rispetto alla tradizionale del calcestruzzo armato. Purtroppo, queste scelte iniziali riflettono, però, un problema legato alla sempre minore disponibilità di denaro da investire nelle costruzioni, soprattutto da parte degli enti locali.

Per quanto riguarda invece l'aggiudicazione dei punteggi relativi all'appalto di gara, seppure la tecnologia dei pannelli Xlam perda punti nell'offerta economica, questi possono essere sopperiti tramite i possibili punti premiali definiti dal D.M. 11/10/2017, inerenti ai Criteri Ambientali minimi, ottenibili con l'offerta tecnica. Si può concludere però che per poter godere appieno di tali punti premiali, sarebbe opportuno andare a rendere l'intero edificio, e quindi non solo la struttura portante, rispettoso dei Criteri Ambientali Minimi.

## **6.1 Spunti per sviluppi futuri**

Gli argomenti trattati nella presente tesi sono stati concentrati solo sulla parte strutturale dell'edificio analizzato. Tuttavia, sulla base dei risultati raggiunti e sui vari vantaggi riscontrati, tale analisi potrebbe certamente portare benefici sotto molteplici altri aspetti di natura edilizia.

Come primo esempio vi è la possibilità di usare tale studio come base di partenza per analizzare l'edificio in tutte le sue componenti. Possono essere aggiunte le lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'opera, le componenti dell'involucro edilizio e gli elementi impiantistici in modo tale da poter sviluppare un'analisi completa. Questa analisi può essere suddivisa secondo due aspetti principali, quello economico e quello energetico. Sviluppando l'aspetto economico si avrà una visione d'insieme dei costi suddivisi per macrocategorie ed in questo modo si potrà capire l'incidenza in prezzo delle tecnologie costruttive sotto i vari aspetti. Inoltre, considerando l'opera completa, è possibile effettuare delle analisi energetiche per valutare l'effettivo impatto che le due opere, realizzate con tecnologie costruttive (e costi) differenti, hanno sull'ambiente.

Un altro interessante tema che potrebbe essere sviluppato, partendo dal lavoro svolto, è quello della valutazione degli sfridi che si avrebbero in cantiere per effetto delle due diverse tecnologie di costruzione. Gli sfridi possono essere valutati dalla fase di stabilimento per proseguire nella fase di costruzione e concludersi nella fase finale dell'opera con la demolizione. Si potrebbe quindi eseguire questa analisi con una determinata precisione andando a calcolare le percentuali corrette degli sfridi che si avranno, studiando nel dettaglio il loro possibile riciclo o riutilizzo e valutarne l'incidenza sotto forma di costo. Questo aspetto legato alla produzione dei rifiuti da costruzione demolizione è sempre più centrale nel settore delle costruzioni, e l'introduzione dei Criteri Ambientali Minimi è una parziale risposta al problema, sia in ambito nazionale che europeo.

Un altro possibile aspetto che può essere sviluppato riguarda l'utilizzo del modello BIM (Building Information Modeling), in quanto dal 2025 sarà obbligatorio per le nuove opere pubbliche di qualsiasi importo economico.<sup>53</sup> Si può ampliare il modello BIM, già realizzato per questo lavoro di tesi, con le parti mancanti dell'edificio quali ad esempio le componenti architettoniche ed impiantistiche alle quali potrebbero essere aggiunte le informazioni inerenti ai Criteri Ambientali Minimi. In questo modo si potrebbe sviluppare uno studio più approfondito su come questa nuova metodologia si possa in futuro interfacciare in modo semplice e veloce con il mondo dei Criteri Ambientali Minimi.

