

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea

“Pannelli prefabbricati per involucro edilizio. Soluzioni alternative di progetto.”

Simona Pappalardo

Relatori:

Prof. Ing. Carlo Caldera

Ing. Dario Russo

TORINO
Novembre 2018



Sommario

1. Obiettivi della tesi	3
1.1 Presentazione dell'elaborato	3
1.2 Premessa	4
2. Descrizione del progetto	4
2.1 Inquadramento territoriale	4
2.2. Dipartimento di Informatica e Segreteria Studenti	8
2.3 Biblioteca.....	10
2.4 Piano seminterrato e area esterna	11
3. Fasi di sviluppo del progetto	14
3.1 La progettazione	14
4. Gara d'appalto.....	15
4.1 Appalto integrato complesso	15
4.2 Requisiti generali dell'opera	16
4.3 Presentazione dell'offerta e criteri di valutazione adottati	19
5. Progetto definitivo aggiudicatario	24
5.1 Il progetto definitivo in confronto al Progetto Preliminare	24
5.2 Tecniche di industrializzazione del cantiere	25
5.3 Migliorie	28
5.4 Il Progetto Definitivo sotto esame	29
6. Progetto Esecutivo	31
6.1 Sviluppo del Progetto Esecutivo	31
6.2 Verifica e Validazione del Progetto Esecutivo.....	32
7. Inizio dei lavori	33
7.1 La prefabbricazione in cantiere.....	33
7.2 Strutture in elevazione.....	37
7.3 Iter di accettazione del prodotto prefabbricato	38
8. Pannelli di tamponamento esterno	41
8.1 Requisiti generali.....	41
8.2 Prestazioni termiche dell'involucro edilizio	44



8.3 Classificazione dei pannelli prefabbricati.....	46
8.4 Dalla produzione al trasporto in cantiere	51
8.5 Disposizione dei pannelli in prospetto.....	54
9. Soluzione di progetto	54
9.1 Pannello prefabbricato in conglomerato cementizio armato a taglio termico	54
9.2 Pannello monostrato in calcestruzzo cellulare autoclavato	59
9.3 Pannello con coibentazione in polistirolo espanso additivato con grafite	63
9.4 Pannelli in calcestruzzo isolante, sistema a nucleo isolante.....	64
9.5 Pannelli con strato di coibentazione in materiale ecosostenibile	66
9.6 Possibili sistemi di ancoraggio alla struttura prefabbricata in elevazione.....	69
9.7 Confronto	72
10. Conclusioni	76
11. Indice Tabelle	78
12. Indice Figure.....	78
13. Bibliografia	80



1. Obiettivi della tesi

1.1 Presentazione dell'elaborato

La presente tesi ha come obiettivo l'analisi e l'approfondimento di un sistema costruttivo industrializzato, applicato ad un caso reale di progettazione. L'idea dell'argomento, di seguito esposto, è frutto dell'attività tirocinante da me compiuta presso ICIS Srl, durante il percorso di studi al Politecnico di Torino. La Società ICIS, ha condotto i lavori per la realizzazione del Nuovo complesso edilizio per le esigenze didattico scientifiche dell'Università di Milano, la tesi si avvince pertanto, ad esaminare in successione l'iter di realizzazione del progetto in questione a livello burocratico della gara d'appalto per l'affidamento dei lavori pubblici, e in seguito l'analisi della soluzione progettuale adottata per la realizzazione dell'involucro edilizio, pannelli di tamponamento prefabbricati. La soluzione progettuale, propone dei vantaggi in merito ai costi e ai tempi di realizzazione dell'opera, ciò consente di valutare possibili soluzioni compatibili e sostitutive di elemento prefabbricato che possa conferire il risultato estetico finale voluto dell'edificio.

La tesi è strutturata in relazione ai seguenti punti:

Progetto posto a gara d'appalto: dopo la presentazione sintetica del progetto sottoposto ad analisi, è accuratamente approfondita la tipologia di bando di gara d'appalto, metodo di affidamento dei lavori pubblici introdotto dal D.Lgs 163/2006 e integrato dal D.P.R. 207/2010. L'appalto in questione è l'appalto integrato complesso che, vede in coordinazione le figure competenti dell'intero iter di esecuzione dei lavori, la Stazione Appaltante e il Raggruppamento temporaneo di Imprese, incaricato alla progettazione definitiva, esecutiva, nonché all'esecuzione dei lavori. È interessante analizzare le responsabilità associate alle parti complici, la realizzazione del progetto e le varie scelte operative vengono così affrontate per il raggiungimento di un obiettivo comune.

La seconda parte della tesi è l'analisi della soluzione progettuale, adozione del pannello di tamponamento prefabbricato, scaturito dalle richieste esposte dalla committenza nel bando di gara d'appalto. Il sistema costruttivo industrializzato è proposto dall'offerente come tecnica migliorativa, in relazione all'offerta tecnica presentata in sede di gara. Si approfondisce, pertanto, la soluzione progettuale accettata, dopo un corposo confronto con l'aggiudicatario, ampliando così l'indagine alla disamina dell'integrazione tra la realtà esecutiva di cantiere e la ricerca scientifica nel campo della prefabbricazione, che incoraggia l'utilizzo di soluzioni progettuali atti a garantire maggiore sostenibilità, rapidità di esecuzione e contenimento dei costi.

L'ultima fase mostra le possibili soluzioni alternative per la realizzazione dell'involucro edilizio dei volumi dell'opera in esame. Ogni scelta progettuale è fondata nel rispetto dei requisiti normativi, e delle caratteristiche termo igrometriche, termistiche e problematiche di cantierizzazione al fine di ottenere una soluzione progettuale alternativa capace di competere con la soluzione progettuale prescelta.



1.2 Premessa

In anni recenti, la progettazione cambia e si evolve con l'obiettivo di massimizzare sempre più l'efficienza e la qualità finale di un progetto. L'edilizia industrializzata adempie tale bisogno, propone principalmente, la razionalizzazione delle fasi costruttive e gestisce con criteri più appropriati tutto il processo di realizzazione di un'opera. La ricerca è volta alla necessità di rinnovare e di semplificare le diverse fasi di produzione, esecuzione e realizzazione di un'opera già nelle fasi di cantiere. Si tratta di una vera e propria industrializzazione delle costruzioni che vede il cantiere un'officina di montaggio, radicalmente differente dal cantiere tradizionale. L'intero percorso evolutivo delle tecniche costruttive, è affiancato principalmente a un procedimento di assemblaggio a secco, che ricalca il carattere di serialità e della ripetizione di paradigmi di riferimento.

L'impiego delle tecniche di assemblaggio a secco è caratterizzato da fattori vantaggiosi nella realizzazione di un'opera, poiché la natura stessa dei materiali adoperati, la flessibilità del tempo di organizzazione delle varie attività di cantiere consentono di analizzare e incorporare in varie parti la struttura semplificando le fasi di concretizzazione del progetto. I vantaggi fondamentali sono legati all'ottimizzazione dei tempi, contenimento dei costi, oltre che l'incremento della sicurezza nei cantieri e riduzione della mano d'opera. Tutto ciò si traduce, inoltre, a minimizzare l'impatto ambientale del costruito e accrescere la qualità dell'immobile. Di conseguenza, appare evidente come la prefabbricazione è alla base del tema di industrializzazione edilizia, in quanto consente di realizzare elementi prefabbricati capaci di soddisfare le più varie esigenze nell'ambito della costruzione.

Nel lavoro di tesi, si focalizza l'attenzione alla realizzazione dell'involucro edilizio tramite l'utilizzo di tamponamenti esterni prefabbricati, dove l'elemento in esame è chiamato a svolgere le diverse funzioni: di protezione dell'interno rispetto l'ambiente esterno, soddisfare le esigenze di benessere, risparmio energetico, sostenibilità ambientale e espressività architettonica. Le diverse tecniche costruttive consentono ad oggi, di valutare e privilegiare le soluzioni progettuali più idonee da parte di progettisti o enti esecutori dei lavori.

2. Descrizione del progetto

2.1 Inquadramento territoriale

Il progetto oggetto di studio è il nuovo complesso edilizio "Polo Universitario scientifico dell'Università degli Studi di Milano" che comprende diversi volumi atti ad ospitare il Dipartimento di Informatica, Biblioteche d'Area e le Segreterie Studenti, in Milano. L'opera è collocata all'interno di un "macro-isolato", come conseguenza della fusione di tre isolati previsti dal Piano Albertini del 1934.



Figura 1. Inquadramento territoriale

Il progetto è inserito in un insieme di luoghi e realtà ad elevato livello scientifico – didattico, è concepito per essere indipendente ma allo stesso tempo connesso con l'esistente al fine di creare uno scenario di ammodernamento e di rinnovo del patrimonio edilizio. Lo spazio esterno è sviluppato nella piena integrazione con l'ambiente attraverso la riorganizzazione del sistema verde. Tutto è creato al fine di soddisfare il raggiungimento di validi scopi; la globalizzazione degli spazi aperti, l'elevato grado di sostenibilità funzionale, ecologica, economica e la riqualificazione del patrimonio edilizio, hanno la capacità di suscitare e accogliere in armonia le multiforme attese di un'utenza variegata.

Inizialmente per la determinazione del perimetro del nuovo polo universitario, è prevista la demolizione di fabbricati obsoleti, e in successione è possibile valutare l'area oggetto alla nascita della nuova sede prevista in progetto. La superficie calpestabile complessiva ammonta di un valore circa 16.000 m² idonea ad accogliere il progetto nella sua totale complessità, tre edifici di cui uno principale e un parcheggio sotterraneo:

- la sede didattico – scientifica è il fulcro dell'opera, composto da 8 piani fuori terra è definita per il quotidiano svolgimento degli insegnamenti e corsi di laurea di informatica;
- la grande Biblioteca d'Area inerente l'ambito di biologia, chimica, fisica e informatica, preposta alla sede principale;
- la nuova sede della Divisione Segreteria Studenti di "Città Studi".

Previa autorizzazione e concessione da parte dello studio di progettazione ICIS è stata fornita la documentazione necessaria per lo studio del progetto. I diversi volumi componenti l'opera, sono risolti in modo autonomo dal punto di vista gestionale e

funzionale, ma compresi in una più estesa organizzazione scientifica-didattica e culturale. Ogni ingresso è separato visivamente e fisicamente tramite percorsi viari che si articolano nella nuova piazza centrale prospiciente il Dipartimento di informatica e percorsi verdi anch'essi di nuova realizzazione.

Il progetto, nel contesto più ampio, è delimitato dalle vie Ponzio e Venezian, rispettivamente ad Ovest e Sud, dove sorge l'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori, mentre ad Est è localizzato dalla via Golgi. L'ingresso della nuova realizzazione è previsto invece a Nord in corrispondenza di via Celoria. Il totale delle superfici in pianta fuori terra, di tutti i volumi suindicati è di circa 12.400 m² e di circa 4.400 m² ipogei. In aggiunta 2.700 m² è il valore di coperture in parte accessibili dagli utenti e in parte dedicate alle macchine di trattamento dell'aria; inoltre 4.300 m² è il totale di aree esterne su cui è prevista ed organizzata la disposizione del verde, nonché la viabilità pedonale e veicolare.

Tabella 1 Area dell'intervento

AREE		m ²	m ³
Superficie in pianta fuori terra delle varie destinazioni d'uso		12.400	
Ipogei (sotterraneo)		4.400	
Copertura (in parte accessibili dagli utenti e in parte dedicate alle macchine di trattamento aria)		2.700	
Area esterna	Verde	2.300	
	Viabilità pedonale e veicolare	2.000	
SLP (Art. 9 Norme Tecniche di Attuazione N.T.A.)		13.926	
Volumetria in progetto (Art.11 Regolamento Edilizio R.E.)			41.778

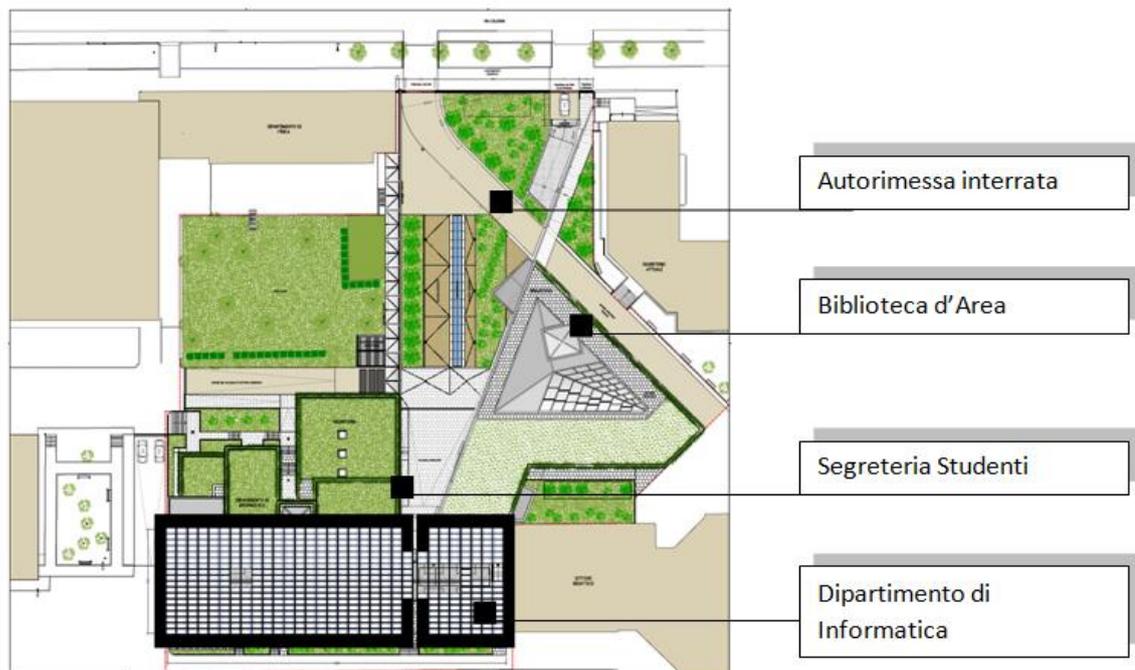


Figura 2. Planimetria generale. Volumi fuori terra

Dalla relazione generale di progetto è possibile ricavare ulteriori informazioni inerenti gli elementi d'intervento, che per maggiore chiarezza sono stati definiti mediante una codifica semplificata. Ogni volume presenta diverse caratteristiche, dalla scelta estetica dei corpi di fabbrica alla decisione di accessi e disposizione interna delle aree.



		SUDDIVISIONE	
BLOCCO	1	CORPO 1	Autorimessa interrata
		CORPO 2A	Biblioteca d'area
	2	CORPO 2B	Sala lauree, segreteria, aula
		CORPO 3	Dipartimento di Informatica
	3		

Figura 3. Pianta di lettura del progetto



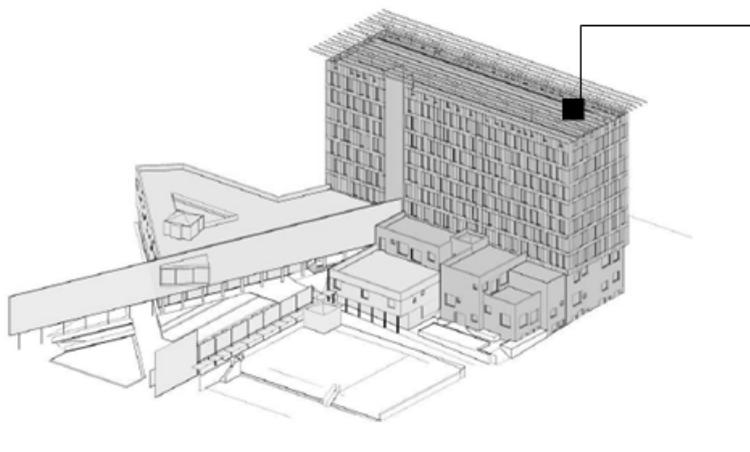
Tabella 2. Caratteristiche dei corpi principali di intervento

ELEMENTI PRINCIPALI DI INTERVENTO		Area	Quota
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA		m^2	m
<i>Superficie lorda dei soli piani fuori terra</i>		9.900	
<i>Piano tipo</i>		1.063	
<i>Basamento a piastra</i>	piano rialzato		+ 1.20
	primo piano		+ 6.70
<i>Stecca dei dipartimenti</i>		dal 2° al 8° piano (59.5 x 18.3)	
<i>Copertura piana</i>			+ 37.10
<i>Tappeto volante di pannelli in parte fotovoltaici su struttura metallica</i>			+ 40.40
<i>Depositi seminterrato</i>			-2.40
SEGRETERIA STUDENTI		m^2	m
<i>Segreteria Studenti integrata nella piastra del Dipartimento</i>	Piano di ingresso accoglienza studenti	800	-0.20
	Uffici di riferimento per i dipendenti		+ 3.20
	Deposito Pratiche delle Segreterie		-2.40
BIBLIOTECA		m^2	m
<i>Facoltà di Informatica, Fisica, Chimica e Biologia</i>	Piano rialzato: ingresso, accoglienza, prestito e reso	780	+ 1.20
	Piano primo: posti di lettura/studio e scaffalature con accesso diretto	1080	+ 6.70
	Piano seminterrato: sala consultazione, archivi compatibili, depositi		- 3.20
AREA ESTERNA		m^2	m
<i>"Cuneo verde"</i>	Permeabilità dell'intero complesso		
	Continuità pedonale veicolare e di emergenza		
	Le quinte architettoniche		
PIANO SEMINTERRATO		m^2	m
<i>Autorimessa, centro di Calcolo del Dipartimento di Fisica, magazzini e archivio</i>	Autorimessa 47 posti	4.400	-2.40 a - 3.20
	Archivi e depositi compatibili		

Il progetto prevede una importanza alquanto elevata, per cui in modo sintetico nei paragrafi successivi, è opportuno precisare degli accorgimenti delle varie parti dell'opera, mantenendo una restrizione adeguata per lo svolgimento della presente tesi.

2.2. Dipartimento di Informatica e Segreteria Studenti

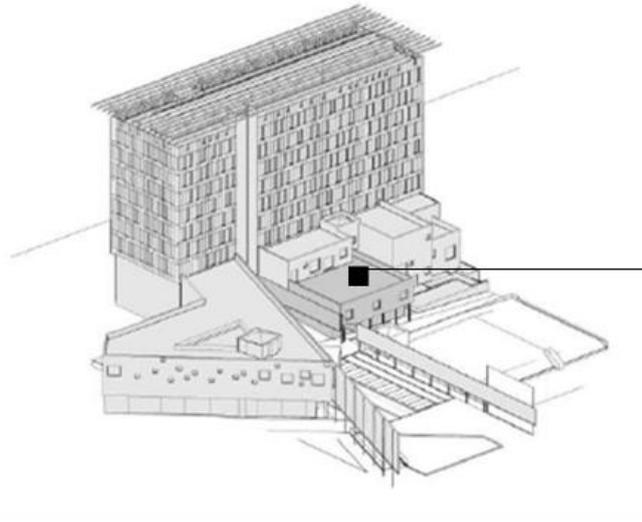
Il corpo principale è il Dipartimento di Informatica, nucleo dell'intervento che si estende per una superficie lorda di circa 9.900 m^2 dei soli piani fuori terra. Il Dipartimento comprende le aule didattiche, informatizzate, sale studio e i relativi e variegati servizi scolastici dislocati nei diversi piani. È sviluppato in altezza secondo una "stecca", dal secondo all'ottavo piano, dove vengono ospitati i pertinenti uffici dei docenti, del personale e infine gli spazi dediti alla ricerca e all'informatica. La sezione centrale dell'edificio comprende i servizi di spostamento verticale, scale e ascensori, oltre i locali di servizio, servizi igienici, locali tecnici e di deposito. Il corpo dipartimentale è in aderenza al nuovo edificio delle Biblioteche sul lato est, mentre ad ovest si sviluppa una copertura piana delle Segreterie Studenti con la funzione di ospitare gli studenti come opportuno terrazzo all'aperto. Un aspetto affascinante è la futura esistenza di un luminoso ponte vetrato che simboleggia l'apertura verso la città.



DIPARTIMENTO DI INFORMATICA	
Accesso principale	OVEST
Accesso secondario	NORD
Accesso aree dipartimentali	Quota +1.20 m
Accesso scala secondo piano	VANO SCALA OVEST
Accesso sale studio più uffici, laboratori per docenti e ricercatori	VANO SCALA EST
Postazione reception, sportello didattico e relativo back office	INGRESSO CENTRALE NORD
Ponte vetrato	Confluenza dei due lati della piazza
Aule di informatica	Quota +6.70 m
Stecca a manica tripla	Quota +10.70 m
Sala macchine, officina e Silab	OVEST e parte CENTRALE
Uffici, laboratori e sale riunioni	EST

Figura 4. Dipartimento di Informatica

Allo stesso tempo, nell'integrità del Dipartimento di Informatica, è inserita la Segreteria Studenti. Il corpo è sviluppato in due piani con differente funzione: la zona di accoglienza per gli studenti che prevede dodici sportelli funzionali utili per l'orientamento degli stessi, contemporaneamente al primo piano, quota +3.10 m, sono disposti gli uffici di riferimento accessibili solo ai dipendenti della struttura. In accordo a ciò, il vano scale e ascensore, è adoperato esclusivamente dal personale, che ne può usufruire anche per raggiungere il piano seminterrato, predisposto, principalmente, per il deposito di pratiche delle segreterie. Il piano terreno delle segreterie viene a trovarsi in una posizione intermedia rispetto all'andamento del terreno, pertanto, i fronti est e nord sono risolti ad incasso e sbalzo rispetto la leggera pendenza del terreno. Gli uffici si ordinano intorno ad uno spazio illuminato, tramite lucernari posti sul terrazzo superiore, dunque i tre lati perimetrali degli uffici usufruiscono di illuminazione e aerazione naturale.

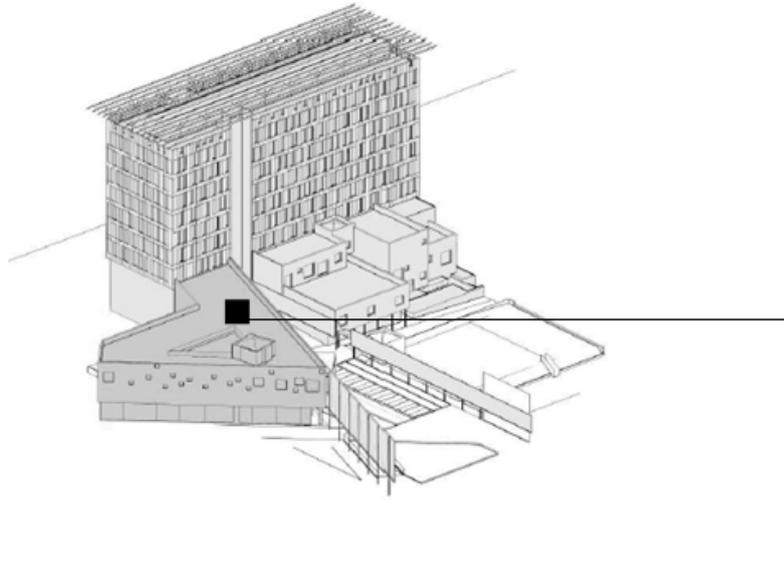


SEGRETERIA STUDENTI	
Accesso principale	EST e NORD
Accesso secondario al solo personale	NORD
Copertura piana	Terrazzo per studenti

Figura 5.Segreteria Studenti

2.3 Biblioteca

La nuova Biblioteca d'Area è caratterizzata da una particolare forma che armonizza e evidenzia la modernità del progetto. Svolge la funzione prettamente culturale, in quanto accoglie i depositi librari delle Facoltà di Informatica, Fisica, Chimica e Biologia. Il corpo è scandito in un piano rialzato, luogo di accoglienza e consultazione delle disponibilità cartacee per soddisfare i probabili e futuri afflussi giornalieri degli utenti; il piano primo comprende posti di lettura e di studio. La Biblioteca si affaccia direttamente sulla piazza centrale, mentre l'ingresso è subordinato nello spazio coperto antistante l'area delle sale studio del Dipartimento di Informatica. La distribuzione delle singole attività è accurata per tutti i piani, anche in questo caso, il piano seminterrato prevede l'area di archiviazione dei documenti e libri in appositi archivi compattabili.