---

<sup>53</sup> Decreto Ministeriale 560 01/12/2017



## Bibliografia e sitografia

### Articoli:

- CRITERI AMBIENTALI MINIMI IN EDILIZIA – Rebaudengo Manuela, Prizzon Francesco, Matta Marianna, 2017
- COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO E AL PARLAMENTO EUROPEO - Politica integrata dei prodotti - Sviluppare il concetto di "ciclo di vita ambientale", 2003
- Building Disassembly and the lessons of industrial Ecology – Philip Crowther, Luglio 2000.
- MATTM, Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della P.A. ovvero PAN GPP, Il GPP come strumento della Politica Integrata di Prodotto
- Caratteristiche, proprietà e prestazioni dell’XLAM, Andrea Bernasconi, [www.promolegno.com](http://www.promolegno.com)
- Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review, Wasim Salama, 31/03/2017
- Cross Laminated Timber as Sustainable Construction Technology for Future, Tommaso Scalet, 2015
- Life-Cycle assessment of office buildings in Europe and the United States J. Infrastruct. Sys; Junnila, S. Horvath, A. Guggemos, A.A.; 2006
- Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. Energy Build; Gustavsson, L. Joelsson, A. Sathre, R; 2010
- A Comparative Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Mid-Rise Office Building Construction Alternatives: Laminated Timber or Reinforced Concrete; Adam B. Robertson, Frank C.F. Lam and Raymond J. Cole; 2012



## Siti internet:

- <http://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#2> (ultima cons. Ottobre/2018)
- <http://www.minambiente.it/pagina/contesto-normativo-e-legislazione> (ultima cons. Ottobre/2018)
- [http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu\\_gpp\\_criteria\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm) (ultima cons. Novembre/2018)
- <http://www.minambiente.it/pagina/che-cosa-e-il-gpp> (ultima cons. Novembre/2018)
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/emas> (ultima cons. Gennaio/2019)
- <http://www.an.camcom.gov.it/sites/default/files/GuidaEtichette%20Ecologiche.pdf> (ultima cons. Gennaio/2019)
- <https://eprints.qut.edu.au/2848/1/Crowther-CIB-QUT-2000.PDF> (ultima cons. Dicembre/2018)
- <https://eprints.qut.edu.au/2848/1/Crowther-CIB-QUT-2000.PDF> (ultima cons. Febbraio/2019)
- [http://www.cce.to.it/sites/default/files/files/news/Edilizia\\_Sostenibile\\_Ance-Piemonte.pdf](http://www.cce.to.it/sites/default/files/files/news/Edilizia_Sostenibile_Ance-Piemonte.pdf) (ultima cons. Gennaio/2019)
- <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/misurare-sostenibilita-ambientale-edificio-modelli-certificazione-353.html> (ultima cons. Febbraio/2019)
- <http://www.wikitecnica.com/cemento-armato/> (ultima cons. Gennaio/2019)
- [https://www.Xlamdolomiti.it/assets/site/doc/Xlam\\_Dolomiti\\_Production.pdf](https://www.Xlamdolomiti.it/assets/site/doc/Xlam_Dolomiti_Production.pdf) (ultima cons. Dicembre/2018)
- <http://www.ivalsa.cnr.it/sofie.html> (ultima cons. Marzo/2019)
- <http://www.kecase.com/vantaggi-1.html> (ultima cons. Marzo/2019)
- <http://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/clt/sustainable> (ultima cons. Febbraio/2019)
- <https://www.building.co.uk/focus/recycling-timber-wasting-away/5078393.article> (ultima cons. Gennaio/2019)
- <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/legno/legno-calcestruzzo-sfida-sostenibilita-370> (ultima cons. Febbraio/2019)
- <https://seieditrice.com/progettazione-costruzioni>  
[impianti/files/2012/04/4\\_1\\_1\\_confronto\\_legno\\_CA.pdf](https://seieditrice.com/progettazione-costruzioni) (ultima cons. Dicembre/2018)
- <https://biolegnoedilizia.it/i-costi/> (ultima cons. Febbraio/2019)



## Riferimenti normativi:

- Legge 221 del 2015 “Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali”.
- Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50 “Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture”.
- Decreto Legislativo n. 56 del 2017 Nuovo Codice dei Contratti Pubblici 2017 Disposizioni integrative e correttive al Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50.
- Comunicazione n.302 della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo – Politica integrata dei prodotti Sviluppare il concetto di “ciclo di vita ambientale”, 2003.
- Comunicazione n.397 della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Sul piano d’azione “Produzione e consumo sostenibili” e “Politica industriale sostenibile”, 2008.
- Comunicazione n.614 della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – L’anello mancante - Piano d’azione dell’Unione europea per l’economia circolare, 2015.
- DIRETTIVA 1992/75/CEE del Consiglio, del 22 Settembre 1992 concernente l’indicazione del consumo di energia e di altre risorse degli apparecchi domestici, mediante l’etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti.
- DIRETTIVA 2004/17/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 31 Marzo 2004 che coordina la procedure di appalto degli enti erogatori di acqua e di energia, degli enti che forniscono servizi di trasporto e servizi postali.
- DIRETTIVA 2004/18/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 31 Marzo 2004 relativa al coordinamento delle procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, di forniture e di servizi.
- Decreto Ministeriale del 2 Agosto 1995, n.413 Regolamento recante “Norme per l’istituzione ed il funzionamento del Comitato per L’Ecobel e l’Ecoaudit”.