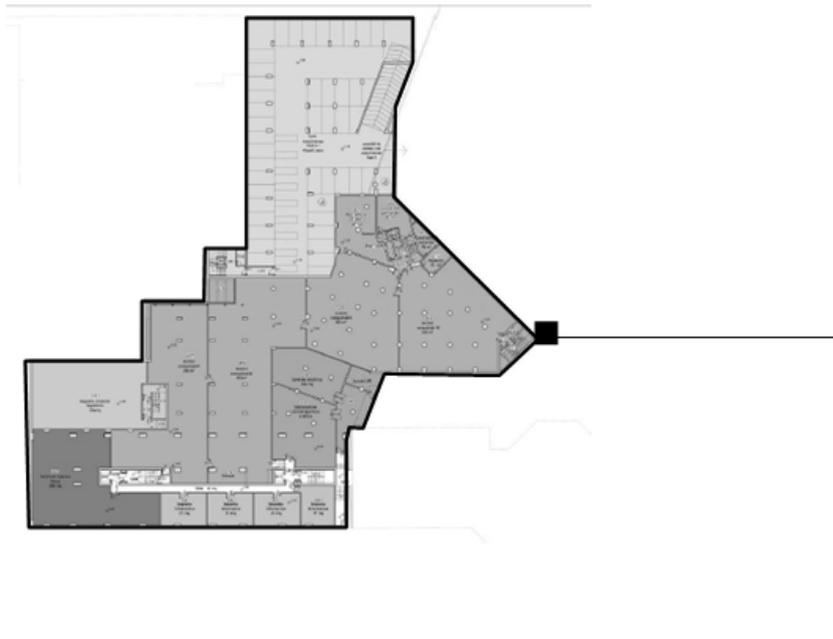


BIBLIOTECA	
Accesso principale con area armadietti	Piazza centrale o porticato OVEST
Accesso sotto lo spazio coperto	Quota +1.20 m
Tornelli nel perimetro controllato	Dopo l'area di ingresso
Back office con accesso riservato	SUD-EST
Posizionamento modulare dei pilastri	EST
Accesso area consultazione riviste	NORD
Volumi aree disciplinari	Quota +6.70 m
Percorsi di consultazione studio, copertura vetrata nel patio	Disposizione ad anello intorno a un patio
Area lettura posti 106	Principali fronti
Area lettura posti 56	Ponte di collegamento
Servizi	EST
Archivi compattabili	Quota -3.20 m

Figura 6. Biblioteca d'Area

2.4 Piano seminterrato e area esterna

Il piano seminterrato occupa una superficie di 4.400 m² e ospita varie destinazioni d'uso, dall'autorimessa ai locali di deposito archivi dei vari volumi fuori terra. La funzione principale rimane in ogni caso, quella di garantire la possibilità di parcheggiare nell'area in questione.



PIANO SEMINTERRATO	
Accesso autorimessa 47 posti auto	NORD-EST
Centro di calcolo del Dipartimento di Fisica	SUD-OVEST
Archivi e depositi compattabili	Piano interrato Biblioteca
Archivi e depositi compattabili	Piano interrato Segreteria
Centrale Tecnologica	SUD-EST
Depositi informatica	SUD

Figura 7. Piano seminterrato

Di elevato pregio estetico, appare il sistema verde predisposto nell'area di intervento, in quanto la sistemazione dell'area prevede la realizzazione di una nuova piazza denominabile come "cuneo verde". Ogni aspetto è stato studiato per conferire un potere invitante nei confronti dell'utente e nel rispetto delle aree circostanti. In particolare lo studio per la giusta collocazione dell'illuminazione e la disposizione di opportuni elementi verdi, rafforza la geometria del prospetto e crea una giusta continuità verticale nel taglio sulla facciata nord della stecca del Dipartimento di Informatica. Le scelte arboree, indubbiamente, sono il risultato di una perfetta integrazione del verde e la sostituzione e rimozione di piantumazioni esistenti ormai abbandonate al deterioramento. In relazione al progetto definitivo, gli spazi collettivi sono rivestiti da pavimentazioni con lastre in pietra, conformi con gli spazi porticati e le aree al piano terra di fruizione pubblica. Il suddetto cuneo verde è disegnato dai fronti dei volumi che si aprono sulla piazza, posti in aderenza a due grandi quinte, all'interno del quale si insinua con discrezione lo spazio pubblico frammento di vita urbana. Le grandi quinte conferiscono centralità, anche simbolica, alle funzioni strumentali dell'informatica, e a tutte le scienze e quelle attività congiunti alla ricerca.

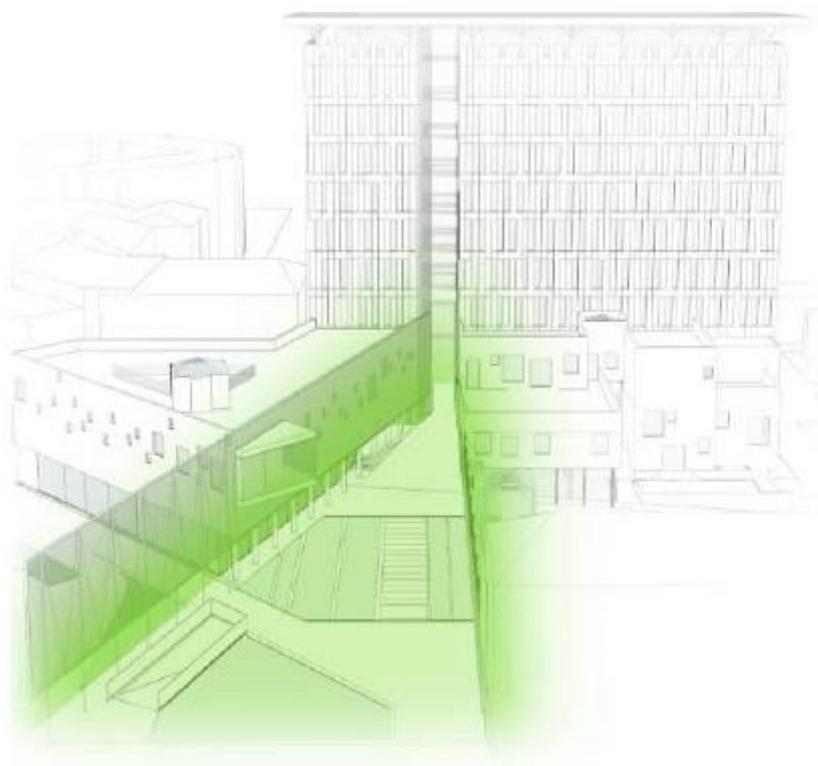


Figura 8 Sistema verde



3. Fasi di sviluppo del progetto

3.1 La progettazione

Dopo l'adeguata presentazione del progetto in esame, è importante anteporre allo svolgimento della tesi, una opportuna classificazione dei momenti decisivi per la realizzazione di un'opera. Ogni progetto è caratterizzato da una successione di fasi progressive, volte a conferire l'esito qualitativo atteso da una buona progettazione. Quindi, partire da una fase conoscitiva completa permette di individuare tutte le necessità, i vantaggi e relative mancanze di un lavoro. L'obiettivo di realizzazione dell'opera è delineato mediante step temporanei, fondamentali per il compimento del progetto in sé. È indispensabile individuare le varie fasi:

- la prima fase di progettazione attinente alla conoscenza e la raccolta delle informazioni essenziali per uno studio accurato preliminare. L'analisi del contesto, la valutazione iniziale dei bisogni sono tradotti in uno studio di fattibilità tecnica ed economica, progetto preliminare. Nel caso in esame, in allegato allo schema di contratto è stato redatto un Capitolato Speciale d'Appalto;
- il progetto preliminare è posto a base dello sviluppo del progetto definitivo. Il bando di gara, che prevede la realizzazione dell'opera, ha coinvolto i partecipanti alla gara alla redazione di un progetto definitivo conforme o per meglio dire attinente nel rispetto dei requisiti del progetto preliminare, in funzione di quanto prescritto e richiesto nel bando di gara;
- in conseguenza è fondamentale individuare gli attori idonei a dare al progetto il giusto impulso per concepire la sua buona riuscita. In particolare si procede ad individuare la migliore offerta ai fini del successivo riconoscimento dell'Impresa aggiudicataria capace di realizzazione l'opera in perfetta regola d'arte e nei tempi prestabiliti;
- l'ultima fase è l'atto di concretizzazione della progettazione che prevede la stipula del contratto di appalto e l'avvio dell'esecuzione dei lavori. Questa fase è precorsa da una massiccia valutazione e verifica del progetto definitivo di cui sono artefici gli aggiudicatari della gara. La verifica e validazione del progetto rappresentano due concetti obbligatori per il giusto procedimento dei lavori.

il progetto in esame è posto dall'Università degli Studi di Milano in gara d'appalto integrato complesso con la presentazione del progetto preliminare e la documentazione necessaria per la realizzazione dell'opera. Il progetto preliminare, accompagnato dal Capitolato Speciale d'Appalto, impone i requisiti necessari per la stesura di un appropriato progetto definitivo. Tutto è svolto in conformità alle normative in materia di affidamento per lavori pubblici e supportato da figure competenti in materia. Ogni rifinitura dell'iter di progetto è descritta nei successivi capitoli.



4. Gara d'appalto

4.1 Appalto integrato complesso

La realizzazione dell'intero complesso è posto a base di gara d'appalto nell'anno 2012, dal punto di vista normativo è legato al rispetto del D.lgs. 163/2006 e integrato nel D.P.R. 207/2010 in relazione al metodo di affidamento dei lavori pubblici. La tipologia di appalto che interessa il progetto in esame, è l'appalto integrato complesso. Si tratta di un procedimento articolato di gara che si discosta nettamente da un appalto tradizionale. La definizione di complesso è indice di un congiunto scopo di prevedere contemporaneamente la progettazione e l'esecuzione dei lavori, previa acquisizione in sede di offerta del progetto definitivo.

La Stazione appaltante, nell'appalto integrato complesso, si limita a predisporre il progetto preliminare pertanto, ciascun concorrente propone un progetto definitivo. L'appaltatore selezionato sulla base del progetto proposto, nella fase successiva elabora il progetto di esecuzione. In conformità all'art. 168 comma 1, del D.P.R. n207/2010 la stipulazione del contratto può compiersi solo ed esclusivamente dopo l'acquisizione di potenziali pareri necessari e all'approvazione da parte della stazione appaltante. In questa fase di approvazione, è fondamentale la presenza di figure competenti, tra le quali fondamentale è il Responsabile Unico del procedimento, figura anteposta a tutte le decisioni degne di nota.

Non sempre l'appalto integrato complesso è la tipologia appropriata da adottare nel caso di lavori di così complessa progettazione. Esistono diverse tipologie di appalto che sono state ampiamente esposte in una precedente tesi (Barbagiovanni L., 2015). Dalla lettura di tale tesi è stato possibile valutare come le figure implicate nell'appalto dell'opera di realizzazione del Polo Universitario, sono state spesso soggette a attivo confronto. In particolare, la fase di aggiudicazione rappresenta un passo decisivo di avanzamento del progetto e la Stazione Appaltante deve scrutare in minuzia a quali "mani" affidare la continuazione e la attuazione del progetto. Quindi la Stazione Appaltante, con supervisione del Responsabile del Procedimento, valuta e sceglie l'offerta più adeguata.

In sintesi, il concorrente redige il progetto definitivo, oggetto di offerta, in conformità di quanto previsto nel progetto preliminare stilato e posto in gara d'appalto dall'Università degli Studi di Milano. Il progetto è configurato in una serie di documentazioni, relazioni e elaborati grafici, accessibili ai concorrenti di gara ed anch'esso sottoposto a validazione da parte del Responsabile Unico del Procedimento. Il progetto vincitore deve ricevere l'approvazione da parte della Stazione Appaltante, prima di passare alla successive fasi di verifica e validazione.



4.2 Requisiti generali dell'opera

Il contratto d'appalto integrato complesso dell'opera sotto esame è accompagnato dal Capitolato d'Appalto Speciale, con lo scopo di stabilire le regole di gioco tra il Committente e l'Appaltatore. La possibilità di esaminare le relative documentazioni, è stata consona a ricavare tutte quelle informazioni connesse ai bisogni principali dell'opera. In particolare il capitolato d'Appalto è un documento tecnico fondamentale per i concorrenti di gara, perché rende esplicito il quadro globale di indicazioni connesse ai lavori da eseguire, le prestazioni, le forniture e le provviste necessarie per dare inizio alle attività esecutive. Il capitolato è suddiviso in due parti conoscitive:

1. la prima parte è impiegata nella delineazione dei caratteri principali dell'oggetto dell'appalto, realizzazione del nuovo complesso didattico degli Studi dell'Università di Milano. Ogni volume da realizzare è descritto nelle sue varie parti, l'evoluzione dei lavori può inclinarsi verso altre "direzioni" purché sia conforme e consone ai requisiti esposti dalla Stazione Appaltante. Nel caso appena detto, il capitolato rappresenta un documento contrattuale che regola il rapporto tra Committente ed Ente privati ed indica gli oneri e obblighi diversi, per cui in caso di varianti dei lavori, subappalti e controversie, l'Appaltatore è tenuto a rispondere.
2. Nella parte successiva vengono stabilite le modalità di esecuzione delle varie attività lavorative; nel dettaglio, è definito l'insieme delle caratteristiche tecniche, qualitative e quantitative dei materiali previsti per la realizzazione del progetto. Ogni componente atto a essere utilizzato nelle fasi di progettazione deve essere attendibile e accettato prima di poter essere messo in uso. Inoltre in aggiunta possono essere esposte le specifiche prestazioni e le modalità delle prove necessarie sugli elementi, poiché si parla di interventi di cospicua importanza. Per assicurare la rispondenza delle scelte dei suddetti requisiti con le scelte progettuali che verranno decise con il bando di gara, entra in gioco la figura del Direttore dei Lavori. L'Approvazione degli elementi e tecniche adottate sono e devono essere approvate dalla Direzione Lavori, che esprime pareri per il rispetto dei requisiti dell'opera.



Tabella 3. Requisiti minimi richiesti nel Capitolato d'Appalto

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	CALCESTRUZZO, ACCIAIO	CLS per fondazione C28/35, classe di esposizione XC2, consistenza S3
	SCHEDA TECNICHE, CAMPIONI	CLS per opere in elevazione controvento e orizzontamenti C40/45, classe di esposizione XC1/XC4, Presentazione di tutti i campioni e le eventuali relative schede tecniche nel rispetto delle tempistiche definite nel cronoprogramma
	CAMPIONARIO e MATERIALI	I campioni vengono numerati e identificati Conservati per garantire l'autenticità Il campionario è restituito all'impresa dopo le verifiche della D.L.
QUALITA' E PROVENIENZA	Materiali e forniture	Materiali e forniture devono essere delle migliori qualità esistenti in commercio
		Devono rispettare i regolamenti vigenti e le caratteristiche previste dalle Leggi in funzione del Capitolato
	Criteri e modalità di controllo qualità dei manufatti	Le provviste devono rispondere ai requisiti richiesti La Committente verifica l'opera eseguita La Direzione Lavori verifica l'opera eseguita

Nel documento si specificano, inoltre, i requisiti minimi cogenti delle diverse lavorazioni funzionali, gli strumenti necessari per lo sviluppo del progetto definitivo ed esecutivo, in relazione al rispetto delle norme vigenti. In specifico, ai caratteri generali dell'opera è attuata la norma UNI 10838:1999, relativa alla qualità edilizia e al processo edilizio nei suoi aspetti specifici: ambientali, funzionali, spaziali, tecnologici, operativi e gestionali, accompagnati da quanto esposto nella UNI 10723:1998 per interventi di nuova costruzione e destinazione d'uso prevista dell'edificio. In conformità ai requisiti generali esposti, il concorrente nella stesura del progetto definitivo è chiamato a mettere in atto quanto riportato nelle Norme tecniche per le costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008. La vigente norma fornisce i criteri di progettazione, esecuzione e collaudo della costruzione, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità e aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Dalle norme tecniche indicate si cita un passo:

“le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme”.

Dalla lettura delle documentazioni del progetto si ricavano ulteriori indicazioni. Dal punto di vista tecnico e di prestazioni attese per le principali tipologie ambientali, l'attenzione è focalizzata all'ottenimento di requisiti di benessere ambientale e controlli sulla sicurezza. Sono valutati i seguenti punti:

- Gli spazi interni dei volumi sono suddivisi in relazione all'utenza che ne usufruirà, presentano delle dimensioni diverse tra di loro, ma nel complesso rispettano la



modularità degli ambienti. Questo aspetto è alla base di uno sviluppo di progetto flessibile, capace di rispondere ad un “mix” di modi diversi nell’inserimento futuro di nuove tecnologie o cambi nel corso della vita nominale dell’opera;

- È riflesso nei corpi in esame, la ricettività di ospitare nuovi sviluppi delle tecnologie, estensioni dell’impiantistica o cambiamenti degli scenari di utilizzo. L’adattabilità è la risposta ai diversi utenti che possono, in relazione ai possibili bisogni, creare una movimentazione interna di “aggiustamento” conveniente per le varie esigenze.

Dal punto di vista economico, si ricalca nel progetto la necessaria limitazione dei costi di gestione e di manutenzione dell’edificio e dei suoi componenti. La gestione e l’adattamento di tecniche aggiornate consente di adempiere a tale richiesta, tutti i vari aspetti devono essere condotti in relazione alla riduzione di rischi e situazioni pericolose in ambito delle attività di ricerca e didattica. Quindi si punta sicuramente alla economicità, ma questo non deve discostarsi assolutamente dalla costante presenza di sicurezza nelle varie fasi.

Il progetto ricade nelle condizioni di costruzione di dimensioni contenute o di importanza normale, per cui si prevede vita nominale dell’opera maggiore o uguale a 50 anni. In aggiunta, nel concepire le relative relazioni di calcolo e verifiche strutturali, l’opera è associata alla classe d’uso III. Ovviamente, la struttura a scopi didattici prevede un grado di affollamento significativo e quindi ogni valutazione e controllo deve essere attenta a tale requisito.

Fatta chiarezza sui vari aspetti per la realizzazione dell’opera, viene indetta la gara d’appalto integrato complesso. I soggetti ammessi alla partecipazione possono essere di varia natura, imprese individuali, come team ristretto di progettisti o enti privati, oppure consorzi o raggruppamenti temporanei di Imprese. L’offerente Appaltatore, presa coscienza delle suddette documentazioni, presenta un progetto definitivo concepito nel rispetto del progetto preliminare ma, con l’implemento di migliorie di progetto al fine di ottimizzare le prestazioni dell’opera e propiziare il giudizio di accettazione da parte dell’Amministrazione Appaltante.



Tabella 4 Processo di aggiudicazione della gara d'appalto

AMMINISTRAZIONE AGGIUDICATRICE o STAZIONE APPALTANTE, SA	<ul style="list-style-type: none"> •Università degli Studi di Milano
APPALTO INTEGRATO COMPLESSO	<ul style="list-style-type: none"> •Appalto pubblico •Progettazione esecutiva ed esecuzione di tutte le opere necessarie per la realizzazione di un nuovo edificio per le esigenze didattico scientifiche.
ENTITA' DELL'APPALTO	<ul style="list-style-type: none"> • € 23.650.000,00 +iva •Durata dell'appalto sottoposto ad aggiornamento in base all'offerta del Soggetto aggiudicatario
CONDIZIONI DI APPALTO	<ul style="list-style-type: none"> •Opera finanziata con fondi del bilancio universitario •Sono ammessi i raggruppamenti di imprese ed i consorzi, secondo il D.Lgs. 163/2006
CONDIZIONI DI PARTECIPAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> •I concorrenti devono possedere adeguata qualificazione e requisiti previsti dall'art.263 del DPR n.207/10 e s.m.i.
CRITERIO DI AGGIUDICAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> •Criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa ai sensi dell'art.83 del D.Lgs. n.163/2006 e art.120 del D.P.R. n.207/2010

L'oggetto posto a base di gara, riveste la tipologia di appalto pubblico inerente alla progettazione ed esecuzione delle opere necessarie alla realizzazione del "Nuovo complesso per le esigenze didattico scientifiche dei Corsi di Laurea e Dipartimento di Informatica, Biblioteca d'Area e Segreteria Studenti". Il presente appalto è definito da un importo complessivo di circa € 23.650.000 per la tipologia dell'intervento indetto dalla Stazione Appaltante, nonché l'Università degli Studi di Milano. In relazione ai concorrenti partecipanti, è richiesta la conformità ai requisiti qualitativi esposti dalla norma vigente D.P.R. n.207/10 e s.m.i., per l'affidamento dei servizi di progetto. I concorrenti vengono valutati in relazione al criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa. Il metodo permette di individuare tra tutte, l'offerta con miglior rapporto qualità – prezzo e ponderando, tramite l'assegnazione di punteggi, le offerte tecniche.

4.3 Presentazione dell'offerta e criteri di valutazione adottati

In sede di gara, il criterio adottato per la valutazione delle offerte in esame, è il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, OEPV. La Stazione Appaltante, usufruisce di una metodologia appropriata per associare, ai possibili scenari alternativi di proposte offerte nella gara, tramite la preposta individuazione di legge di gara di criterio dell'appalto. In relazione a quanto detto, il criterio di OEPV, è concordato nell'art.83, commi 2 e 4, del D.Lgs. n.163 del 2006 e s.m.i., la scelta permette quindi di procedere all'attribuzione dei punteggi nel principio di trasparenza e parità di trattamento dei concorrenti.



Dopo il preliminare studio di tutta la documentazione di gara, l'offerente prende atto delle modalità, della descrizione dell'opera e dei tempi previsti dalla Stazione Appaltante. In funzione dei dati, la gara d'appalto prevede la consegna, in opportune "buste", di tutte le documentazioni, relazioni ed elaborati grafici necessari per la descrizione del progetto definitivo. In precisione, le documentazioni sono scandite in tre parti secondo ambiti diversi: documentazione amministrativa, offerta tecnica ed infine l'offerta economica.

"La non corretta separazione della documentazione amministrativa, tecnica ed economica che il concorrente è tenuto a presentare, come richiesto dalla stazione appaltante, può comportare l'esclusione del concorrente".

Il progetto dell'offerente deve soddisfare al meglio ai requisiti pertinenti alla natura e alle caratteristiche dell'oggetto a base di gara. Secondo l'art. 83 del D.Lgs. n.163 del 2006 e s.m.i., l'offerta è valutata in funzione di determinati aspetti concernenti:

- Il prezzo;
- La qualità progettuale, pertinente al pregio tecnico, estetico, funzionale, manutentivo e gestionale della modalità di realizzazione dell'opera. Il progetto è qualitativamente accettabile, se predispone un piano organizzativo efficiente per ottenere il risultato finale richiesto dal Committente, già dalle prime fasi lavorative di cantiere. Ogni fase deve essere caratterizzata dalla partecipazione di specifiche figure professionali, chiamate a svolgere le diverse attinenze nel rispetto della qualità e sicurezza dei lavori;
- Contenimento dei consumi energetici e risparmio delle risorse ambientali sono guidate dal Piano d'Azione nazionale per la sostenibilità dell'ambiente, Decreto 11 aprile 2008 (Ministero Dell'ambiente E Della Tutela Del Territorio E Del Mare, 2008). Il *Green Public Procurement, GPP*, rappresenta l'approccio in base al quale le Amministrazioni Pubbliche promuovono la diffusione di tecnologie ambientali che hanno il minimo impatto possibile nel territorio.
- Condizioni e termini di consegna, l'ente privato indica preventivamente una data di consegna in relazione ai lavori di esecuzione proposti dal progetto offerto.

Ognuna di queste parti è valutata tramite un parametro numerico che consentirà, in modo conforme e non discriminante, la scelta della Stazione Appaltante del progetto ritenuto come migliore opzione per la realizzazione dell'opera. L'edificio in esame è privilegiato dalla necessaria esigenza di attribuirsi in un livello qualitativo importante. Infatti la distribuzione dei punteggi, come risulta evidente, predilige l'aspetto del pregio tecnico dell'opera e della minimizzazione dell'impatto ambientale. Alle suddette parti, a cui vengono associate il raggiungimento di determinati requisiti, è associato un punteggio cospicuo, proprio in funzione di delineare l'aspetto di merito ricercato dalla Stazione Appaltante.



Tabella 5. Criteri di valutazione dell'offerta in gara d'appalto

PREZZO	30 PUNTI
QUALITA' E PREGIO TECNICO	40 PUNTI
<ul style="list-style-type: none"> • Il progetto e il cantiere • Metodologia di realizzazione del piano seminterrato • Tecniche di industrializzazione del cantiere • Caratteristiche funzionali e prestazionali di materiali e componenti • Soluzioni per il contenimento dei costi di utilizzazione e manutenzione • Servizio di assistenza tecnica e manutentiva successivo alla consegna 	<ul style="list-style-type: none"> 2 PUNTI 3 PUNTI 10 PUNTI 15 PUNTI 5 PUNTI 5 PUNTI
CARATTERISTICHE AMBIENTALI, CONTENIMENTO CONSUMI ENERGETICI E RISPARMIO RISORSE AMBIENTALI	25 PUNTI
<ul style="list-style-type: none"> • Misure volte al contenimento dei consumi energetici • sistema di gestione, supervione ed ottimizzazione d'uso degli impianti tecnologici 	<ul style="list-style-type: none"> 15 PUNTI 10 PUNTI
TERMINE DI CONSEGNA	5 PUNTI

Ogni punto merita un'adeguata attenzione, ma tuttavia, la tesi mira a focalizzare l'attenzione principalmente sulla presentazione dell'offerta tecnica, che il concorrente presenta alla gara. L'offerta tecnica, corrisponde alla elaborazione di vari aspetti dell'opera, precisa la scelta delle metodologie costruttive più appropriate, l'iter di procedimento evolutivo dell'elaborazione dei lavori, oltre a contenere determinate documentazioni e relazioni chiarificatrici delle scelte apprese. Come già specificato precedentemente, il concorrente redige il progetto definitivo sulla base delle indicazioni del progetto preliminare, secondo le direttive del D.P.R. n207/2010. In specifico, l'art.24 del codice citato, elenca la serie di documenti necessari per completare e realizzare la progettazione definitiva da presentare alla gara.



Tabella 6. Documentazioni del Progetto Definitivo secondo il D.P.R. n.207/2010

		DOCUMENTAZIONE RICHIESTA
PROGETTO DEFINITIVO	RELAZIONE	Generale e tecniche specifiche di ogni fase di realizzazione dell'opera. Le relazioni descrivono, con espresso riferimento al progetto preliminare, i criteri utilizzati per le scelte progettuali
	STUDIO IMPATTO AMBIENTALE	Approfondisce e verifica le analisi sviluppate già nel progetto preliminare, determinando, ove possibile, il contenimento o riduzione degli effetti dell'intervento
	ELABORATI GRAFICI	L'intervento è definito e chiarificato attraverso la creazione di elaborati di "lettura" di ogni decisione e scelta assunta nel progetto definitivo. ogni elaborato, in relazione al contenuto richiesto, viene presentato ed eseguito nell'accuratezza delle diverse scale di dettaglio
	CALCOLI IMPIANTISTICI	Dimostrano la piena compatibilità con l'aspetto architettonico ed impiantistico con gli altri aspetti del progetto complessivo.
	DISCIPLINARE DESCRITTIVO E PRESTAZIONALE DEGLI ELEMENTI TECNICI	Contiene i contenuti prestazionali tecnici di tutti gli elementi previsti nel progetto, la descrizione degli stessi nella forma, caratteristiche e profilo estetico.
	COMPUTO METRICO E ESTIMATIVO E QUADRO ECONOMICO	Le lavorazioni sono quantificate mediante i prezzi unitari, che si riportano nel progetto definitivo. il computo metrico è concepito in relazione alle diverse fasi di lavoro, alla quantità dei materiali, alla mano d'opera e relative attività connesse

Le proposte migliorative dei concorrenti sono esplicitate in maniera accurata nella Relazione di Accompagnamento. È essenziale che l'offerente delinea i principi su cui improntare la propria proposta, facendo un assiduo confronto con quanto esposto nel progetto preliminare. Dalle documentazioni del progetto in esame, attraverso la relazione sopra citata, è interessante osservare come enti privati o professionisti concordano al fine di un obiettivo comune nella minimizzazione dei costi e dei tempi e lo svolgimento delle attività nel rispetto della normativa vigente.

La stazione Appaltante, tramite questo documento, è in grado di valutare e stimare il livello di specifica professionalità e qualità del concorrente nel rispondere alle richieste definite dal bando di gara. In particolare l'offerta tecnica preposta nella gara, evidenzia aspetti e metodologie di realizzazione dell'opera con tecniche di industrializzazione del cantiere. Come esposto precedentemente, la qualità e il pregio tecnico del progetto presentato si basa sull'ottenimento, qualora sia adeguato, di ben 40 punti.



Tabella 7. Offerta tecnica, gara d'appalto complesso

PROGETTO E CANTIERE	2
<ul style="list-style-type: none"> • Organizzazione funzionale del gruppo di lavoro, specificando ruoli compiti di responsabilità e collaboratori in fase di sviluppo progettuale ed esecutiva di cantiere • Relazione di pianificazione di commessa in relazione ai tempi, organizzazione e gestione del cantiere • Descrizione della fruizione nel cantiere "evento" 	
METODOLOGIA DI REALIZZAZIONE DEL PIANO SEMINTERRATO	3
<ul style="list-style-type: none"> • Tecnica di realizzazione del piano seminterrato 	
TECNICHE DI INDUSTRIALIZZAZIONE DEL CANTIERE	10
<ul style="list-style-type: none"> • Relazione inerente procedure e modalità di posa in opera • modalità di montaggio di: <ul style="list-style-type: none"> - opere strutturali; - opere edili; - componenti impiantistici • Caratteristiche funzionali e prestazionali di materiali e componenti . Relazione con opportuni elaborati grafici, relazioni descrittive e capitolati del progetto definitivo di offerta • soluzioni per il contenimento dei costi di utilizzazione e manutenzione. servizio di assistenza tecnica e manutentiva successivo alla consegna. 	
CARATTERISTICHE AMBIENTALI, CONTENIMENTO CONSUMI ENERGETICI E RISPARMIO RISORSE AMBIENTALI	15
<ul style="list-style-type: none"> • Misure volte al contenimento dei consumi energetici, descrizione delle scelte proposte di variazione rispetto al PP • Relazione illustrativa delle soluzioni progettuali introdotte in merito alla domatica 	

L'offerta presentata dal concorrente, in relazione ai criteri preliminarmente definiti, non deve essere in alcun modo condizionata dalla offerta economica associata al progetto, le quali informazioni sono contenute nella "busta" successiva, aperta e contemplata solo alla fine. Le offerte tecniche sono pertanto valutate dalla commissione giudicatrice, che in seduta pubblica procede alla lettura dei punteggi assegnati e alle relative valutazioni compiute. Di ogni seduta di gara pubblica o riservata, è previsto un relativo verbale cui la stazione appaltante avrà cura di dare adeguata pubblicità, anche a mezzo di pubblicazioni online degli stessi sul proprio profilo di committente.



5. Progetto definitivo aggiudicatario

5.1 Il progetto definitivo in confronto al Progetto Preliminare

La comunicazione per l'aggiudicazione dell'appalto, del progetto in questione, è espresso da parte della Stazione Appaltante, Università degli Studi di Milano nella data del 19 aprile del 2013. L'aggiudicazione è a favore di un Raggruppamento Temporaneo d'Impresa che offre un ribasso economico pari al 28% ed una riduzione del 40,11% sui tempi di consegna.

La procedura di suddetta comunicazione, ricalca l'idonea trasparenza dell'azione amministrativa nel rispetto del D.Lgs. 163/2006, in relazione a quanto riportato nell'art.79. La Stazione Appaltante esprime:

- a) *“Ad ogni candidato escluso i motivi di rigetto della candidatura;*
- b) *Ad ogni offerente escluso i motivi del rigetto della sua offerta e i motivi della decisione di non equivalenza o della decisione secondo cui i lavori, le forniture o i servizi non sono conformi alle prestazioni o ai requisiti funzionali;*
- c) *Ad ogni offerente che abbia presentato un'offerta selezionabile, le caratteristiche e i vantaggi dell'offerta selezionata e il nome dell'offerente cui è stato aggiudicato l'appalto o delle parti dell'accordo quadro.”*

Dalla relazione generale e la relazione di impatto ambientale del Progetto definitivo del Raggruppamento aggiudicatario, è stato possibile estrapolare, alcune delle caratteristiche inerenti al perfezionamento del progetto preliminare, con il quale si intende avviare l'evoluzione dell'opera. In specifico i requisiti dell'offerta tecnica vincitrice accoglie i concetti fondamentali di una costruzione atta a minimizzare gli impatti nelle fasi lavorative di cantiere e di conferire prestazioni energetiche elevate per la creazione di un complesso sui principi dell'etica ambientale. Si delineano i caratteri di:

- Impatto di cantiere del complesso; il degrado della qualità può essere compromesso dall'aumento di emissioni di inquinanti e di polveri durante il normale svolgimento delle lavorazioni di cantiere, l'impresa si adopera pertanto di un sistema di monitoraggio esteso all'intero circondario, mediante la creazione di strutture di separazione e aree specifiche destinate all'accumulo e alla movimentazione temporanea dei materiali di risulta, e di piano di sicurezza dei lavori adeguato;
- Prestazione energetica dell'edificio, sono garantite tramite l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili per il contenimento dei consumi energetici. Si prevede nel progetto l'inserimento di pannelli fotovoltaici in copertura del nuovo avancorpo per la produzione di energia elettrica;
- Sostenibilità ambientale secondo i principi dell'etica ambientale, il progetto vincitore contribuisce concretamente ed efficacemente al miglioramento della qualità della vita umana tramite la degradazione degli inquinanti dell'aria. Questo è possibile con la tecnologia adottata nei pannelli di tamponamento verticali esterni



del piano rialzato e primo, che sono interamente rivestiti in “Gres Active”, con finitura materica rugosa per mantenere intatta l’immagine iniziale di progetto, ma con il vantaggio di creare una superficie ceramica autopulente.

L’impresa assume la responsabilità di enfatizzare il progetto preliminare, conferendo ad esso degli implementi aggiuntivi sia nell’aspetto, nei caratteri funzionali e prestazioni energetiche del complesso. I vari aspetti sono già stati citati da un precedente studio (Barbagiovanni, 2015).

Dal punto di vista strutturale, i corpi di fabbrica sono realizzati mediante elementi prefabbricati in cemento armato. Si tratta di un sistema industrializzato che prevede il trasporto e il successivo montaggio in cantiere dei componenti fondamentali della struttura in elevazione. Il primo edificio realizzato, che compare come nucleo centrale dell’intero intervento è realizzato mediante sistemi prefabbricati di travi, pilastri e solai con la conseguente ottimizzazione dei tempi di posa ed esecuzione dei lavori. Questo vantaggio è accompagnato, inoltre da una maggiore sicurezza e minor impatto ambientale durante tutta la fase di cantierizzazione.

Tabella 8. Elementi prefabbricati previsti nell’intervento di progetto in esame.

Gli elementi prefabbricati utilizzati sono manufatti integralmente in calcestruzzo armato ordinario, conformi al capitolo 4.1 delle NTC 2008 e non soggette alle restrizioni del capitolo 4.6		
SISTEMA PLURIPIANO IPERSTATICO	<i>Questo sistema di prefabbricazione secondo la classificazione definita nella normativa risulta come struttura a telaio iperstatico a nodi umidi. Le istruzioni applicative della NTC 2008 chiariscono che si ricade in questa condizione quando le strutture prefabbricate hanno collegamenti monolitici realizzati con getti integrativi che danno continuità di forze e momenti ad emulazione delle strutture gettate in opera.</i>	classificazione del par.7.4.5.2 del DM 14.01.2008; istruzioni applicative delle NTC 2008 al pt. C7.4.5.2.
PIANO DI MONTAGGIO STRUTTURE PREFABBRICATE	<i>Le sequenze di realizzazione della struttura sono quelle tradizionali: una volta preparata l'area di cantiere con l'esecuzione di paratie di diaframmi, la soletta di fondo e le necessarie impermeabilizzazioni, si procede dal basso verso l'alto con la posa dei pilastri prefabbricati. A questo punto inizia la fase di posa a secco del solaio prefabbricato autoportante. contestualmente avviene il posizionamento delle armature integrative di travi e lastre. successivamente il getto integrativo dell'impalcato.</i>	le fasi di realizzazione della struttura sono descritte in maniera più dettagliata in allegato dello stesso file.
PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURE PREFABBRICATE	<i>Si precisa che le operazioni di manutenzione prescritte sono le minime affinché l'opera non necessiti di manutenzione straordinaria entro l'arco di Vita Nominale di progetto, escludendo "eventi futuri fuori dal controllo del progettista".</i>	Si precisa un adeguato piano di manutenzione per tutte le strutture prefabbricate previste in opera.

5.2 Tecniche di industrializzazione del cantiere

Il proponente in prosieguo l’appalto, stabilisce la creazione temporanea ed immediata di una nuova organizzazione operativa di progettazione e di cantiere, nella sottoforma di Associazione Temporanea di Impresa sopra citata. Questa organizzazione consente alla “Impresa Unificata” di adempiere ai requisiti di qualificazione in vista alla progettazione e



realizzazione delle opere previste nella specifica gara. La struttura del raggruppamento si compone di diverse figure, ciascuna delle quali opera con lo scopo prioritario di far evolvere, nel modo più spedito possibile i lavori e fornire l'opera conforme al progetto predefinito. All'interno del Raggruppamento, si opera nell'individuazione delle varie figure secondo una gerarchia ben precisa indicata nella relazione di accompagnamento:

- Struttura di direzione e coordinamento; le figure cooperano al fine di ottenere un prodotto organico rispondente alle diverse e coesistenti esigenze. La figura che prevale in tale contesto è il Responsabile di progetto che sarà coadiuvato e supportato dalle figure dello Staff di Supporto alla Struttura di Direzione e Coordinamento;
- Staff di supporto alla struttura di direzione e coordinamento; le figure che collaborano al fine di sostenere le decisioni del Responsabile di progetto, sono figure di diverso indirizzo inerenti al controllo della qualità e l'interfaccia con i soggetti terzi;
- Struttura di progetto; la interconnessione delle attività relative alla progettazione costruttiva, organizzativa, di gestione e controllo dell'opera vengono adottate da diversi componenti che si relazionano internamente alla struttura di commessa nel legame tra appaltatore e stazione appaltante.

Il raggruppamento fornisce le indicazioni in dettaglio sull'organizzazione funzionale del gruppo di lavoro, specificandone i ruoli, i compiti di responsabilità e collaborazione sia in fase di sviluppo progettuale che in sede esecutiva. La presentazione di determinate specifiche, consente alla stazione appaltante di valutare già in prima istanza la qualità del Raggruppamento in rapporto al complesso delle prestazioni richieste in gara.

Al fine di ottimizzare i tempi di realizzazione dell'opera e minimizzare l'impatto di cantiere, l'Impresa propone l'impiego esteso della prefabbricazione sia per elementi strutturali che partizioni interne del progetto oggetto di gara. In particolare, l'uso esclusivo di tecniche costruttive a secco, consentono la riduzione della emissione di polveri e di produzione rifiuti oltre che la sensibile riduzione dei tempi di esecuzione dei lavori. vengono pertanto proposti gli elementi strutturali, edilizi e impiantistici sotto la guida di logiche costruttive ben selezionate. Le migliori che saranno sottoposte a validazione e verifica da figure competenti che esprimono il parere a riguardo. In una prima fase la Stazione Appaltante sarà chiamata ad esprimere l'approvazione e l'accettazione di tali soluzioni costruttive.

Per quanto concerne le opere strutturali, i componenti sono realizzati mediante un sistema prefabbricato in calcestruzzo industriale che sostituisce una struttura di tipo tradizionale, con un montaggio "tutto a secco" e una organizzazione di cantiere tipica dei prefabbricati industriali. . il sistema si compone di innesto di fondazione, il pilastro, la trave, il solaio, pareti di tamponamento e divisorie prefabbricate caratterizzate da facilità e velocità di montaggio oltre che migliori prestazioni antisismiche sia in relazione alla capacità dissipativa dell'azione sismica per la duttilità delle unioni, sia per la minore deformabilità dei telai.



- Elementi strutturali di fondazione: Innesto di fondazione in metallo da annegare nel getto della fondazione con lo scopo di sostenere il pilastro al montaggio e consentire l'inghisaggio con la fondazione stessa.
- Elementi verticali: Pilastro pluriplano che presenta una interruzione del getto in corrispondenza dell'appoggio della trave piano, allo scopo di realizzare, con l'ausilio di armature e getti integrativi, una efficace continuità strutturale idonea a trasmettere elevate sollecitazioni.
- Travi semiprefabbricate: manufatto in c.a.v. tralicciato, ad armatura lenta, la cui geometria è studiata sia per una sua efficace integrazione mediante armature e getti integrativi, ai pilastri e ai solai.
- Solai alveolari: di tipo precompresso autoportante, in grado di rispondere bene sia ai requisiti necessari alle fasi di montaggio, sia ad una connessione a umido on le travi.
- Pannelli prefabbricati di tamponamento esterno: struttura prefabbricata a taglio termico e ventilato, realizzato con un sistema di connessione tra strato portante e portato. Il pannello, appeso da muro a muro, contiene la finestra o le porte previste secondo le esigenze architettoniche ed arriva in cantiere già predisposto con grata metallica fissata allo strato portato esterno ed il serramento fissato allo strato portante interno. il pannello presenta inoltre elevata prestazione di isolamento e attraverso l'utilizzo di un serramento triplo vetro speciale si può ottenere prestazioni in classe A+.

I componenti edili sono preposti con la stessa filosofia di prefabbricazione richiamata nella realizzazione strutturale dell'opera per favorire la riduzione dei tempi, ma allo stesso tempo garantendo la qualità del progetto. Sono previste:

- Cellule bagno prefabbricate: che garantiscono accelerazione dei tempi di costruzione, il blocco rappresenta l'archetipo di una prefabbricazione integrale.
- Pareti autoportanti, pareti tecniche: costituita da elementi modulari variabili a seconda delle necessità.
- Pareti autoportanti con finitura in fibrogesso: la posa in opera in esame avviene esclusivamente a secco.

Secondo la logica della industrializzazione, nell'ambito delle opere impiantistiche, è prevista l'adozione di pannelli radianti a soffitto, canali per la distribuzione aerea con canali realizzati da pannelli prefabbricati in PAL e infine utilizzo di condotti elettrici prefabbricati e terminali di impianto costituiti da torrette a pavimento che velocizzano i tempi di posa e riducono gli ingombri degli elementi distributivi.



5.3 Migliorie

Nella fase preposta alla formalizzazione del contratto, la Stazione Appaltante esprime un giudizio sul Progetto Definitivo, presentato come offerta in sede di gara. In conformità al D.P.R. n.207/2010, nell'art.168, la figura del Responsabile Unico del Procedimento è tenuto ad avviare le procedure per l'acquisizione degli eventuali pareri dell'Amministrazione Appaltante e tramite l'ordine di servizio impartisce i responsi all'impresa affidataria. In tale fase, l'affidatario provvede, ove necessario, ad adeguare il progetto definitivo presentato sotto le prescrizioni susseguenti ai suddetti responsi, senza che ciò comporti alcun compenso aggiuntivo a favore dello stesso. I responsi sul Progetto definitivo sono conformati attraverso la stesura di opportuni verbali, che evidenziano l'accettazione totale, con prescrizione o la non accettazione della scelta progettuale esposta. Tutte le "migliorie" sono supervisionate dalla Stazione appaltante, pertanto, in relazione alle documentazioni del progetto, sono state raccolte le informazioni dei responsi inerenti i diversi ambiti di edilizia, struttura e impiantistica degli elaborati.

Tramite l'Ordine dei servizi citato sopra, l'Impresa aggiudicataria è chiamata a provvedere alla rielaborazione o alle integrazioni richieste per ottenere l'approvazione completa delle scelte proposte. Come appare evidente, in questa situazione il Raggruppamento d'Impresa si ritrova a eseguire ulteriori analisi e rielaborare alcune di queste soluzioni, tramite l'approfondimento tecnico e di dettaglio del progetto stesso.

Nell'ambito dell'edilizia, il progetto definitivo propone i seguenti implementi al progetto preliminare:

- Pavimenti sopraelevati autoportanti: *Miglioria NON E' ACCETTATA. Le opere vanno eseguite come da prescrizioni del PP di gara (si ricorda la presenza della pavimentazione sopraelevata nel CED e nel locale macchine del Dipartimento di Informatica al piano secondo dell'edificio multipiano;*
- Pareti divisorie di tipo tecnico: *Miglioria ACCETTATA. La Stazione Appaltante chiede indicazioni numeriche sul quantitativo offerto e si riserva di indicare la precisa collocazione delle pareti di tipo tecnico.*
- Pareti divisorie di tipo attrezzato: *Miglioria ACCETTATA. Situazione simile alla precedente.*
- Pareti interne del tipo in cartongesso a secco: *Non costituisce miglioria poiché il Progetto Preliminare presenta le suddivisioni interne già in cartongesso.*
- Integrazione fotovoltaica sulla facciata: *Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Si richiedono approfondimenti in dettaglio tecnici e costruttivi oltre che le garanzie di durabilità.*
- Facciata incollata in gres autopulente: *Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Si chiedono approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi.*
- Realizzazione di intercapedini di aerazione nell'interrato: *Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Si chiedono approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi.*



- *Realizzazione di edificio in classe A+ (riduzione del fabbisogno di energia primaria del 63%):Miglioria ACCETTATA. Si chiede calcolo documentato del risparmio vantato.*
- *Adozione di serramenti in alluminio con profilo tipo Schuco per facciate continue:Miglioria ACCETTATA. Si chiede che l'identificazione del sistema avvenga eliminando la parola >tipo< dalla descrizione della miglioria.*
- *Adozione di controsoffitti radianti fonoassorbenti:Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Si chiedono approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi, dimostrazioni di prestazioni e durabilità.*

Per quanto riguarda l'ambito strutturale:

- *Realizzazione degli elementi fuori terra di tipo prefabbricato industriale:Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Per le membrature in elevazione si richiedono a tutti i piani "sezioni quadrate/rettangolari" (non pilastri tondi); di conservare tra corpi di fabbrica giunti a selle Gerber eliminando il raddoppio dei pilastri; di identificare univocamente il sistema di prefabbricazione degli elementi, di ricevere approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi.*
- *Adozione di pannellature di facciata:Miglioria ACCETTATA CON OSSERVAZIONI. Si chiede di identificare il sistema delle pannellature; conservare la "varietas" della composizione architettonica dei prospetti; dimostrare come si realizza il raggiungimento di prestazioni termo acustiche tali da ottenere un edificio in classe A+ così come offerto e accettato con la soluzione migliorativa 8; di ricevere approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi, specie in merito ai ponti all'eliminazione dei ponti termici."*

Tramite atto ordine dei servizi citato sopra si richiede all'Impresa aggiudicataria di provvedere alla rielaborazione e alle integrazioni richieste al fine dell'approvazione completa delle migliorie presentate. Come appare evidente molte delle proposte del RTI prevedono ulteriore analisi e rielaborazione di alcune di queste soluzioni migliorative tramite l'approfondimento tecnico e di dettaglio per far sì che possano acquisire il vantaggio di incremento del progetto stesso. Nel caso in cui l'affidatario si sottrae a tali prescrizioni si deduce la sua negligenza nel progetto e ciò provoca l'annullamento dell'aggiudicazione definitiva.

5.4 Il Progetto Definitivo sotto esame

"La verifica è finalizzata ad accertare la conformità della soluzione progettuale prescelta alle specifiche disposizioni funzionali, prestazionali, normative e tecniche contenute nello studio di fattibilità, nel documento preliminare alla progettazione ovvero negli elaborati progettuali dei livelli già approvati."(D.P.R. n207/2010, art. 45).