- Decreto Ministeriale dell'11 Aprile 2008 aggiornato dal Decreto Ministeriale del 10 Aprile 2013 “Approvazione del piano nazionale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione”.
- Decreto Ministeriale del 24 Dicembre 2015 “Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione e criteri ambientali minimi per le forniture di ausili per l'incontinenza”.
- Decreto Ministeriale del 11 Ottobre 2017 “Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili”.
- Decreto Ministeriale dell'1 Dicembre 2017 n.560 “Modalità e i tempi di progressiva introduzione dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture (Decreto BIM)”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14020:2002 relativa ai “Principi generali di etichettatura e dichiarazioni ambientali”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14024:2001 relativa ai “Principi e linee guida per la costruzione di etichette ambientali ISO tipo I”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14021:2001 relativa ai “Principi e linee guida per la costruzione di etichette ambientali ISO tipo II”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14025:2001 relativa ai “Principi e linee guida per la costruzione di etichette ambientali ISO tipo III”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14040:2006 relativa alla “Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento”.
- Normativa internazionale UNI EN ISO 14044:2018 relativa alla “Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Requisiti e linee guida”.
- Normativa internazionale UNI EN 15804:2012 relativa alla “Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto”.

## Ringraziamenti

Un sincero ringraziamento va a tutti coloro che, in momenti diversi e in vari modi, mi sono stati vicini in questi due anni a Torino e durante la realizzazione di questo lavoro.

I primi ringraziamenti vanno al Professor Fabio Manzone ed alla Professoressa Manuela Rebaudengo: grazie per la disponibilità e cortesia dimostratemi e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura di questo lavoro.

Devo anche ringraziare l'Arch. Mariella Cagliaris e l'Arch. Stefania Sagrì per la loro grande professionalità e agli insegnamenti datomi sul mondo del lavoro.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori, per tutti i loro sacrifici che mi hanno permesso di intraprendere questa carriera universitaria lontano da casa e soprattutto grazie per essermi stati sempre vicini spronandomi ad andare avanti.

Grazie anche alla mia sorellina e al mio fratellino, che con la loro grande spensieratezza sono riusciti a portarmi in vacanza facendomi svagare lontano dallo studio.

Grazie ai miei più cari amici, Francesco e Manuel. Amici come loro ne esistono pochi; ormai ognuno ha preso la propria strada ma sono certo che potrò sempre contare su di loro.

Grazie al gruppo "Smart Boyz" composto da Luke, Alli, Leria, Ste e Sissi. In quella fantastica casa di 20 m<sup>2</sup> abbiamo passato i momenti più belli; tra pranzi (rigorosamente gluten free), feste e progetti, in voi ho trovato una vera famiglia!

Grazie a Luke per la sua grandissima "incoerenza" in tutto quello che fa e per esserci sempre stato in tutti questi giorni dall'inizio alla fine. In te ho trovato un grande amico.

Grazie ad Alli, la mia compi, per avermi aiutato e per essere riusciti insieme a superare mille problemi dandoci forza a vicenda.

Grazie ad Agnese per essermi stata vicina nei momenti belli e brutti, "grazie per quello che siamo" e che saremo.

Grazie alla Paolina, per il tuo completo disagio perché se qualcosa va male tu la fai andare ancora peggio. Grazie per aver condiviso con me gran parte dei momenti universitari e non solo.

Grazie a Luca, perché anche se ci siamo allontanati in quest'ultimo periodo, abbiamo passato dei bei momenti, insieme anche ad Andrea, tra escursioni in montagna e Villa Perosa 18.

Infine, ringrazio le mie due nonne, a loro è dedicato questo lavoro.