Dalla lettura degli articoli del D.P.R. n207/2010, in materia dei criteri di verifica delle fasi di progettazione, è chiaro che, prima delle procedure di affidamento, redazione del Progetto



Esecutivo ed inizio dei lavori, deve essere accertata l'unità progettuale degli elaborati presentati dal concorrente in offerta. Entro un termine prestabilito dalla comunicazione delle prescrizioni riportate nel paragrafo precedente l'Impresa aggiudicataria opera nell'adeguamento e l'approfondimento degli elaborati.

Il Responsabile Unico del Procedimento individua la completezza, la coerenza e la conformità alla normativa vigente degli elaborati secondo quanto previsto agli articoli 52 e 53 del D.P.R. n207/2010:

“Le verifiche sono condotte sulla documentazione progettuale per ciascuna fase, con riferimento ai seguenti aspetti di controllo:

- a) *Affidabilità;*
- b) *Completezza ed adeguatezza;*
- c) *Leggibilità, coerenza e ripercorribilità;*
- d) *Compatibilità.*

L'attività di verifica del Responsabile del Procedimento è fondamentale perché mette in evidenza le incongruenze e le lacune dei diversi elaborati e la rispondenza delle soluzioni progettuali proposte in gara d'appalto. A tal proposito si evidenziano alcune note espresse dal Responsabile Unico del Procedimento nei riguardi dell'ATI, sia di carattere generale che delle singole discipline.

Tabella 9. Note del Responsabile Unico del Procedimento sul Progetto Definitivo

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	→ RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA
<i>Note di carattere generale</i>	Gli elaborati presentati non rispondono per completezza e approfondimento, al livello di Progetto Definitivo proposto in offerta. In particolare diverse porzioni del costruito non risultano sviluppate o non dettagliate
<i>Note in ambito dell'edilizia e dell'architettura</i>	in buona sostanza l'impostazione architettonico - edilizia e la distribuzione funzionale è coerente con i contenuti del Progetto Preliminare ad eccezione di alcune discordanze tra elaborati architettonici e strutturali poiché non sono presenti tutte le descrizioni delle stratigrafie di progetto e una tabella degli ambienti che favorisca una leggibilità immediata delle vari spazi interni dell'opera I disegni di dettaglio della facciata, in pannelli prefabbricati, evidenziano delle insufficienze per quanto interessa la risoluzione di importanti ponti termici lineari sia in corrispondenza dei solai che nei serramenti e l'esame dei dettagli mostra che le tolleranze e gli spessori necessari per il montaggio non sono correttamente rappresentati
<i>Note in ambito strutturale</i>	La tipologia di struttura proposta negli elaborati richiede un livello di approfondimento maggiore per quanto attiene all'analisi strutturale. Si sottolinea l'incoerenza tra brochure relative al sistema prefabbricato e la tipologia riportata in progetto.

È evidente che in sede di verifica non tutte le soluzioni individuate nel Progetto Definitivo risultano esaustive, pertanto l'aggiudicatario è richiamato a introdurre le integrazioni e correzioni del Progetto. Tuttavia, l'impostazione e i criteri utilizzati per le scelte progettuali in relazione agli schemi funzionali e architettonici dell'opera, risultano coerenti al Progetto



Preliminare. Per tale ragione si procede all'approvazione del Progetto Definitivo e l'aggiudicatario introdurrà le integrazioni o correzioni nella fasi di elaborazione del Progetto Esecutivo.

6. Progetto Esecutivo

6.1 Sviluppo del Progetto Esecutivo

La progettazione esecutiva costituisce la fase ultima del processo di progettazione dell'opera, infatti con il progetto esecutivo i lavori sono definiti ad un livello di accuratezza tale da elaborare in minuzia ogni elemento dell'opera. I dati materici, descrittivi e documentazione di dettaglio risultano pertanto sufficienti nel guidare l'intero processo di costruzione.

Nello specifico, il progetto esecutivo si sviluppa verso la definizione di dettaglio dell'opera e allo stesso tempo verso la definizione delle attività realizzative tese alla sua costruzione, rappresenta nel complesso l'ingegnerizzazione di tutte le lavorazioni. e definisce in ogni specifico architettonico, strutturale ed impiantistico. Dalla lettura dell'art.33 del D.P.R. n.207/2010, il progetto definisce in ogni specifico architettonico, strutturale ed impiantistico l'intervento da realizzati e comprende i seguenti documenti:

- *Relazione generale;*
- *Elaborati grafici comprensivi anche di quelli delle strutture, degli impianti e di ripristino e miglioramento ambientale;*
- *Calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti;*
- *Piano di manutenzione;*
- *Piano di sicurezza e di coordinamento e quadro di incidenza della manodopera;*
- *Crono programma*
- *Elenco prezzi unitari;*
- *Computo metrico estimativo e quadro economico;*
- *Schema di contratto e capitolato speciale d'appalto.*

L'evoluzione della fase definitiva all'esecuzione dei lavori è quindi incrementata da tutte le informazioni tecniche, distributive, formali per la corretta e puntuale realizzazione dell'opera. Il progetto esecutivo in sostanza è così sintetizzato dalle seguenti parti:

- La relazione generale: motiva le scelte progettuali e i differenti aspetti contenuti nel progetto;
- La parte grafica: disegni architettonici, strutturali, impiantistico- tecnologici sviluppati nella modalità esecutiva di dettaglio;
- La parte estimativa: comprende il quadro economico e il computo metrico estimativo.



Lo sviluppo di ogni voce riportata rappresenta una fase di definizione delle componenti tecnologico – costruttive di ogni elemento dell’opera, nel progetto esecutivo vengono risolte le problematiche della trasmutazione della teoria alla pratica, poiché i vari aspetti devono assumere l’ intelligibilità appropriata per coloro cui è affidato il compito di “eseguire” la realizzazione del progetto. In seguito alla consegna del Progetto Esecutivo da parte dell’Impresa, il progetto viene sottoposto a verifica secondo le norme cogenti.

6.2 Verifica e Validazione del Progetto Esecutivo

La verifica viene condotta su tutti i livelli di progettazione, che rappresentano approfondimenti e arricchimenti successivi della configurazione esplicativa e prescrittiva del progetto. Allo stesso modo la verifica del progetto esecutivo prevede gli stessi elementi di analisi, di livello in livello, ma sviluppati in modo più approfondito e analitico.

Nel dettaglio le finalità della verifica consente di rilevare tutte le caratteristiche di qualità, o di carenza di qualità del progetto nel rispetto del codice vigente. In particolare, come enunciate dal c. 2 dell’art.45 del D.P.R. n.207/2010 e contemporaneamente dagli art. 52 e 53 dello stesso codice sono forniti i criteri e le modalità dell’attività di verifica, già riportato nel paragrafo 4.4. La sua conclusione con esito positivo comporta il trasferimento alla stazione appaltante della comunicazione che il progetto è privo di errori e lacune, coerente con il contesto normativo, adeguato a soddisfare le esigenze per le quali è stato concepito, congruo dal punto di vista economico, realizzabile e celermente cantierabile.

Tabella 10. Appaltatore e Direzione Lavori

Appaltatore ←	→ Direzione lavori
Comunica le caratteristiche meccaniche, geometriche e ponderali dei prodotti che intende impiegare attraverso schede prodotto prima di dare corso alla fornitura	Ha il compito di approvare e verificare i prodotti proposti
I campioni presentati devono soddisfare le caratteristiche del Capitolto e degli altri elaborati di progetto	Sottopone in'unica sessione preliminare tutti i campioni ed esprime in anticipo un giudizio
Non è esonerata dalle responsabilità circa l'idoneità del materiale impiegato anche dopo l'accettazione	Richiede certificati e/o attestati di conformità dei materiali e prodotti, come garanzia
E' obbligato a prestarsi per tutte le prove prescritte dal Capitolato, dalle norme e dalla Direzione Lavori	Amplia la verifica per maggiore validità, garanzia e qualità dell'opera, tramite organi di Collaudo

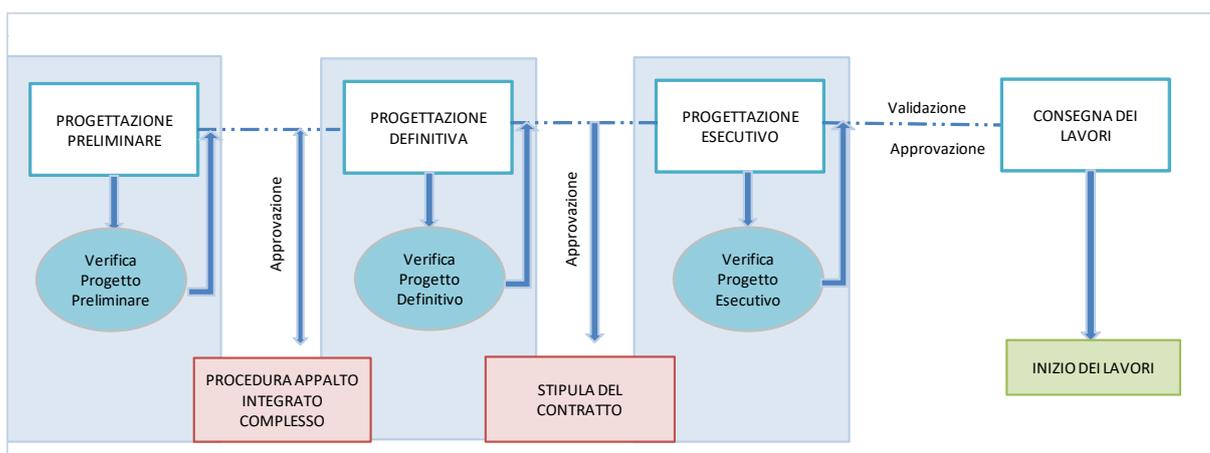
L’attività di verifica consta, dal punto di vista pratico, nella compilazione di appositi verbali redatti in contraddittorio con il progettista ed in rapporti del soggetto preposto alla verifica. Durante la verifica del Progetto Esecutivo in esame, sono sorte delle problematiche che hanno causato un rallentamento delle fasi operative e l’allungamento dei tempi di consegna. In tutte le sue parti il progetto ha subito delle consistenti revisioni che hanno portato il Raggruppamento temporaneo d’Impresa a redigere nella massima accuratezza il

progetto in questione, con lo scopo di eliminare le carenze evidenziate sia dal Responsabile del Procedimento che dal soggetto verificatore.

Le verifiche sono concepite ai fini della validazione del progetto, che rappresenta l'atto formale conclusivo per il processo di realizzazione dell'opera in questione. La validazione del progetto posto a base di gara è sottoscritto dal Responsabile Unico del Procedimento che recepisce e fa proprie le risultanze dell'attività di verifica condotta dal soggetto preposto alla verifica, Organismo di Ispezione, i cui esiti vengono depositati in un rapporto finale delle attività ispettive.

Dall'analisi delle documentazioni emerge la complessità dell'iter di validazione del progetto, il confronto costante e attivo tra le figure che partecipano alla progettazione, spesso, risulta di una non adeguata coordinazione e chiarezza di tali enti. Al termine dell'attività di verifica, il progetto esecutivo dopo le accurate modifiche acquista i requisiti per la validazione ottenendo l'approvazione e di conseguenza le operazioni di cantiere possono avere inizio.

Tabella 11. Schema procedura di sviluppo delle fasi di progettazione



7. Inizio dei lavori

7.1 La prefabbricazione in cantiere

Nel caso studio in oggetto il verbale di validazione del Progetto Esecutivo viene redatto dal Responsabile Unico del Procedimento, come suindicato nel paragrafo precedente. Si riporta la nota del Raggruppamento Temporaneo di Impresa nella lettera con la quale si trasmette il verbale di validazione:

“il RTI riceve in data odierna il verbale di validazione del progetto esecutivo che approva il PE con prescrizione ... il documento contiene una serie di osservazioni e precisazioni che, per rilevanza, devono essere analiticamente vagliate e valutate quanto ad ammissibilità ... lo

scrivente, conferma per senso di responsabilità provvederà immediatamente ad avviare i lavori secondo le carenze previste dal crono programma.”

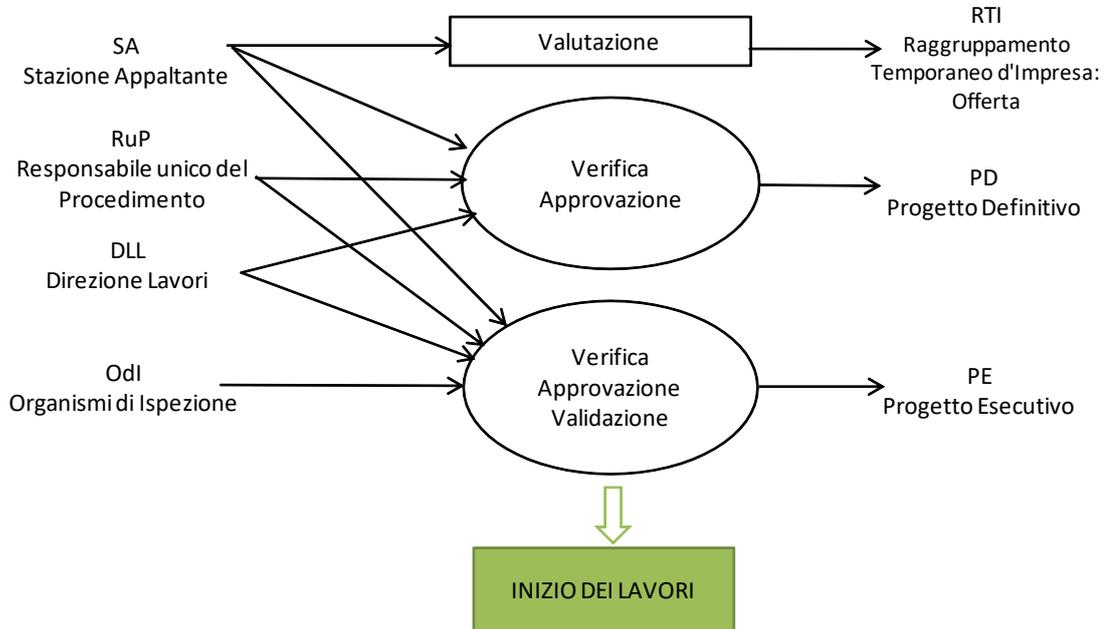


Figura 9. Schema compiti delle figure coinvolte per inizio dei lavori

Successivamente alle opportune e necessarie verifiche delle soluzioni progettuali si può ufficialmente passare alle fasi di lavoro per la realizzazione dell'intera opera. Il progetto che prevede la realizzazione di due volumi, funzionalmente indipendenti, è improntato sull'utilizzo di componenti prefabbricati. Come è certo, ogni cantiere rappresenta un caso a sé che va accuratamente studiato, esaminato e progettato prima della sua organizzazione. Nella fase di progettazione e sistemazione delle aree di cantiere, a partire dalla planimetria del sito si determinano la viabilità, l'area operativa di cantiere e gli eventuali vincoli inerenti l'area circostante.

Una volta definito il progetto di massima, in seguito alle attività di allestimento del cantiere, il progettista e il Coordinatore Sicurezza, con l'apporto della ditta fornitrice delle strutture prefabbricate, esaminano dettagliatamente le fasi di realizzazione dell'opera o programmi di montaggio, al fine di individuare e mettere in atto apprestamenti tecnici idonei a garantire la massima sicurezza nella fase di esecuzione dei lavori.

Ai fini della pianificazione della sicurezza, è fondamentale definire le modalità di attuazione del programma operativo, la successione temporale delle attività e delle fasi di intervento. Occorre inoltre premettere che la cantierizzazione rappresenta una fase abbastanza delicata ed imprevedibile di eventi, i quali possono determinare condizioni poco favorevoli nel procedimento di realizzazione di un'intera opera. In funzione di ciò, è opportuno esplicitare la differenza che intercorre tra pericolo e rischio, termini che hanno un significato differente nell'ambito della realizzazione di un'opera; pericolo, è la potenzialità



di una determinata entità di causare un danno più o meno grande, alle persone o al contesto; il rischio è invece la possibilità, o la frequenza, correlata al verificarsi di un evento dannoso. Il progetto di sicurezza in esame viene schematizzato con quanto segue:

- Analisi dei fattori di pericolosità;
- Valutazione dei rischi;
- Organizzazione e attuazione degli interventi;
- Verifiche dei rischi;
- Attuazione delle misure correttive.

Ogni lavorazione è sottoposta al controllo costante della correttezza e della rispondenza degli specifici presidi di sicurezza, analisi dei pericoli e eliminazione dei rischi, qualora sia possibile. L'organizzazione del cantiere procede in una pianificazione delle attività lavorative in conformità della sicurezza, in particolare per ogni fase di lavoro inerente le strutture prefabbricate, è essenziale analizzare i rischi connessi nella fase di montaggio al fine di optare scelte tecnico operative adeguate che possono eliminare o contenere la gravità delle molteplici situazioni. Le strutture prefabbricate devono rispettare le disposizioni contenute nelle vigenti Nuove Norme Tecniche per la Costruzione, D.M. 14 gennaio 2008, di cui è proposta la seguente definizione:

“il componente prefabbricato deve garantire i livelli di sicurezza e prestazione sia come componente singolo, nelle fasi transitorie di sformatura, movimentazione, stoccaggio, trasporto e montaggio, sia come elemento di un più complesso organismo strutturale una volta installato in opera”.

A ciò si aggiunge inoltre che:

“in presenza di strutture prefabbricate poste in opera, fermo restando quanto sopra specificato, si devono eseguire controlli atti a verificare la rispondenza dell'opera ai requisiti di progetto; è inoltre fondamentale il preventivo controllo della posa degli elementi prefabbricati e del rispetto del progetto nelle tolleranze e nelle disposizioni delle armature e dei giunti, nonché nella verifica dei dispositivi di vincolo.”

Per quanto specificato dalla normativa in presenza di strutture prefabbricate poste in opera, si devono quindi eseguire controlli atti a verificare la rispondenza dell'opera ai requisiti stabiliti nel progetto. L'utilizzo della struttura prefabbricata comporta, sicuramente la razionalizzazione dei processi produttivi, ma al fine di un risultato di qualità ottimale dell'opera, ogni elemento prefabbricato deve rigorosamente essere posto al controllo diligente in ogni sua fase evolutiva, dal trasporto alla posa in opera in cantiere. Uno dei principali rischi associato alla presenza di strutture prefabbricate in cantiere è relativo alla fase di montaggio del componente.



Tabella 12. Gli elementi prefabbricati dalla produzione al trasporto in cantiere

<i>ELEMENTI PREFABBRICATI</i>	
<i>REALIZZAZIONE</i>	Sono realizzati in ambienti coperti e al riparo degli agenti atmosferici
	Gli elementi sono forniti con tutti gli inserti previsti per evitare modifiche nel cantiere
<i>STOCCAGGIO</i>	Permanenza da garantire l'idoneità d'impiego del elemento
	Evitare sollecitazioni parassite dovute a flessione dal peso proprio
	Evitare sollecitazioni che inducano deformazioni permanenti
	Ogni elemento va contrassegnato con eventuale sigla di progetto, data di produzione e peso
<i>TRASPORTO</i>	Devono essere garantite le tolleranze nel movimento di marcia del mezzo che può influire sull'elemento

Nel cantiere edile, molte sono le figure a vario titolo che coadiuvano con lo scopo di realizzare l'opera, soprattutto nel pieno riguardo dei requisiti previsti dalla normativa sulla sicurezza e dettati dal D.lgs. 81/08 durante le operazioni all'interno del cantiere.

- Il Responsabile Unico del Procedimento è la figura qualificabile come pubblico ufficiale, in possesso di determinate competenze professionali, che vigila sullo svolgimento di ogni singolo intervento affinché si compia la realizzazione dell'opera in relazione ai tempi, alla qualità, ai costi preventivati adeguati alle disposizioni della normativa vigente. La figura è individuata in funzione dell'art.31 del D.lgs. 50 del 2016 e s.m.i., analogamente a quanto previsto dal D.lgs 163 del 2006 sulla funzione del RUP. Il Responsabile del procedimento è preposto a tutte le decisioni più importanti, ne consegue che, pur avendo una preponderante indipendenza, anche il direttore dei lavori è tenuto al rispetto delle disposizioni ripartite dal RUP.
- Direttore dei lavori è la figura giuridica che contrae un obbligo con la Stazione Appaltante al fine di controllare e verificare il corretto procedere delle attività esecutive e può avvalersi della collaborazione di ulteriori figure professionali di supporto. È una figura professionale che usufruisce di tutti gli elaborati esposti nel progetto esecutivo e del crono programma di progetto, al fine di confrontare l'avanzamento delle fasi nel cantiere. Per il buon esito dell'opera, il direttore dei lavori è tenuto a redigere periodici verbali con annessi rilievi fotografici nei confronti del committente, per evidenziare che tutto proceda secondo quanto richiesto. Alla medesima figura è conferita la funzione di coordinamento, è preposto al controllo tecnico e contabile e di primaria importanza, ha la specifica



responsabilità del controllo qualitativo e quantitativo degli accertamenti di tutte le caratteristiche dei materiali in aderenza alle disposizioni della normativa vigente.

- Il coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione, CSE, è la figura atta a svolgere la funzione di “alta vigilanza”, che il direttore dei lavori può assumere se in possesso di determinati requisiti. Le responsabilità principali sono definiti nell’art.92 del D.Lgs n.81/2008, pertinenti alla funzione funzioni di coordinamento e controllo in relazione all’evoluzione dei lavori. il CSE valuta le proposte delle imprese esecutive nel miglioramento della sicurezza di cantiere, organizza le varie figure coinvolte nei lavori esecutivi e nello scambio di informazioni.
- Direttore tecnico di cantiere è l’interlocutore del direttore dei lavori da parte di tutte le imprese impegnate nell’esecuzione dei lavori, come garanzia della corretta applicazione delle norme vigenti sulla sicurezza. In particolare il D.Lgs. 81/08 prescrive al datore di lavoro delle imprese coinvolte di adempiere a funzioni di verifica e coordinamento della sicurezza in congruenza con i piani operativi di sicurezza, POS.

In linea generale, per garantire la regolarità dei lavori le figure competenti coadiuvano insieme per non compromettere la corretta esecuzione dei lavori.

7.2 Strutture in elevazione

La realizzazione del progetto in esame è concepita secondo un ottica di industrializzazione dei processi, tramite l’utilizzo di sistemi costruttivi prefabbricati. In particolare prevede l’intera struttura in elevazione tramite componenti realizzati al di fuori dell’area di intervento, che poi in seguito al trasporto dalla fabbrica di produzione, vengono assemblati in cantiere. Il cantiere diventa così l’officina di assemblaggio, con il vantaggio di definire in modo semplificato le diverse lavorazioni di completamento dell’opera.

Come si legge nel piano di manutenzione delle opere prefabbricate, si può definire la struttura in elevazione, l’insieme di tutti gli elementi tecnici del sistema edilizio aventi la funzione di resistere alle azioni di varia natura agenti sulla parte di costruzione fuori terra. La funzione è garantita mediante la trasmissione di tali azioni agenti sulla struttura in elevazione alla strutture di fondazione e quindi al terreno. Le strutture prefabbricate, come già detto, consentono una riduzione dei costi e la diminuzione degli oneri, derivanti dalla realizzazione in corpo d’opera. Nello specifico, l’utilizzo di questi elementi, hanno permesso l’eliminazione delle operazioni di carpenteria e delle opere di sostegno provvisorie. Nel progetto si prevede del seguente sistema:

- Pilastri prefabbricati;
- Travi;
- Pannelli prefabbricati.

Questi elementi devono garantire l'integrità totale dell'opera e sono soggetti a controlli periodici e verifiche prima del loro assemblaggio. Si tratta di un sistema "puzzle" dove ogni elemento prefabbricato viene inserito come un tassello mancante per completare l'opera.

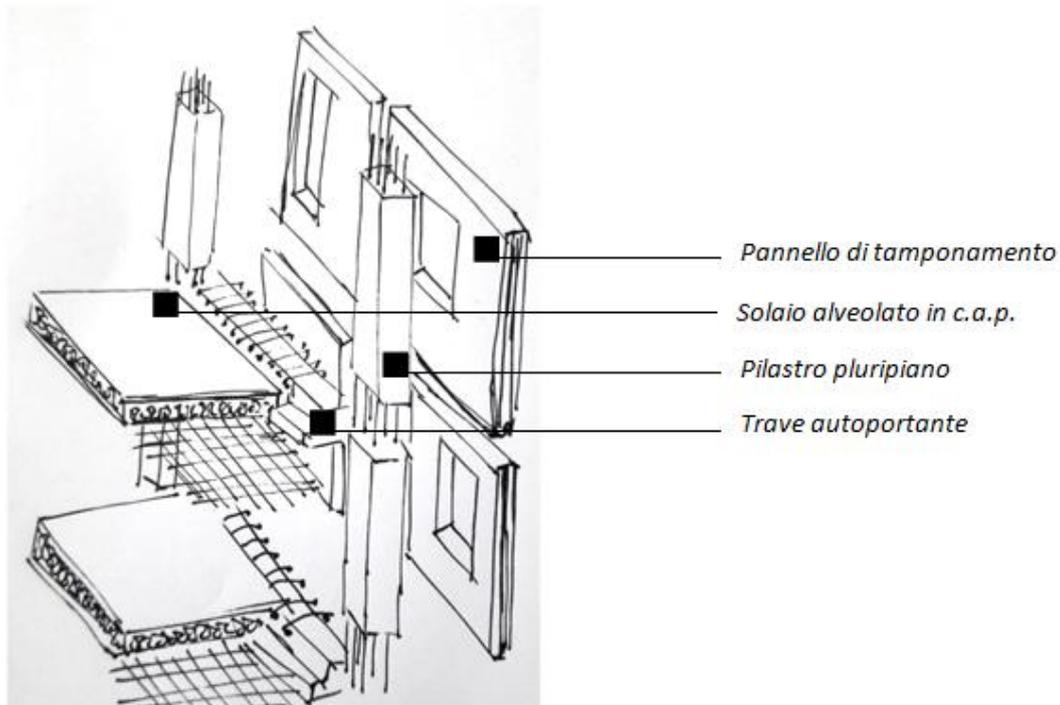


Figura 10. Struttura in elevazione. Elementi prefabbricati del progetto

7.3 Iter di accettazione del prodotto prefabbricato

Il progetto è caratterizzato da una dilatazione dei tempi di esecuzione derivanti da varianti in corso d'opera, durante la fase di inizio lavori. In seguito a dei problemi riscontrati, il completamento dell'opera slitta per un arco di tempo corposo rallentando i procedimenti successivi delle fasi di progettazione. Nel caso in esame, i pannelli di tamponamento sono presentati nella data del 6 Ottobre 2014.

L'impresa è tenuta a inviare i documenti necessari per l'approvazione della soluzione progettuale proposta. In questo contesto, è chiaro che l'Impresa, il Responsabile Unico del Procedimento e la Direzione Lavori, sono coinvolte in un costante confronto per accelerare i tempi e concretizzare, secondo opportune analisi, la reale fattibilità e applicazione dell'elemento prefabbricato. Il raffronto per l'accettazione dei pannelli di tamponamento proposti dall'Impresa, si protrae per ben due anni, anche in conseguenza a situazioni di imprevisto che hanno caratterizzato il progetto.

L'impresa deve chiarificare e approfondire ogni dettaglio in relazione alla soluzione progettuale, in merito deve presentare le opportune documentazioni che possono essere elencate in:



- Certificazioni in merito alla qualità dei prodotti e servizi per la costruzione, dalla fabbrica di produzione fino alla validità dell'elemento presentato, certificato CE e controllo della produzione;
- Schede tecniche di ogni prodotto, riferite alla forma, dimensione, peso e stratigrafia;
- Relazioni prestazionali e di calcolo strutturale;
- Calcoli di trasmittanza termica, acustica e reazione al fuoco;
- Allegati degli elementi di fissaggio per il sostegno dei pannelli alla struttura principale.

Tutte le documentazioni devono essere firmate e timbrate per garantire la validità di questi. Dopo una serie di integrazioni per le mancate documentazioni richieste all'Impresa, la proposta viene accettata nel 2016 con prescrizione della Direzione dei Lavori. In una prima fase, il pannello ha ricevuto l'esito negativo da parte della Direzione Lavori in merito alla carenza di documentazioni che attestino la qualità del prodotto proposto.

Tabella 13. Prima documentazione pannello di tamponamento

06.10.14 Impresa al RUP	UNI EN 13369:2008 UNI EN 14992:2007	Impresa: Cooperativa di Costruzioni	RESISTENZA FUOCO	AL SISTEMA di VINCOLAMENTO ALLA STRUTTURA DELL'EDIFICIO
DESCRIZIONE	STRATIGRAFIA	CARATTERISTICHE TERMICHE	RESISTENZA FUOCO	AL SISTEMA di VINCOLAMENTO ALLA STRUTTURA DELL'EDIFICIO
Pannelli prefabbricati di tamponamento conglomerato cementizio armato a taglio termico aventi la facciata esterna con finitura liscia da cassero metallico e la facciata interna tirata a frattazzo.	Crosta esterna in conglomerato cementizio armato, spessore 6cm. Strato isolante in poliuretano tipo Stiferite GT, spessore 12cm. Crosta interna portante in conglomerato cementizio armato 6cm.	UNI EN 6946:2008 sono valutate con software validato dall'Ente di Certificazione ICMQ coefficiente di trasmissione $U \leq 19$ W/m ² K	UNI 9502/2001 prove sperimentali sulle spine Edilmatic presso il Politecnico di Milano R90', considerando la superficie interna del pannello come superficie esposta	Sospensione alle travi perimetrali di piano con mensole metalliche uscenti dalla crosta portante del pannello; ritenuta ai solai con piastre a baionetta zigrinate, piastrine antisiltamento, viti M16 con testa ad ancora inserite a serrate in profili metallici tipo Locatelli GP40/221 annegati sia nel pannello che nel solaio.
ESITO NEGATIVO DLL 9.10.2014	Quanto proposto è in contrasto con i seguenti elaborati di PE, non sono rispettati i requisiti di isolamento termico del pannello. È necessario allegare tutta la documentazione necessaria per: <ul style="list-style-type: none"> - Resistenza al fuoco (pannello e nodo facciata) - Requisiti acustici passivi; - Resistenza ai carichi previsti da NTC 2008 			



20.10.14. REV01

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO		RESPONSABILE DEI PROCEDIMENTO
DESCRIZIONE DEL PRODOTTO	DEL	Pannelli prefabbricati di tamponamento in conglomerato cementizio armato a taglio termico Totale 30cm. Sistema di sospensione FLEXO' 50 UNI EN 6946:2008 ICMQ coefficiente di trasmissione $U \leq 19 \text{ W/m}^2\text{K}$
DIREZIONE LAVORI		RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO
ESITO ACCETTATA	PROPOSTA	L'approvazione del pannello prefabbricato è collegata al rispetto delle prestazioni complessive di facciata e, in particolare, a: - Requisiti acustici passivi (come previsti da CSA) - Requisiti antincendio (resistenza al fuoco e compartimentazione) È inoltre richiesto un approfondimento per il nodo in corrispondenza dell'ultimo solaio (eliminazione ponte termico)
03.11.2014		

Cambio DLL.

22.03.16. REV02

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO		RESPONSABILE DEI PROCEDIMENTO
DESCRIZIONE DEL PRODOTTO	DEL	Pannelli prefabbricati di tamponamento in conglomerato cementizio armato a taglio termico Totale 30cm. Sistema di sospensione FLEXO' 50 UNI EN 6946:2008 ICMQ coefficiente di trasmissione $U \leq 19 \text{ W/m}^2\text{K}$
DIREZIONE LAVORI		RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO
ESITO ACCETTATA	PROPOSTA	Approvazione condizionata al rispetto delle caratteristiche termiche, meccaniche e acustiche dell'intero tamponamento di facciata, alla presentazione del certificato CE del pannello, alla risoluzione del problema dei ponti termici (tutti) è inoltre necessario presentare il progetto STRUTTURALE DEI PANNELLI, DA AGGIUNGERE ALLA DENUNCIA DELLE OPERE STRUTTURALI
29.03.2016		



22.03.16. REV02	
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO → RESPONSABILE DEI PROCEDIMENTO	
DESCRIZIONE DEL PRODOTTO	Pannelli prefabbricati di tamponamento in conglomerato cementizio armato a taglio termico Totale 30cm. Sistema di sospensione FLEXO' 50 UNI EN 6946:2008 ICMQ coefficiente di trasmissione $U \leq 19 \text{ W/m}^2\text{K}$
DIREZIONE LAVORI → RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO	
ESITO VALUTAZIONE 19.04.2016	<p>Si trasmette con la seguente documentazione integrativa a soddisfacimento delle condizioni formulate da codesta DLL per l'approvazione dei pannelli di tamponamento prefabbricato:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viene richiesta la scheda tecnica dello strato isolante indicato come strato in poliuretano tipo Siferite GT per valutare le caratteristiche e prestazioni dell'elemento; - Relazione acustica contenente il calcolo del valore di $D2m_nT$, che come richiesto dal CSA deve rispettare un valore di isolamento acustico di facciata $D2m_nT \geq 48\text{dB}$. L'Appaltatore dichiara il valore di potere fono isolante pari a $R=55\text{dB}$ quindi se ne richiede chiarimento in relazioni a reali prove; - Richiesta di certificato di prova a fuoco e di provvedere alla protezione al fuoco dei nodi (metallici) di aggancio del pannello alla struttura; - Si richiede il calcolo strutturale del pannello che nel caso presentato si considera solo ed esclusivamente la situazione di non presenza di aperture, quindi è necessario valutare discontinuità del pannello; - Risoluzione del ponte termico in prossimità del pluviale oltre a tener conto dei ponti termici puntuali relativi agli agganci del sistema di facciata (ventilata o micro ventilata). <p>Note di carattere strutturale:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integrare la relazione di calcolo con l'indicazione degli schemi statici di verifica; - Fornire abaco dei pannelli con annesse verifiche strutturali; - Fornire schema statico e verifica dei collegamenti; - Fornire verifica dei nodi critici del pannello; - Aggiornamento della relazione di calcolo per esistenza di refusi. <p>Note di carattere generale:</p> <p>Al fine dell'accettazione del prodotto presentato da parte della Direzione Lavori, i pannelli devono essere dotati di documenti attestanti la marcatura CE e accompagnati da DOP.</p>

L'Impresa prende atto alle valutazioni del Direttore dei Lavori al fine di adempiere alle sue richieste. In merito alle note, il Raggruppamento mobilita la sua risposta e integra parte delle documentazioni richieste. Certificato CE del controllo della produzione in fabbrica, relazioni di calcolo. Ovviamente la documentazione non risulta esaustiva, di conseguenza verranno richieste delle ulteriori integrazioni.

8. Pannelli di tamponamento esterno

8.1 Requisiti generali

Prima di procedere alla soluzione progettuale adottata nel progetto in esame, è necessario partire da una argomentata prefazione che presenti l'elemento esaminato. Come noto, l'evoluzione della prefabbricazione nel campo dell'edilizia, ha ampliato nel corso degli anni, la possibile applicazione dei tamponamenti esterni in ogni contesto. Il pannello di tamponamento esterno è un elemento di chiusura verticale ed isolamento dell'edificio nei confronti dell'ambiente circostante. La decisione di adottare un processo industrializzato, consente di ottenere un vantaggio rilevante nell'adempire in tempi e costi ristretti la



realizzazione di un edificio o un progetto complesso. Tramite un rapido excursus storico, è evidente come l'impiego della pannellatura prefabbricata in calcestruzzo armato tradizionale risale al termine degli anni 60 (*Tegoli a pi greco*: tipologia classica della prefabbricazione utilizzata negli anni '60 come copertura piana di strutture industriali. flessibilità progettuale, praticità d'impiego, funzionalità e alta qualità nell'aspetto). Le prime applicazioni derivano dall'idea di porre verticalmente, lungo il perimetro esterno dell'edificio, gli elementi prefabbricati, principalmente adoperati nell'ambito dell'architettura civile industriale, quali capannoni. Gli elementi prefabbricati sono concepiti in accordo e nel rispetto della normativa vigente. In particolar modo, le caratteristiche e la progettazione delle strutture prefabbricate, si avvalgono principalmente della EN 1992-1:2015 e la UNI EN 14992:2012. La prima definisce i criteri di progettazione strutturale secondo i requisiti di sicurezza, esercizio e durabilità, mentre la seconda vige sugli elementi da parete. Di seguito è possibile definire la struttura prefabbricata:

“ come strutture caratterizzate all'utilizzo di elementi strutturali prodotti in luogo diverso da quello finale nella struttura. Nella struttura gli elementi sono assemblati per garantire l'integrità strutturale richiesta”

La norma viene applicata in opere civili e progettazione di edifici in calcestruzzo armato, non armato e precompresso, mentre restano fuori aspetti riguardo l'isolamento termico e acustico. Ovviamente, è certo che nell'intera progettazione dell'involucro di un edificio è importante valutare le prestazioni e le tipologie di materiali che lo costituiscono. Questo perché, tali elementi devono godere di determinati requisiti funzionali atti a garantire il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati, nonché il contenimento dei consumi energetici.

I pannelli di tamponamento esterno consentono di raggiungere qualità estetiche, prestazionali e alternative rispetto alla progettazione tradizionale dell'involucro di un edificio. Esistono sempre più nuove soluzioni che aziende e produttori concorrono nella loro creazione, e la ricerca implementa ulteriormente passi avanti nel pieno utilizzo della prefabbricazione. Secondo quanto definito dalla normativa UNI EN 14992:2012 è possibile classificare le diverse tipologie di pareti che possono assumere la funzione di parete portante o portata. Si definisce portante la parete tenuta a reggere i carichi esterni, mentre come nel caso in esame, la parete è portata ed agganciata al resto della struttura con il compito di “reggere” il solo peso proprio. Si definiscono nella norma citata:

- Parete piena, l'elemento finito comprensivo di armatura e fissaggi;
- Parete composita: formata da due strati separati prefabbricati armati che sono unite tra loro mediante un sistema di tralicci. Il completamento della parete avviene in cantiere tramite getto di calcestruzzo;
- Parete sandwich, definita da più strati di cui uno di base, uno strato isolante o una possibile intercapedine, per poi terminare con un pannello di rivestimento. I vari



strati possono essere collegati mediante sistemi rigidi oppure consentire lievi spostamenti;

- Pannello di tamponamento, non assume la funzione di parete portante ma è fissato alla struttura mediante un sistema di collegamento. Questi pannelli possono essere di dimensioni ridotte quando privi di armatura.

I pannelli prefabbricati vengono concepiti quindi sotto diversi aspetti e in uno scenario edilizio all'avanguardia. Superati i primi semplici "modelli", si sviluppano oggi delle soluzioni sempre più efficienti ed innovative. È importante sottolineare che, l'elemento pur apparendo semplice nella sua realizzazione e stratigrafia, deve adempiere alle funzioni di parete esterna nel suo complesso. Ciò significa che la scelta dei materiali è importante quanto le caratteristiche conferite alla struttura complessiva. Come specificato nella norma UNI EN 13369:2013 i prodotti prefabbricati di calcestruzzo, qualsiasi esso sia (leggero, precompresso, normale o rinforzato), devono possedere determinati requisiti prestazionali:

- Dimensione dell'elemento nelle sue caratteristiche tridimensionali di lunghezza, larghezza, profondità e spessore. Nel caso di dichiarazione nella documentazione tecnica, il prodotto può essere fabbricato secondo dimensioni nominali;
- Tolleranze consentite nella disposizione dell'elemento in opera, seguito alla valutazione dei valori assoluti permessi della deviazione consentita nella parte superiore o inferiore in modo da evitare elevata discordanza tra la misura reale e la corrispondente dimensione nominale;
- Durabilità, la capacità di "durare" nel tempo concepita in relazione ad una preventiva manutenzione che consente di definire la vita lavorativa di progetto. I prodotti prefabbricati esposti a condizioni ambientali del luogo di destinazione devono resistere, in termini di impatti fisici o chimici, nel corso del tempo;
- Proprietà meccaniche, la resistenza a compressione del calcestruzzo è valutata in relazione a prove di laboratorio e nelle stesse condizioni ambientali del prodotto stesso su provini prelevati dal prodotto prefabbricato. Si prevedono mezzi di controllo per la resistenza del prodotto finito con appositi calcoli e prove;
- Resistenza al fuoco del prodotto finito, viene specificata mediante classi che dichiarano il normale comportamento del prodotto a resistere al fuoco, in assenza di ciò la dichiarazione di resistenza al fuoco è effettuata tramite valori parametrici;
- Proprietà acustiche, devono essere dichiarate quando rilevanti per l'uso previsto del prodotto e sono associate alla capacità del prodotto di isolare acusticamente dai rumori per migliorare la qualità della vita;
- Proprietà termiche, dichiarate per l'uso previsto del prodotto e devono contenere informazioni sulla conduttività e la resistenza termica del materiale, unitamente alla geometria del prodotto;
- Caratteristiche superficiali, il prodotto deve possedere l'integrità interna ed esterna principalmente per far fronte ai processi di deterioramento quali reazioni chimiche, effetti di congelamento – scongelamento e abrasione meccanica.



Il prodotto di tamponamento esterno è un elemento che deve assolvere numerose funzioni, una tra le più importanti è quella di isolare l'edificio dalle azioni che incombono su di esso, azione del vento e degli agenti atmosferici. I pannelli di tamponamento vengono realizzati principalmente con calcestruzzo, al cui interno viene interposto del materiale coibentante. L'isolamento termico è volto alla riduzione e al contenimento del calore all'interno degli edifici, delimitano il perimetro dell'organismo costruttivo e strutturale dell'opera e devono assolvere determinate funzioni per:

Garantire l'impermeabilizzazione e traspirazione dell'elemento prefabbricato, nella buona tenuta agli agenti atmosferici;

Isolamento termico, tramite la predisposizione di uno strato interno coibentante, l'elemento è in grado nel totale della sua composizione di avere dei valori di trasmittanza adeguati ad assicurare il mantenimento del benessere termico. La scelta dei materiali contribuisce alla realizzazione in qualità del comfort termico e alla riduzione delle dispersioni termiche;

isolamento acustico sia nel caso si ipotizzi l'utilizzo di un pannello a singolo strato che l'utilizzo di pannelli a più strati cooperanti tra loro, l'isolamento acustico concorre a configurare un ambiente sano e migliore nel rispetto dell'ambiente usufruito dall'utente;

Resistenza al fuoco, consente di determinare il grado di resistenza nei confronti di un incendio e la sua successiva propagazione, che compromette la degradazione dell'elemento e la possibile caduta di parti con la grave conseguenza di danneggiare la sicurezza degli occupanti stessi;

Leggerezza, conferisce alla struttura nel suo complesso ad essere meno pesante. inoltre la parete che viene costituita da elementi leggeri e maneggevoli assicurano la posa in opera veloce con risparmio ulteriore di mano d'opera;

Durevolezza, il perimetro dell'abitazione non deve richiedere di frequenti interventi di manutenzione in quanto, la non corretta formazione della struttura potrebbe richiedere anche il temporaneo abbandono dell'edificio.

8.2 Prestazioni termiche dell'involucro edilizio

Negli ultimi anni, l'esigenza di ottenere un involucro edilizio ad elevata prestazione termica nei riguardi del contenimento dei consumi energetici, spinge i produttori e le aziende a specializzarsi nella realizzazione di soluzioni di progetto alternative ai sistemi tradizionali. La ricerca fonda le sue basi nella realizzazione di sistemi atti a ridurre i flussi termici di calore scambiati tra l'ambiente esterno e interno.

Isolare termicamente è la base per la realizzazione di un involucro capace di far godere di un maggior comfort ambientale e contenere i costi per il riscaldamento di un edificio. Gli



isolanti sono molteplici, risulta fondamentale valutare le caratteristiche e le proprietà del materiale scelto, ma allo stesso tempo considerare le proprietà della struttura da isolare.

Tabella 14. Tipologie di isolante termico

Categoria di isolante termico		
1)	2)	3)
Isolanti sintetici	Isolanti di origine vegetale	Isolanti di origine minerale
Poliestere	Sughero	Argilla espansa
Polistirene espanso sintetizzato EPS	Fibre di cellulosa	Lana di roccia
Poliuretano	Fibre di legno	Lana di vetro
Polietilene	Altro	Altro

- 1) Generalmente gli isolanti sintetici sono quei materiali comunemente utilizzati perché convenienti in funzione del costo, ottimi per l'isolamento termico e duraturi nel tempo, per un periodo dai 30 ai 50 anni. Tuttavia presentano alcuni svantaggi, gli isolanti sintetici sono prodotti da processi di lavorazione del petrolio oltre a rivelare possibili rilasci di sostanze dannose. È solito utilizzare tali isolanti in forma schiumata o, nel caso di pareti, in pannelli.
- 2) Legno, sughero, fibre di cocco, iuta, fibre di cellulosa sono tutti materiali di origine naturale che derivano da materie prime rinnovabili e processi di produzione non dannosi per l'ambiente o per l'uomo. Si parla di materiale ecosostenibile e inoltrano ottime caratteristiche dal punto di vista termico e acustico. Uno degli aspetti principali riguarda la possibilità di riciclare tale isolante e sono durevoli contro l'umidità. Dal'altra parte presentano un costo elevato e in alcuni contesti risulta difficile alla posa in opera.
- 3) In situazioni al contesto caratterizzati da elevata percentuale di umidità, la scelta dell'isolante ricade spesso nei materiali minerali. Sono rinnovabili e riciclabili pur mantenendo una durabilità nel tempo. Succede che a volte tali materiali devono subire dei trattamenti specifici prima dell'utilizzo oltre che ad essere più costosi.

La valutazione delle prestazioni termiche degli involucri edilizi è un tema di grande attualità in relazione alla problematica del contenimento dei consumi energetici ed alle applicazioni di natura ambientale, come indicato dal recente Decreto legislativo 19.08.2005, n. 192 Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. Per la definizione delle caratteristiche termiche dei pannelli prefabbricati si utilizzano delle specifiche formule della UNI EN ISO 6946:2008 e s.m.i., in particolare per il calcolo della resistenza termica di strati omogenei. Uno degli obiettivi principali è certamente ridurre la trasmittanza e aumentare la qualità dell'isolamento o coibentazione dell'involucro. Con l'evoluzione normativa, la norma vigente 6946:2018, si basa sulle prescrizioni della 2008 e

propone il calcolo della resistenza termica e trasmittanza di componenti ed elementi di costruzione tramite due metodi: metodo di calcolo dettagliato e metodo di calcolo semplificato.

8.3 Classificazione dei pannelli prefabbricati

I pannelli di tamponamento esterno hanno da sempre caratterizzato l'edilizia industriale, civile e residenziale, con il netto vantaggio di essere posti sotto crescente attenzione al fine di soddisfare le diverse esigenze, sia del cliente che dei produttori. Tramite lo studio dei sistemi di industrializzazione e prefabbricazione, è possibile evidenziare diversi sistemi costruttivi a pannelli introdotti già prima degli anni '60, caratterizzanti diverse nazioni, Francia, Gran Bretagna, Svizzera. I sistemi adottati sono molteplici ma presentano una matrice comune, l'adozione di tecniche di prefabbricazione per la creazione di pareti verticali.

***Sistema Balancy.** Sistema di prefabbricazione più antico introdotto nel 1948 ed adeguato con successive modifiche per le mutate esigenze produttive. Prescelto per realizzazioni di notevole valore architettonico, il sistema prevede la realizzazione degli elementi verticali con tecniche di prefabbricazione in stabilimento più o meno smontabili.*

- Pannelli sandwich con strato esterno portato solidale e interno portante;
- Pannelli sandwich con strato esterno liberamente dilatabile;
- Pannelli a lastra piena in cls normale completato in opera da una controfodera isolante.

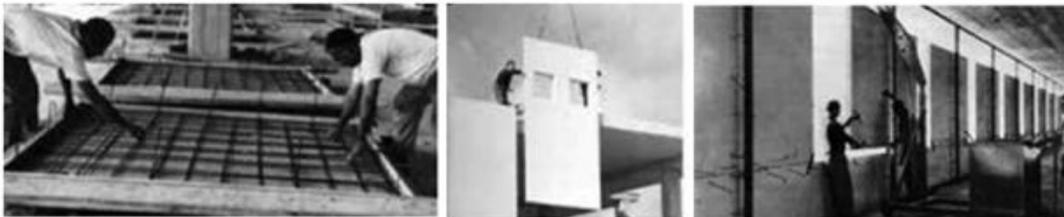


Figura 11. Sistema di prefabbricazione, 1948

Agli esordi, i sistemi costruttivi puntano sulla realizzazione di edifici tramite un processo di prefabbricazione atto a garantire la velocità di produzione e di posa in opera degli elementi. Si presta, a tal ragione meno riguardo nella pesantezza e spessore dell'elemento in sé.

Sistemi Pascal. Utilizzazione di pareti esterne portanti del tipo a sandwich solidale, ma con perni di collegamento fra i due strati in cls, al posto delle nervature, che restano solo al contorno delle aperture. 1960 evoluzione del sistema con lastra piana di cls con controfodera isolante, pecche del sistema con inerzia termica situata all'esterno rispetto all'isolante.

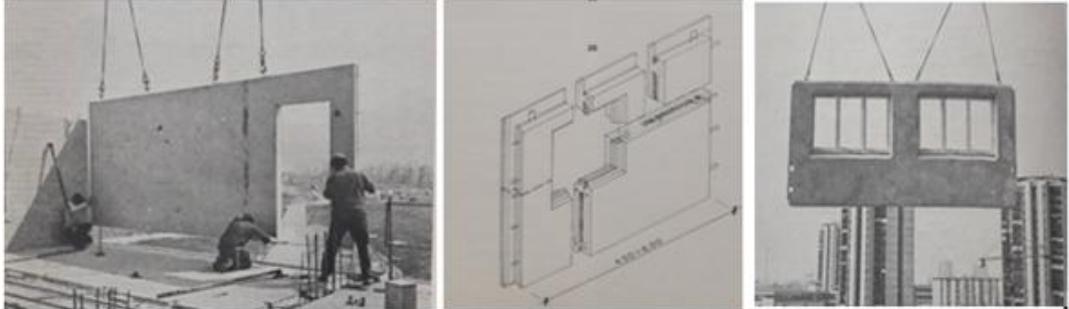


Figura 12. Sistema di prefabbricazione, 1960

Sistemi casseri a perdere. Un metodo spesso impiegato era quello a struttura aperta con utilizzo di cassaforme a perdere costituiti da pannelli prefabbricati in calcestruzzo, temporaneamente ancorati con barre passanti. Successivamente venivano rimosse le barre lasciando così, le superfici in calcestruzzo pronte ad essere intonacate. Vi era inoltre un sistema a pannelli-parete in cls, prefabbricati in stabilimento e scanalati ai bordi, montati su travi tramite giunti a secco riempiti di malta.

- Sistemi misti con elementi prefabbricati e in calcestruzzo gettato in situ;
- Sistemi a pannelli prefabbricati in calcestruzzo;
- Pannelli di tamponamento rinforzati con fibre.



Figura 13. Sistema di prefabbricazione, 1960-1970

La prefabbricazione di pannelli da parete è soggetta a continui progressi, essa si articola in una vasta gamma di soluzioni progettuali e dopo un breve excursus storico, partendo dalle realizzazioni più remote fino ad oggi, possono essere classificati per tipologia in:

- a) Pannelli nervati – primi esempi di tamponamento esterno che fanno la loro prima apparizione nella costruzione di edifici industriali e realizzazione di capannoni. Infatti l’dea nasce nel porre verticalmente degli elementi simili ai tegoli pi greco utilizzati principalmente nelle coperture. La loro forma ricalca per l’appunto tale sagomatura, con la nervatura posta all’esterno. Ovviamente per l’applicazione suddetta non si prevede pertanto il rispetto di requisiti ad alta prestazione energetica, ma semplicemente i requisiti minimi di parete esterna.

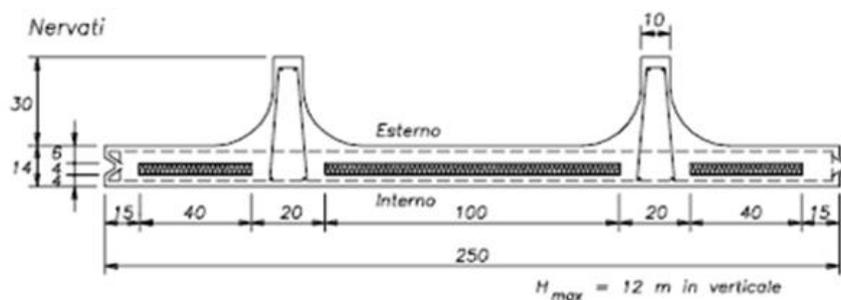


Figura 14. Pannelli nervati per costruzioni industriali

- b) Pannelli sandwich- sono composti principalmente da una strato portante interno, in calcestruzzo armato e uno esterno portato con lo stesso materiale, mentre nello strato intermedio viene posto un materiale coibente o di alleggerimento per esempio anche camera d’aria.

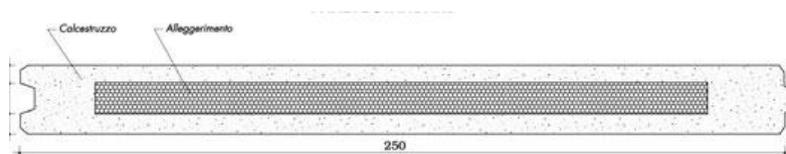


Figura 15. Pannello sandwich

- c) Pannello monostrato – noto anche come pannello pieno, è caratterizzato dall’avere per tutto il suo intero spessore un’unica tipologia di materiale, capace di conferire più resistenza alla struttura senza il supporto di altri strati. Gli anni ’70-’80 sono stati fortemente caratterizzati dall’utilizzo di queste tipologia di pannello che è stato utilizzato per progettazioni in vario ambito, residenziale, civile e industriale.



Figura 16. Pannello pieno

- d) Pannello a taglio termico – è caratterizzato da un elevato isolamento termico, in aggiunta a un sistema di tipo sandwich. Si presenta come soluzione capace di soddisfare le crescenti esigenze qualitative e di implementare i requisiti di qualità di comfort e termica all'interno dell'edificio.

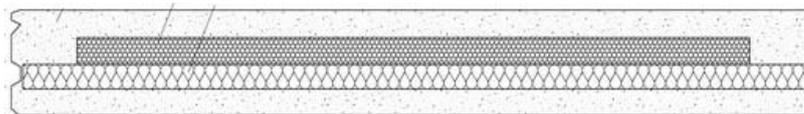


Figura 17. Pannello prefabbricato a taglio termico

Sono numerose le ricerche che vengono condotte negli anni per trasformare l'involucro edilizio in un'interfaccia ingegnosa e soddisfacente nel campo dell'edilizia. In relazione all'ottimizzazione delle prestazioni termiche i pannelli di tamponamento sono costante oggetto di studio, questo permette di perfezionare l'elemento prefabbricato, conferendo sempre più la capacità di definire e realizzare un edificio ad alta prestazione energetica. Nell'industria della prefabbricazione di elementi di tamponamento, prendono avvio le ricerche per utilizzare materiali sempre più all'avanguardia e nel rispetto della riduzione di rifiuti e inquinanti nel mondo dell'edilizia. A tal riguardo:

- e) Pannello sandwich a taglio termico in calcestruzzo cellulare autoclavato –viene prodotto da un'unica composizione di impasto ed è un materiale vantaggioso sotto vari aspetti. Omogeneità del materiale permette di avere la massima precisione e semplicità di posa in opera, fino al 30% in meno rispetto ai sistemi tradizionali, è un elemento di Euroclasse di reazione al fuoco A1 secondo il D.M. 10 marzo 2005. All'interno di due scorze rigide si utilizza come anima isolante in sostituzione al polistirolo.
- f) Pannelli in materiali biocompositi – si compone da due strati, interno ed esterno, in laminati di biocomposito di lino e resine naturali mentre la parte centrale è occupata da un materiale isolante. Questi pannelli permettono notevoli benefici poiché sono materiali riciclabili e reversibili, oltre a ottimizzare le prestazioni meccaniche e fisiche dei polimeri fibrorinzortati. Si utilizzano principalmente matrici in resine epossidiche, fibre e tessuti naturali o nella maggior parte dei casi prevedono l'impiego di vetro per componenti strutturali e di carbonio per elementi di rinforzo.

In ambito di tale ricerca, è interessante osservare come gli sviluppi tecnologici conseguono nella edificazione di solerti interfacce tra spazi interni ed esterni di un'opera. In particolare, grazie l'utilizzo del calcestruzzo prefabbricato si realizzano tipologie di pannelli che, non solo soddisfano i requisiti in ambito termico ed economico, ma sottolineano la facilità di modellare e trasmutare il "design" di un progetto. A tal riguardo, come esempio, nel 2015 è stata realizzata la "*Burntwood School*", sita nella città di Londra impiegando pannelli prefabbricati di tipo modulare scultoreo capaci di conferire vivacità ai prospetti dell'edificio e un interessante gioco di ombre.

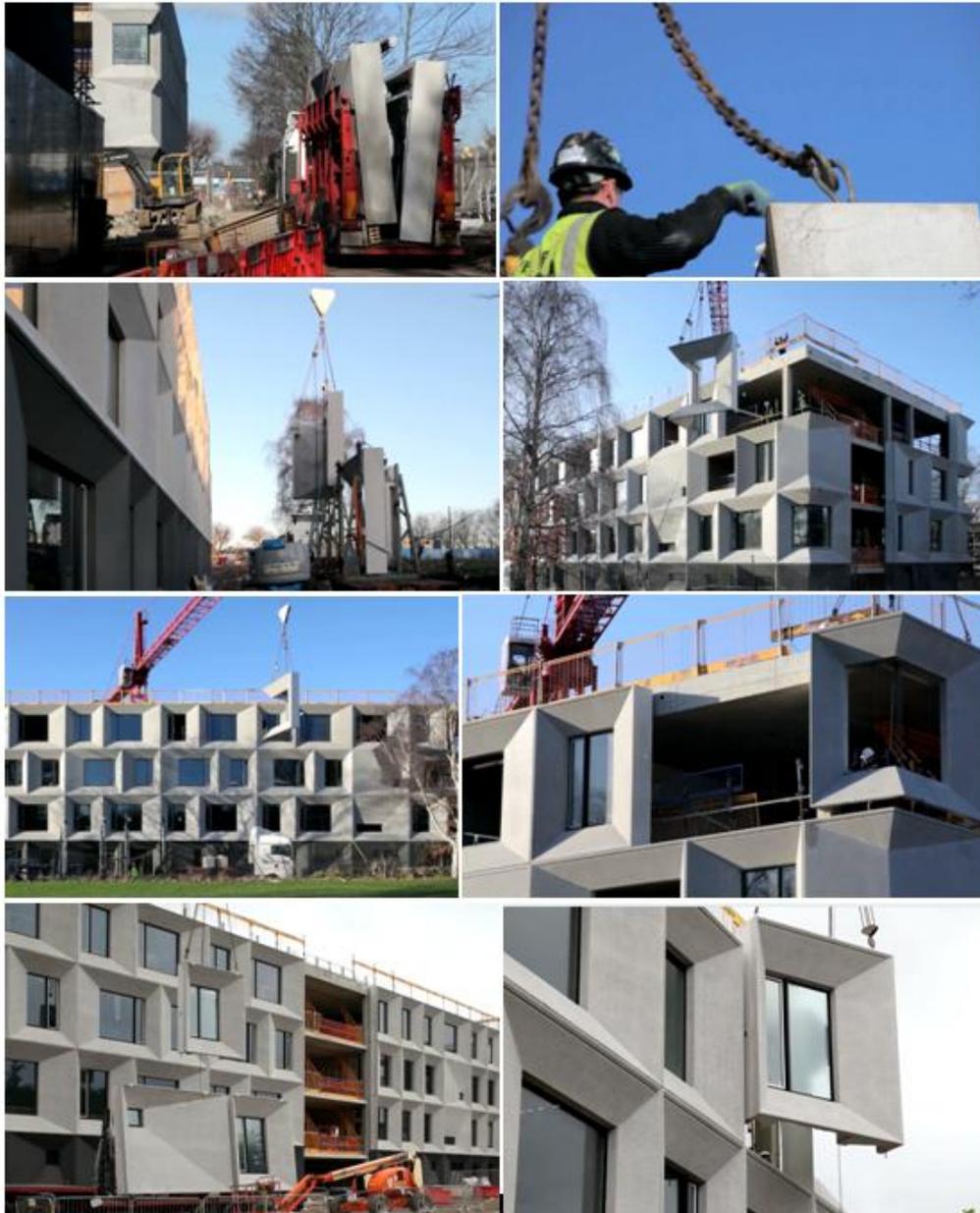


Figura 18. Pannelli prefabbricati in Burntwood School, Londra 2015.

Oltre a ciò, sempre recentemente nel 2009 a New York è stato ideato un edificio alto 13 piani, noto come “290 Mulberry”, in cui il criterio progettuale adottato per la realizzazione delle chiusure verticali, trova un connubio con l’inserimento nel contesto storico del luogo. Infatti, i progettisti hanno reinterpretato le tradizionali chiusure verticali conseguendo all’adozione di pannelli prefabbricati standardizzati con rivestimento in laterizio ad andamento ondulato.

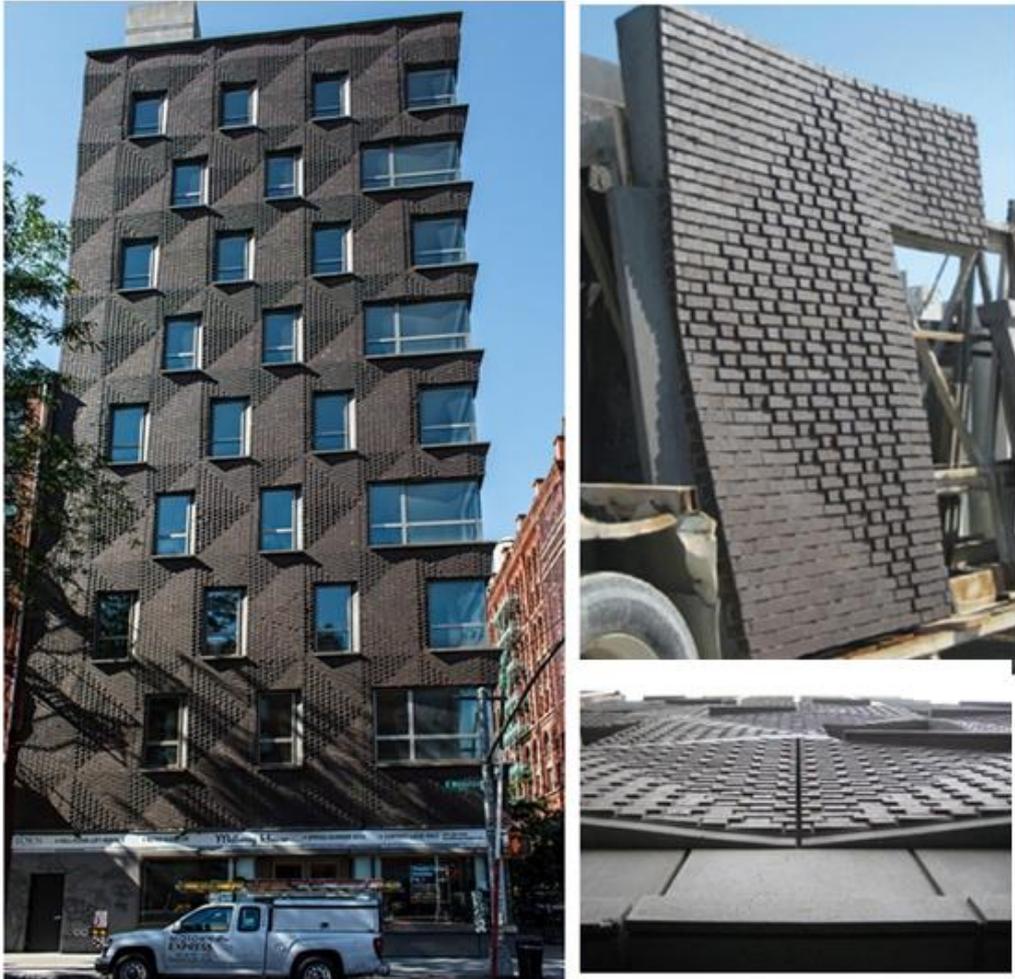


Figura 19. Pannello prefabbricato con paramento in mattoni faccia a vista, 290 Melburry, New York, 2009

8.4 Dalla produzione al trasporto in cantiere

I pannelli di tamponamento sono realizzati in appositi tavoli orizzontali e ribaltabili secondo le modalità di produzione della fabbrica stessa. All'interno di appositi banchi, sono realizzati i pannelli architettonici a faccia a vista, pannelli pieni o sandwich, prodotti in diversa misura, in funzione della grandezza dei banchi stessi e di diverso spessore. Il processo di produzione si sviluppa secondo determinate fasi, in funzione del progetto esaminato, è stato possibile conoscere la procedura, che di seguito viene descritta in maniera semplificata:

- 1) La prima fase di produzione consiste nel disporre in maniera uniforme su tutto il cassero, una rete elettrosaldata e dei distanziatori per definire la formazione della prima crosta del pannello. Il getto del calcestruzzo viene agevolato con l'ausilio di benna e carroponete e viene sottoposto a vibrazione per consentire l'appianamento dello spessore del calcestruzzo su tutto il cassero;



Figura 20. 1° fase di produzione del pannello di progetto

- 2) Successivamente si procede all'adeguamento dello strato di isolante con particolare cura al fine di ridurre il più possibile i vuoti d'aria tra i pannelli. Si predispongono la posa delle gabbie di armature e distanziatori in modo corretto tramite la supervisione del caporeparto;



Figura 21. 2° fase, disposizione dello strato isolante nel pannello di progetto

- 3) Vengono posizionati i cordoli longitudinali sopra i distanziatori e inseriti delle boccole di sollevamento. In seguito, si provvede all'inserimento delle spille per il sostegno della crosta portante rispettando il numero e il passo di progetto;

- 4) Infine viene eseguita la distribuzione per la formazione della crosta portante in calcestruzzo che verrà vibrato e livellato con stadia o con vibro finitrice.



Figura 22. 3ª fase, getto di calcestruzzo portante vibrato e livellato

Il pannello sarà pronto solo esclusivamente dopo la maturazione del calcestruzzo, il pannello è ricoperto da un telo, immesso del vapore o dell'aria calda per velocizzare il processo. Lo stoccaggio deve evitare il verificarsi di qualsiasi sollecitazione che possa produrre flessioni, maturazione e ritiro differenziale del calcestruzzo, quindi evitare il più possibile le deformazioni derivanti da sollecitazioni "parassite". Dopo questo, gli elementi prefabbricati sono pronti per essere trasportati in cantiere. Anche la fase di trasporto deve essere eseguita nel modo più consono possibile, poiché gli elementi non essere soggetti a variazioni geometriche per inesattezza disposizione nel mezzo o spostamenti durante la marcia.



Figura 23. Trasporto dei pannelli prefabbricati in cantiere

8.5 Disposizione dei pannelli in prospetto

Le pareti di tamponamento prevedono un sistema di ancoraggio alla struttura portante tramite l'utilizzo di dispositivi di collegamento efficienti. La scelta risulta importante per garantire la stabilità e l'integrità dell'opera nel suo complesso. I pannelli rappresentano un elemento prefabbricato atto a conferire l'aspetto finale del progetto e possono essere orientati in prospetto secondo due disposizioni, in orizzontale e in verticale. In funzione di ciò, il pannello è predisposto nella struttura in elevazione ed ancorato agli elementi verticali, travi nel caso in cui esso sia posto in posizione orizzontale oppure nel secondo caso, i pannelli sono collegati al piede alla trave reggi muro e in sommità tramite gli elementi di copertura o sospesi con ancoraggio alle travi strutturali.

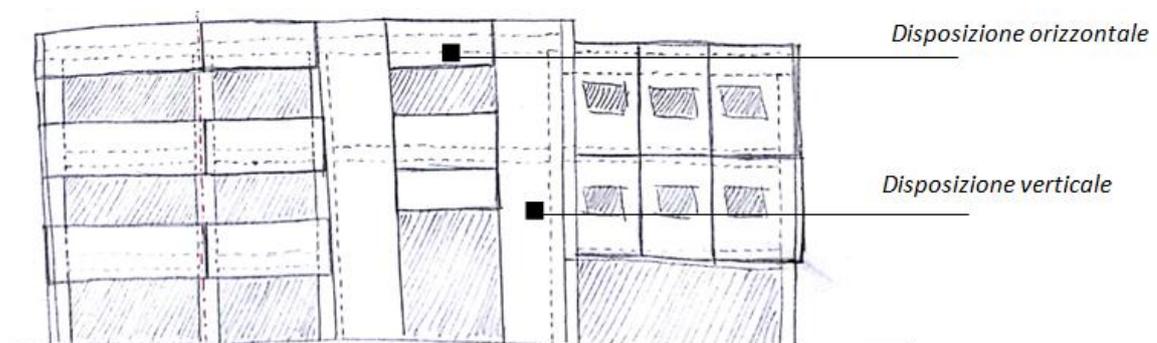


Figura 24. Disposizione dei pannelli in prospetto

I dispositivi di fissaggio devono essere durevoli e garantire i movimenti relativi degli elementi. Gli elementi di tamponamento vanno verificati per le fasi di movimentazione e di montaggio, essendo molto diverse le condizioni di produzione e di impiego. I pannelli devono resistere alle sollecitazioni del vento e devono essere calcolati per l'isolamento termico o variazioni di temperatura nello spessore dell'elemento, derivante dalla presenza di coibente. La composizione interna dei pannelli, che sia a singolo strato o a più strati, comprende la presenza di un armatura principale costruita da acciaio inerte e più raramente da trefoli o trecce. Inoltre è prevista un'armatura secondaria costituita da reti elettrosaldate con funzione di evitare fessurazioni per il ritiro del calcestruzzo e per le sollecitazioni termiche.

9. Soluzione di progetto

9.1 Pannello prefabbricato in conglomerato cementizio armato a taglio termico

I pannelli prefabbricati di facciata sono progettati per il nuovo edificio ad uso didattico, scientifico, segreteria universitaria e biblioteca, ubicato all'interno della Città Studi di Milano, via Celoria. L'edificio è realizzato con telaio in conglomerato cementizio armato e

tamponato con pannelli prefabbricati a taglio termico nei piani dal 2° all'8° per il Dipartimento di Informatica e il piano terra della Biblioteca d'Area.



Figura 25. Prospetto nord progetto "Polo Universitario in via Celoria, Milano"

La soluzione progettuale, presentata nell'esecutivo, prevede l'utilizzo di pannelli di tamponamento di tipo verticale, prevalentemente di larghezza da 320 a 80 cm e un'altezza pari agli interpiani del telaio in c.a.. I pannelli sono costituiti da un materiale coibente di spessore 12 cm che si interpone completamente tra la parte interna in conglomerato cementizio armato di spessore 12 cm, denominata crosta interna portante, e la crosta esterna portata di spessore 6 cm anch'essa in c.a.. I pannelli sono appoggiati alle travi di bordo di un impalcato mediante due profili metallici uscenti, fissati inferiormente allo stesso impalcato e superiormente all'impalcato del piano successivo. Le facciate infine, sono apparecchiate con grandi lastre di gres porcellanato, su fasce alternate e interrotte dalla presenza di aperture e adottano un sistema di parete ventilata, lasciando una camera d'aria tra pannello di tamponamento e rivestimento.

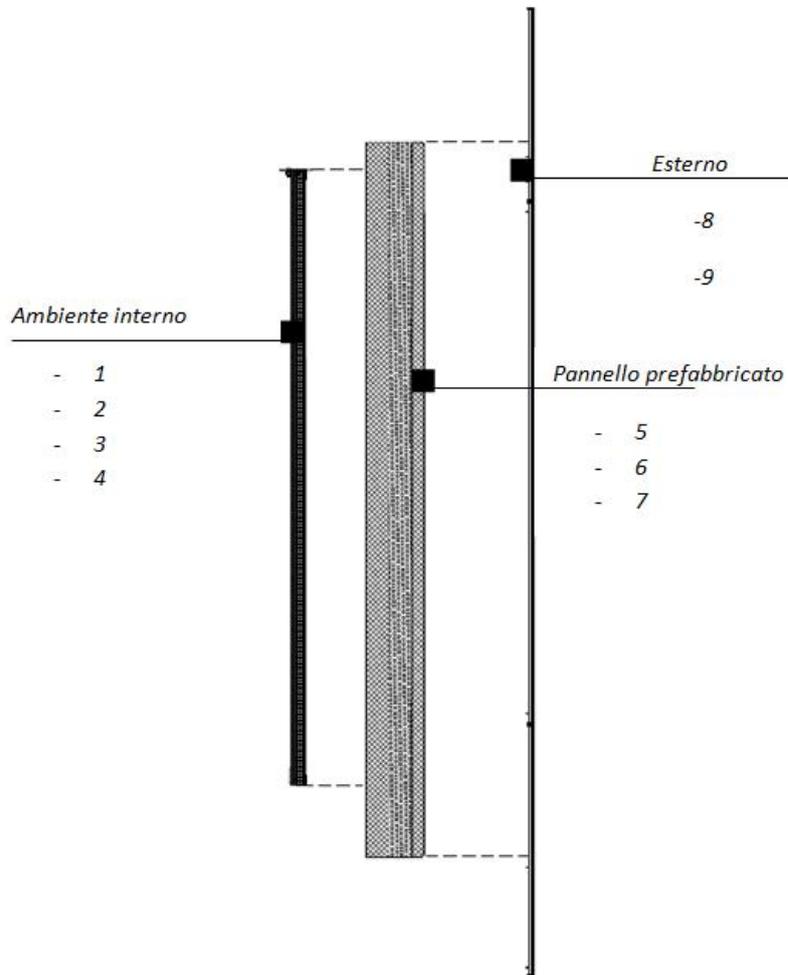


Figura 26 Parete ventilata di progetto

parete ventilata		
n.	descrizione dall'interno verso l'esterno	spessore [cm]
1	Cartongesso in lastre	1,30
2	Cartongesso in lastre	1,30
3	Aria intercapedine flusso orizzontale 10 mm	1,00
4	Fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche: pannelli semirigidi (35 kg/m ³)	4,00
5	Calcestruzzo (2500 kg/m ³)	12,0
6	Stiferite GT	12,0
7	Calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (2500 kg/m ³)	6,00
8	Aria intercapedine flusso ascendente 10 mm	10,0
9	Piastrelle in ceramica	0,60

Figura 27 Descrizione parete ventilata

Il pannello di tamponamento previsto nel Progetto Esecutivo è caratterizzato da conglomerato cementizio di R_{ck} pari a 40 N/mm^2 , classe C32/40, classe XC3, e da un pannello isolante con valore di conducibilità molto basso.

Codice P01.- Pannello prefabbricato in conglomerato cementizio a taglio termico

- 1) Crosta esterna portata in conglomerato cementizio armato, spessore 6 cm;
- 2) Strato isolante in poliuretano Stiferite GT, spessore 12 cm;
- 3) Crosta interna portante in conglomerato cementizio armato, spessore 12 cm.

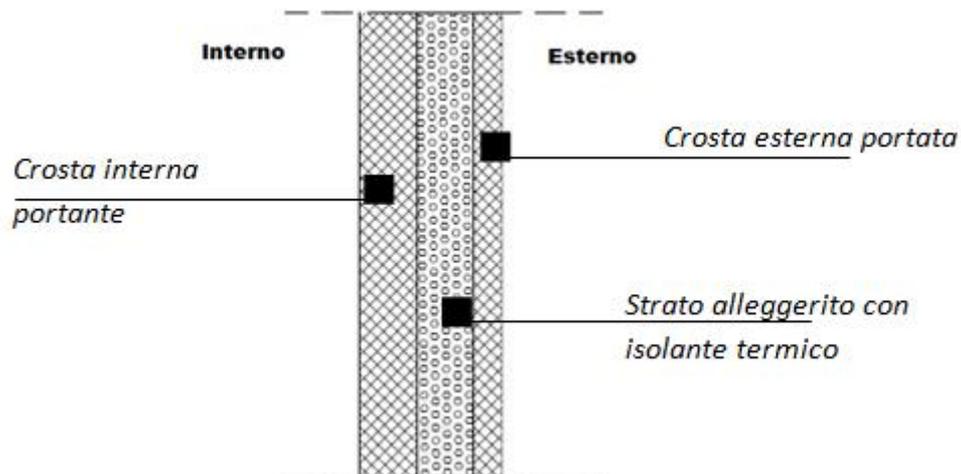


Figura 28. Pannello prefabbricato codice P01, fuori scala

La trasmittanza termica del pannello prefabbricato è calcolata mediante un software e produce un valore (tenendo conto del fissaggio meccanico delle spine), corrispondente a $U \leq 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$, che in termini di requisiti minimi energetici per pareti verticali, riferiti all'anno 2014 rientra pienamente entro il limite 0,34 per la zona climatica E.

Tabella 15. Trasmittanza termica pannello P01

codice P01					
cod.	Descrizione	d [m]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Calcestruzzo interno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti interne ed esterne protette	0,12	1,91	2500	0,06
2	Strato di coibentazione a taglio termico STIFERITE GT	0,12	0,023	25	5,22
3	Calcestruzzo esterno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti esterne NON protette	0,06	2,075	2500	0,03
R _{si}	Resistenza termica superficiale interna				0,13
R _{se}	Resistenza termica superficiale esterna				0,04
U	TRASMITTANZA TERMICA DELLA STRUTTURA				[W/m²K] 0,1825
U_c	TRASMITTANZA TERMICA con correzione per fissaggio meccanico				[W/m²K] 0,1921



Figura 29 Pannello di tamponamento di progetto

I pannelli sono prodotti in fabbrica mediante un *sistema di connessione* tra le due croste di calcestruzzo, interna ed esterna, tramite un particolare materiale termoplastico denominato Spine ESP, che permette di collegare i due strati attraversando lo strato

termoisolante. Il suo ruolo è quello di permettere una distribuzione delle temperature all'interno del pannello inibendo la creazione di ponti termici.

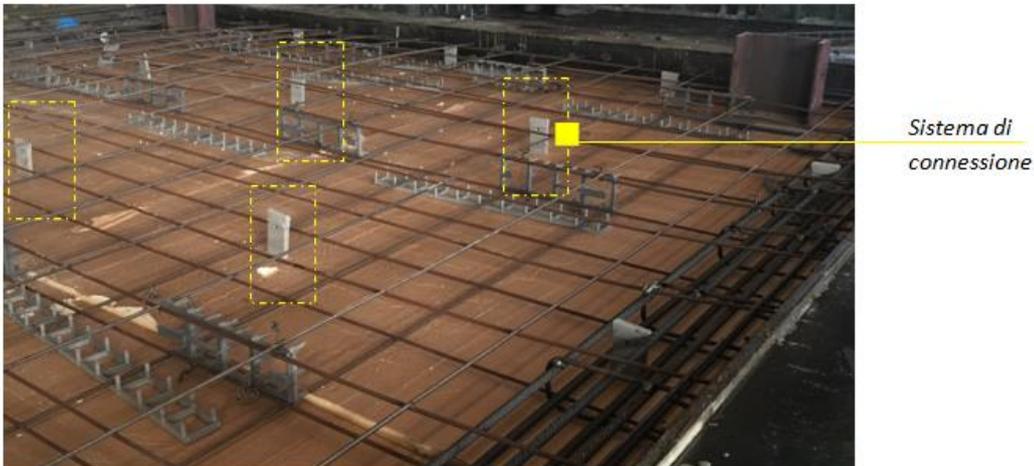


Figura 30. Sistema di connessione

I pannelli infine sono *vincolati alla struttura prefabbricata*, già eretta in cantiere, tramite sospensione dell'elemento alle travi perimetrali di piano si utilizza un sistema di ancoraggio e profili metallici di tipo Locatelli GP40/221 annessi sia nel pannello che nel solaio.

9.2 Pannello monostrato in calcestruzzo cellulare autoclavato

Esiste una gamma di prodotti prefabbricati che permette la realizzazione dell'involucro edilizio. Le aziende cercano di sperimentare degli elementi di chiusura verticale capaci di soddisfare i requisiti richiesti dalla clientela al fine di realizzare l'opera nel modo migliore possibile. Sia in termini di velocità, ottimizzando i tempi di produzione nelle fabbriche, che in termini qualitativi sono pensate delle "unioni" di materiali ideali e innovative. Tramite la ricerca e partendo dal progetto del Polo Universitario di Milano studiato, si ipotizza l'utilizzo di un prodotto prefabbricato di tamponamento diverso da quello di progetto. A questo proposito si ipotizza l'utilizzo del calcestruzzo cellulare per la creazione di una tipologia di pannello, la proposta è fornita dalla azienda Ytong. Una struttura a celle chiuse che deriva dalla lavorazione di sostanze naturali quali sabbia silicea, cemento, calce, acqua e una piccola quantità di polvere di alluminio.

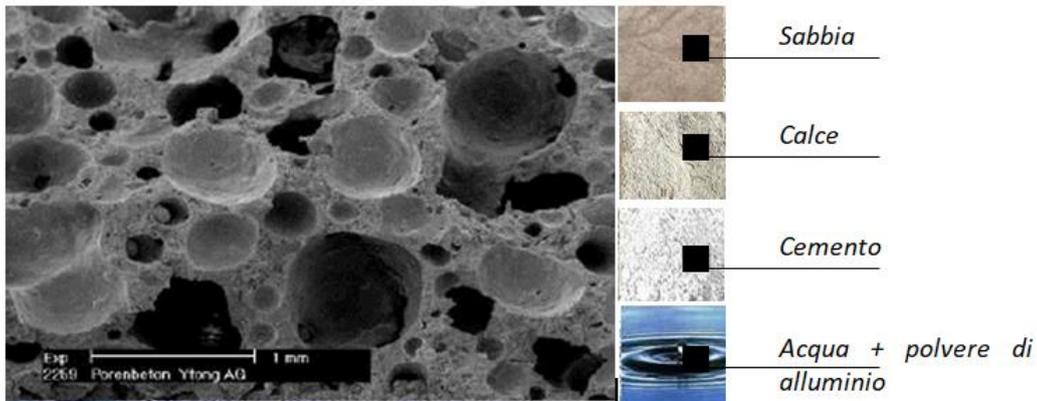


Figura 31. Cis cellulare al microscopio

Il materiale permette di ottenere un risultato di progettazione ottimale garantendo notevoli vantaggi nella rapidità di posa e nell'assenza di danni derivanti da fenomeni di condensa e corrosione. La gamma di densità e le armature, opportunamente inserite, sono la base per la realizzazione di elementi prefabbricati anche strutturali, infatti il materiale si mostra adatto ad ogni tipo di sottosistema dell'edificio. Il pannello si compone di un unico strato ed è conforme alla norma UNI EN 12602:2008 e s.m.i, nei riguardi dei componenti prefabbricati rinforzati in calcestruzzo aerato autoclavato da utilizzare nella costruzione di un edificio.

Il pannello può inserirsi nella struttura in elevazione prefabbricata dell'edificio sottoposto ad analisi nei due versi di orientamento, verticale o orizzontale. La disposizione orizzontale garantisce, soprattutto per alte quote, la durabilità nel tempo senza rischi di decadimento o ribaltamento dell'elemento. Inoltre, questi pannelli, vengono facilmente lavorati per fronteggiare ogni evenienza futura, o possibili aperture.

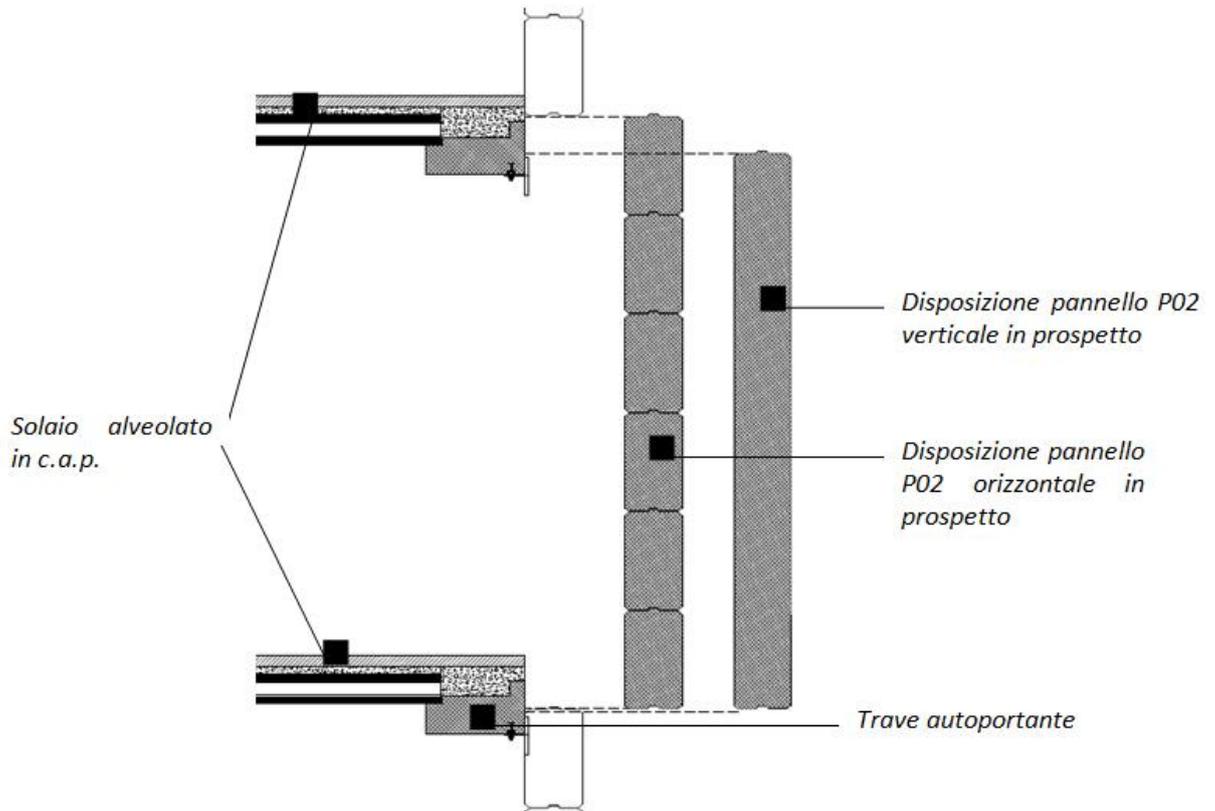


Figura 32 Pannello P02 disposto in verticale o orizzontale rispetto la struttura in elevazione

Questo materiale viene confezionato per avere densità $400\div 700 \text{ kg/m}^3$, valori di $300\div 350 \text{ kg/m}^3$ quando occorre privilegiare l'isolamento termico, oppure inoltre può sostenere valori di 800 kg/m^3 se utilizzato quando occorre maggiore resistenza ai carichi, questo caso è tipico per pannelli portanti con posa in verticale. Il risultato è un pannello di tamponamento che assolve tutte le principali funzioni di resistenza, stabilità e elevate prestazioni termiche.

Codice P02- Pannello prefabbricato in calcestruzzo cellulare armato

1. Pannello monostrato in calcestruzzo cellulare autoclavato armato per pareti esterne, spessore 37,5 cm;

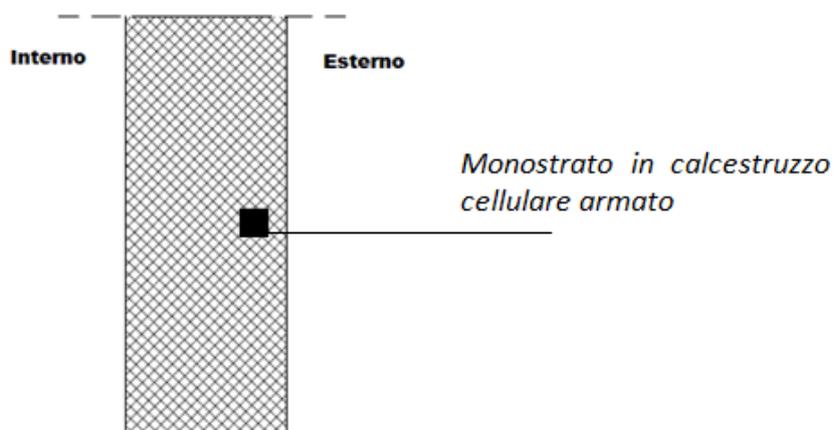


Figura 33. Pannello prefabbricato in cls cellulare

Tra le caratteristiche principali, si tratta di un materiale incombustibile di classe A1 e basso impatto ambientale, esente dalle emissioni nocive. Il *sistema di connessione* alla struttura avviene mediante apposite piastre inchiodate sull'elemento di calcestruzzo cellulare. Le piastre sono vincolate su guide metalliche e ciò consente la rapidità di posa ed esecuzione dei lavori. Il valore di trasmittanza ottenuto è pari $U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabella 16. Trasmittanza termica pannello P02

codice P02					
cod.	Descrizione	d [m]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Calcestruzzo interno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti interne ed esterne	0,375	0,12	500	3,13
R _{si}	Resistenza termica superficiale interna				0,13
R _{se}	Resistenza termica superficiale esterna				0,04
U	TRASMITTANZA TERMICA DELLA STRUTTURA				0,3035
U_c	TRASMITTANZA TERMICA con correzione per fissaggio meccanico				0,3035

I pannelli in questa specifica ipotesi, sono *vincolati alla struttura prefabbricata*, già eretta in cantiere tramite l'utilizzo di piastre di ancoraggio o altre tipologie di aggancio, che in tutti i casi permettono di intervenire su qualunque tipo di supporto, nel caso specifico in calcestruzzo **nodo a**. Per profilati in acciaio si osservi **nodo b**.



Figura 34. Sistema di ancoraggio alla struttura, pannelli YTONG

9.3 Pannello con coibentazione in polistirolo espanso additivato con grafite

Esiste una vasta gamma di prodotti isolanti che può essere ottimamente utilizzata nel campo degli involucri edilizi. A tale scopo si ipotizza di mantenere inalterata la scorsa rigida del progetto e mutare la tipologia di isolamento che soddisfi i requisiti energetici sempre più restrittivi per mantenere una trasmittanza ridotta. Con gli anni l'obiettivo è quello di realizzare edifici a energia quasi zero vale a dire ad altissima prestazione energetica. Si propone come sistema alternativo l'utilizzo di un prodotto isolante in polistirolo espanso additivato con grafite e si ottiene la seguente stratigrafia.

Codice P03- Pannello prefabbricato sandwich con isolamento in polistirolo espanso additivato con grafite

- 1) Crosta esterna portata in conglomerato cementizio armato, spessore 6 cm;
- 2) Strato isolante in polistirolo espanso additivato con grafite 16 cm;
- 3) Crosta interna portante in conglomerato cementizio armato, spessore 12 cm.

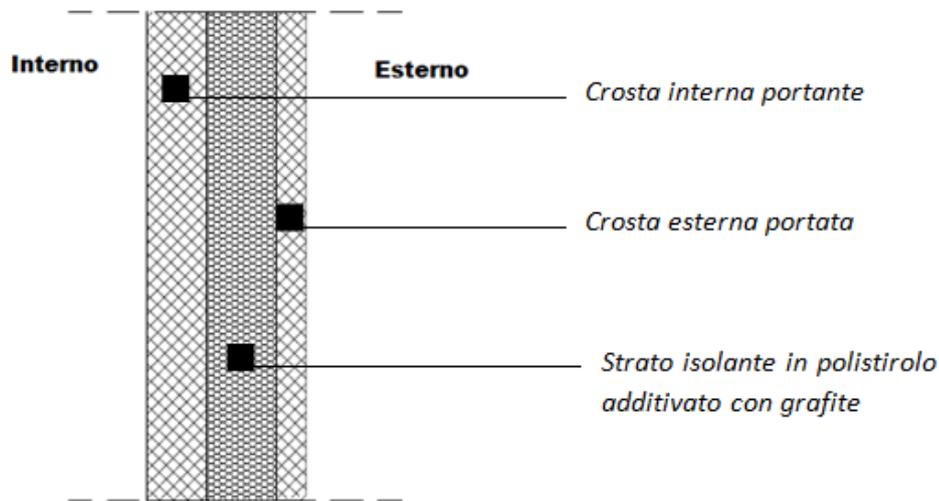


Figura 35. Pannello prefabbricato coibentato con polistirolo additivato con grafite

Il materiale isolante presenta un valore di conducibilità molto basso di soli 0,029 W/mK, è un materiale ad altissima resa che risulta versatile e aiuta a risolvere alla perfezione i problemi di isolamento. Si presenta durevole nel tempo, totalmente riciclabile ed eccellente rapporto prezzo/rendimento. Ipotizzando un fissaggio meccanico pari a quello descritto nel pannello di progetto si presenta una correzione dello stesso valore e quindi una conducibilità sempre minore di 0,19 W/m²K. Questo viene reso possibile considerando uno spessore di isolamento pari a 16cm quindi in totale il pannello sarà pari a 0,34cm.

Tabella 17. Trasmittanza termica pannello P03

codice P03					
cod.	Descrizione	d [m]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Calcestruzzo interno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti interne ed esterne	0,12	1,91	2500	0,06
2	Isolamento di polistirolo espanso additivato con grafite	0,16	0,029		5,52
3	Calcestruzzo esterno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti esterne NON	0,06	2,075	2500	0,03
R _{si}	Resistenza termica superficiale interna				0,13
R _{se}	Resistenza termica superficiale esterna				0,04
U	TRASMITTANZA TERMICA DELLA STRUTTURA	[W/m²K]			0,1730
U_c	TRASMITTANZA TERMICA con correzione per fissaggio meccanico	[W/m²K]			0,1826

9.4 Pannelli in calcestruzzo isolante, sistema a nucleo isolante

Ulteriore ipotesi riguarda l'utilizzo di un calcestruzzo innovativo che possa combinare la costruzione di pareti monolitiche con i severi requisiti di isolamento. Il sistema che si

ipotizza, prevede l'uso di un calcestruzzo isolante, prodotto MISAPOR che presenta unicità estetica e ottime prestazioni statiche e termoacustiche. Il materiale permette di creare pareti con assenza di condense e la possibilità di creare quindi delle pareti isolanti ideali alle nuove costruzioni.

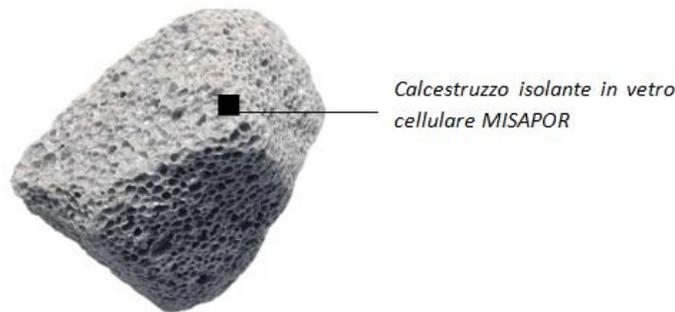


Figura 36. Calcestruzzo MISAPOR

Si è ipotizzato lo stesso schema prodotto dall'azienda secondo cui, si predispongono due strati di calcestruzzo MISAPOR separate tramite isolante lana di roccia.

Codice P04- Pannello in calcestruzzo isolante MISAPOR

- 1) Crosta esterna in calcestruzzo MISAPOR, spessore 6 cm;
- 2) Strato isolante in polistirolo espanso additivato con grafite 16 cm;
- 3) Crosta interna portante in conglomerato cementizio armato, spessore 12 cm.

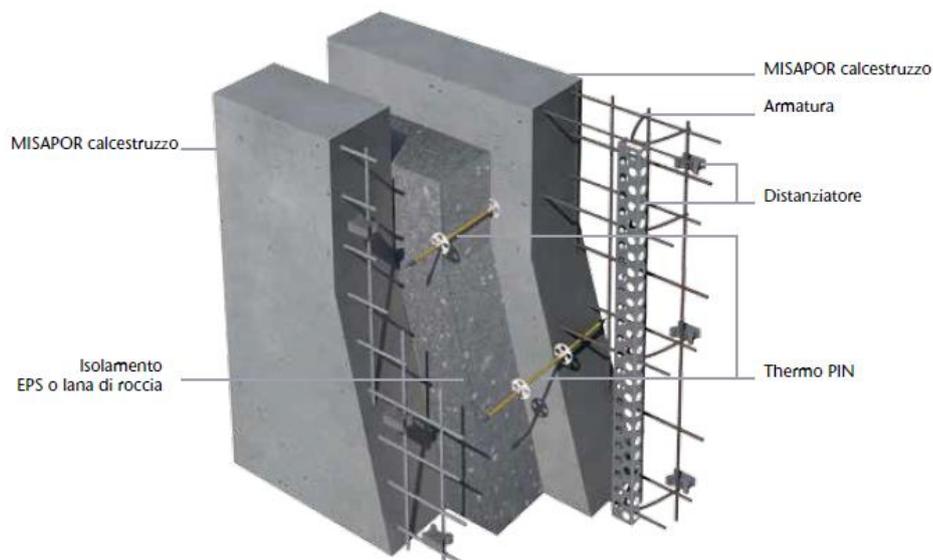


Figura 37. Sistema a nucleo isolante MISAPOR e isolante lana di roccia.



Questo materiale è altamente riciclabile e certificato secondo la norma EN 13055-1 come granulato leggero, inoltre presenta elevate prestazioni in termini di sicurezza secondo la norma EN 206. Nell'allegato P04 è facile leggere un esempio di costruzione tramite l'uso di suddetto materiale.

Tabella 18. Trasmissanza termica pannello P04

codice P04					
cod.	Descrizione	d [m]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Calcestruzzo MISAPOR	0,12	0,27	120-190	0,44
2	isolamento in lana di roccia	0,14	0,036	90	3,89
3	Calcestruzzo MISAPOR	0,14	0,27	120-190	0,52
Rsi	Resistenza termica superficiale interna				0,13
Rse	Resistenza termica superficiale esterna				0,04
U	TRASMITTANZA TERMICA DELLA STRUTTURA			[W/m²K]	0,1991
U_c	TRASMITTANZA TERMICA con correzione per fissaggio meccanico			[W/m²K]	0,2087

In funzione delle documentazioni di ricerca si può vedere che aumentando lo spessore e secondo i giusti accorgimenti è possibile raggiungere valori di trasmittanza anche più bassi, al pari di $U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

9.5 Pannelli con strato di coibentazione in materiale ecosostenibile

Il settore della costruzione ha subito un profondo cambiamento in termini di ricerca dei materiali naturali e riciclabili. Per questa ragione è messa in evidenza, la possibilità di utilizzare nell'ambito della nuova edilizia dei materiali salubri e di qualità, che contribuiscono a risultati chiari e sostenibili.

“Il termine green building, letteralmente costruzione verde, è riconducibile in italiano alla bioedilizia o architettura sostenibile. Indica, a livello internazionale, un edificio progettato, costruito e gestito in maniera sostenibile ed efficiente, nonché certificato come tale da un ente terzo indipendente”.

È proposto l'utilizzo di un pannello di sughero per isolamento che presenta elevate prestazioni tecniche, ambientali e di sicurezza. Come suddetto materiale, l'utilizzo di origine vegetale, come fibre di legno, cellulosa, canapa, sono tutti materiali certificati sotto il profilo ambientale. Sono materiali al 100% rinnovabili, naturali senza aggiunta di colle di origine sintetica o fossile, atossici e insensibili all'acqua.



CORKPAN 100% naturale. È un pannello di sughero auto espanso che durante la tostatura migliora le sue caratteristiche prestazionali inglobando aria al suo interno e aumentando le caratteristiche di coibenza.

Figura 38. Isolamento in sughero CORKPAN

Il materiale isolante ipotizzato nella creazione del pannello di tamponamento prefabbricato, presenta una conducibilità dichiarata pari a $\lambda=0,04$ W/mK. Si propone il calcolo della trasmittanza di un pannello stratificato nel modo seguente.

Codice P05- Pannello in calcestruzzo con strato di coibentazione in sughero espanso CORKPAN

- 1) Crosta esterna portata in conglomerato cementizio armato, spessore 6 cm;
- 2) Strato di coibentazione in sughero espanso Corkpan 14 cm;
- 3) Crosta interna portante in conglomerato cementizio armato, spessore 12 cm.

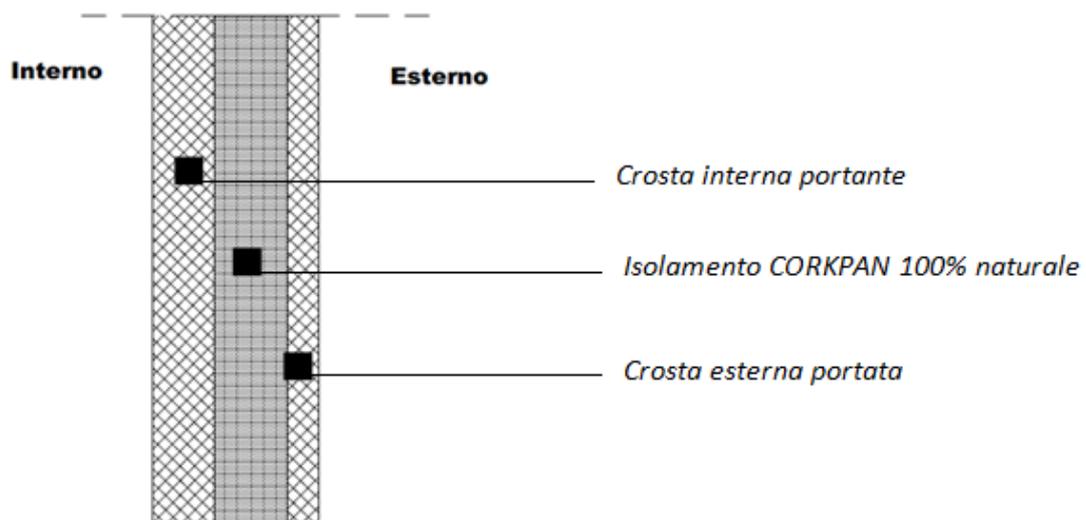


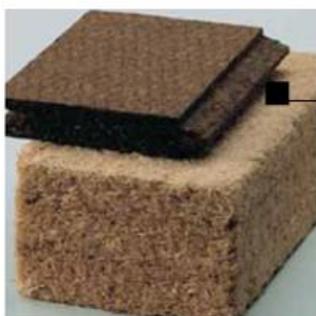
Figura 39. Pannello coibentato con sughero CORKPAN

L'isolamento in sughero appare relativamente insensibile all'umidità ed elevata capacità di accumulo di calore. Lasciando inalterate le scorze esterne del cls utilizzato in progetto e considerando uno spessore di 0,14 cm di isolante, si ottiene un pannello con trasmittanza $U=0,265$ W/m²K.

Tabella 19. Trasmissione termica pannello P05

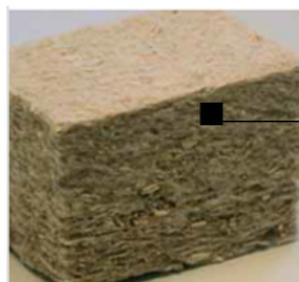
codice P05					
cod.	Descrizione	d [m]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Calcestruzzo interno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti interne ed esterne	0,12	1,91	2500	0,06
2	Strato di coibentazione in sughero espanso Corkpan	0,14	0,04	110/130	3,50
3	Calcestruzzo esterno a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali per pareti esterne NON	0,06	2,075	2500	0,03
Rsi	Resistenza termica superficiale interna				0,13
Rse	Resistenza termica superficiale esterna				0,04
U	TRASMITTANZA TERMICA DELLA STRUTTURA			[W/m²K]	0,2658
U_c	TRASMITTANZA TERMICA con correzione per fissaggio meccanico			[W/m²K]	0,2754

Lo stesso risultato consegue con l'utilizzo degli isolanti di origine vegetale citati precedentemente, che presentano una conducibilità pari a quella del sughero:



Fibre di legno: costituita da residui di segheria o legno debole che viene frantumato in minuzoli e scomposto mediante procedimento termico e meccanico. Le fibre conferiscono stabilità al pannello isolante attraverso l'intreccio e la pressatura a cui sono sottoposte.

Figura 40. Isolamento con fibre di legno



Fibre di canapa: è un prodotto che per garantire una certa stabilità viene integrato con prodotti in poliestere, al 10-15%. La fibra di canapa è resistente allo strappo e all'umidità, riesce ad assorbire umidità fino ad un terzo del proprio peso netto ed asciugarsi senza alcuna dispersioni termica.

Figura 41. Isolamento con canapa



Vetro cellulare: materiale isolante espanso a cellula chiusa composto dal 66% di vetro riciclato e da sabbia quarzosa addizionata con altre sostanze speciali. la conducibilità è compresa nei valori di 0,04-0,05 W/mK.

Figura 42. Isolamento in vetro cellulare

9.6 Possibili sistemi di ancoraggio alla struttura prefabbricata in elevazione

Come precedentemente esposto nel paragrafo 8.5, le pareti prefabbricate sono ancorate alla struttura portante tramite opportuni elementi di connessione. Tali elementi vengono conformati e progettati al fine di mantenere per tutta la durata di vita dell'edificio, il trasferimento dei carichi da parte della parete prefabbricata alla struttura portante. È necessario notare come queste connessioni rappresentano una parte integrante e fondamentale per la realizzazione dell'involucro. Ogni dettaglio deve essere soggetto ad analisi, bisogna prevedere la modalità di carico e rottura, che possono interessare il sistema di ancoraggio, questo perché una cattiva progettazione di esso è la conseguenza di un processo di degrado a catena. Uno screening di varie ricerche, ha condotto tale studio di tesi, a osservare alcuni dettagli di connessione dei pannelli prefabbricati. Esiste una ampia gamma di meccanismi di connessione in funzione non solo delle caratteristiche tecniche e prestazionali del pannello, ma anche della disposizione di essi in relazione agli elementi strutturali.

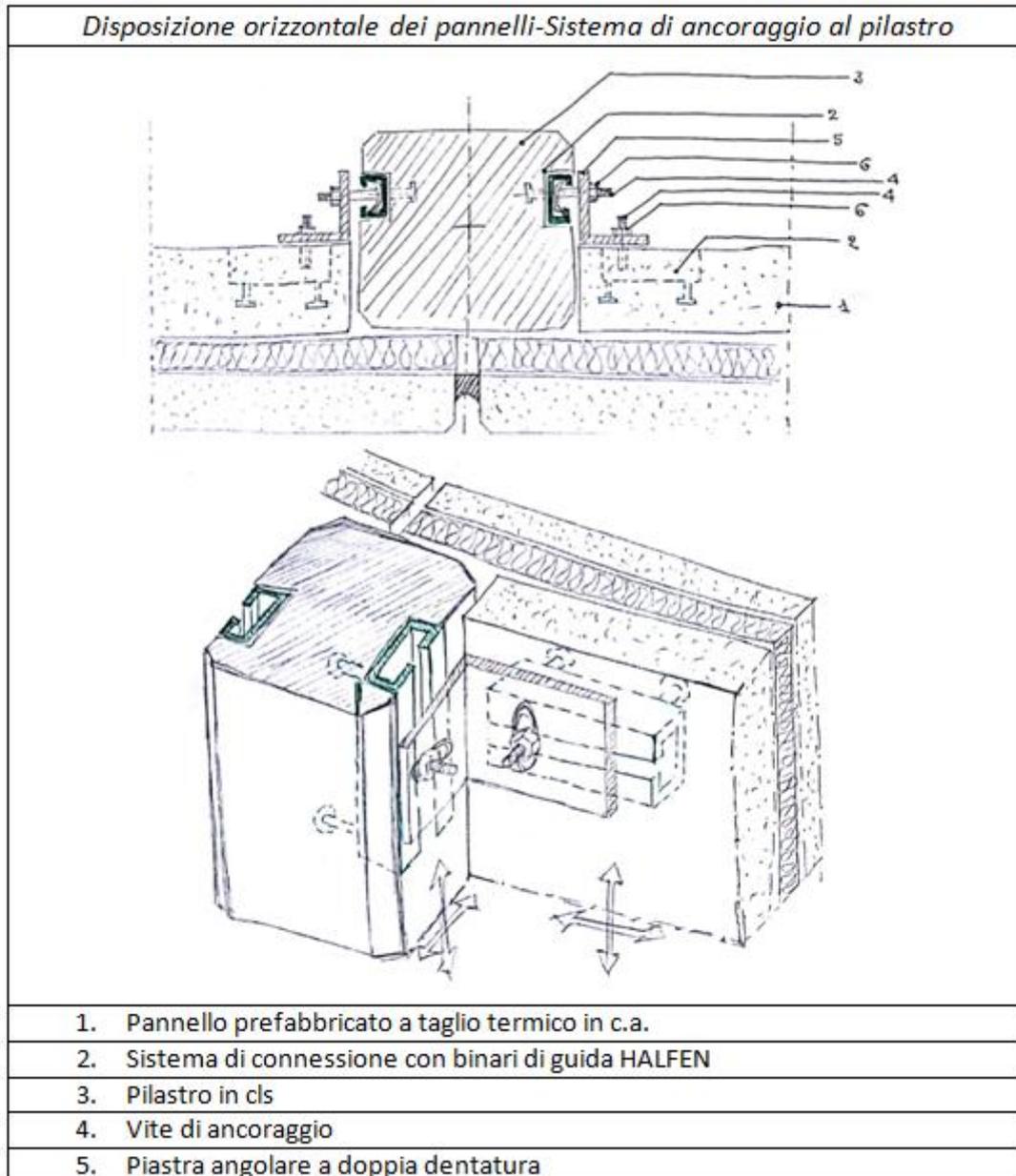


Figura 43. Nodo pilastro- pannello semi inserito

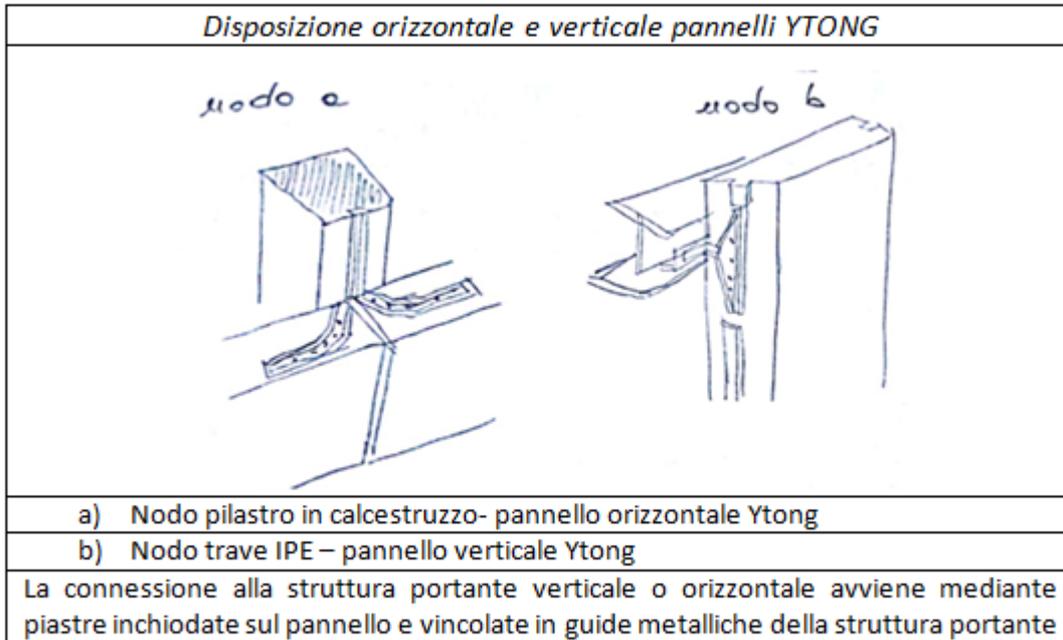


Figura 44. Ancoraggio pannelli in calcestruzzo cellulare alla struttura portante

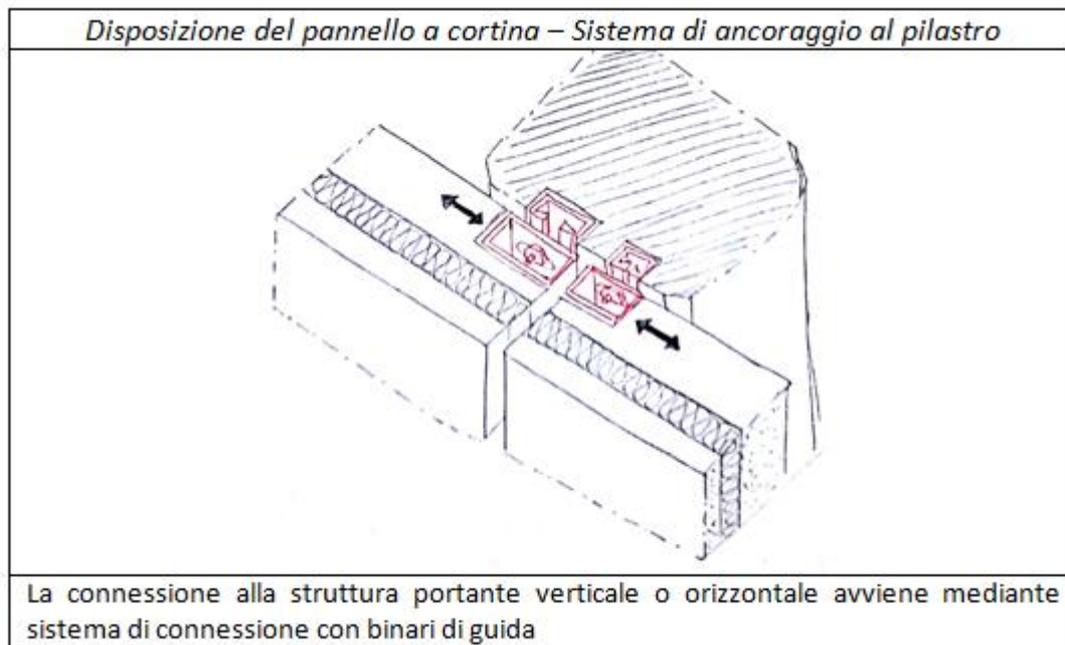


Figura 45. Ancoraggio pannelli a cortina rispetto il pilastro

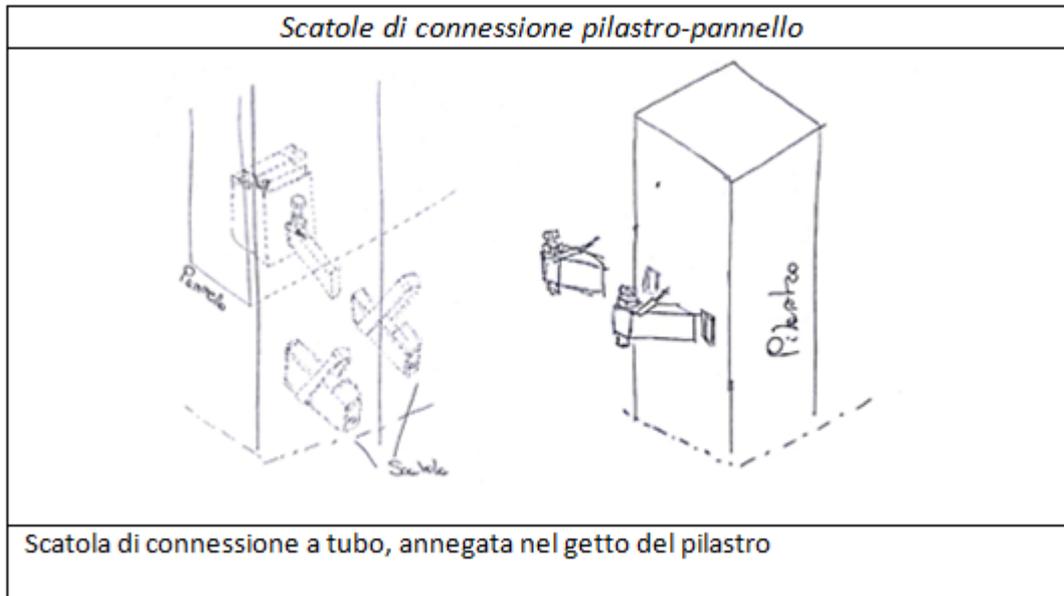
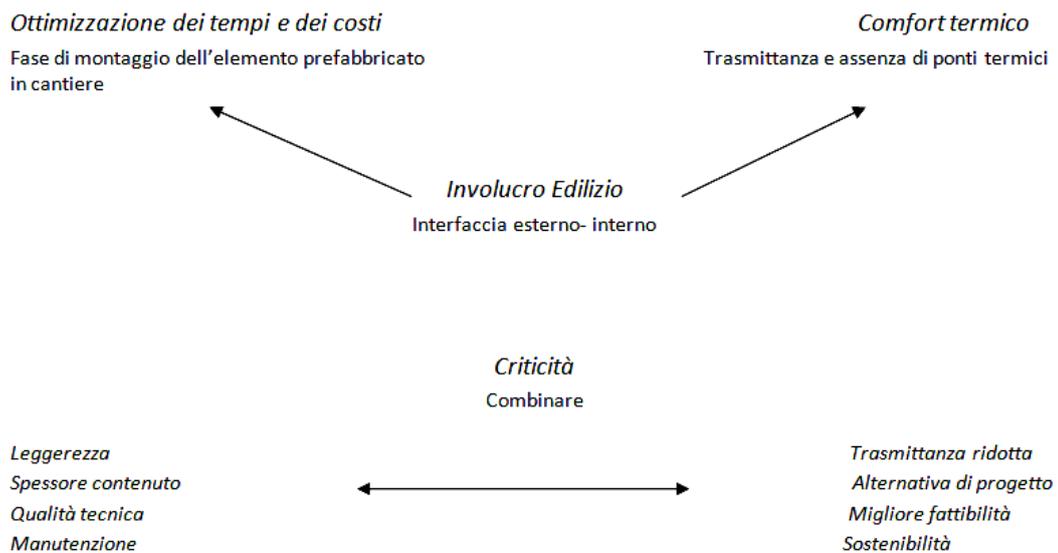


Figura 46. Nodo pilastro- pannello

9.7 Confronto

Dall'analisi delle soluzioni di progetto, descritte nel paragrafo 9.5, trapela chiaramente l'esigenza di ricercare continuamente nuovi sistemi e materiali che soddisfino a pieno le nuove esigenze edilizie. Due sono gli aspetti fondamentali che non si dissociano mai dalla realizzazione dell'involucro edilizio: riduzione dei tempi di costruzione di un'opera, senza dequalificazione delle fasi progettuali e risparmio energetico, garanzia di comfort negli ambienti interni.



Tutte le soluzioni in esame ipotizzate come possibili soluzioni di progetto alternative a quella predisposta nella realizzazione del nuovo Polo informatico sito in Milano, presentano determinate caratteristiche che sono di seguito riassunte nella tabella seguente.

Tabella 20. Dati pannelli prefabbricati

COD.	Tipologia Pannello	Spessore	Resistenza	Trasmittanza	Trasmittanza corretta
		d_{TOT} [m]	R_{TOT} [m ² K/W]	U [W/m ² K]	U_c [W/m ² K]
P01	In conglomerato cementizio armato a taglio termico	0,30	5,31	0,183	0,192
P02	Monostrato in calcestruzzo cellulare autoclavato	0,38	3,13	0,303	0,313
P03	Isolante in polistirolo espanso additivato con grafite	0,34	5,61	0,173	0,183
P04	Pannello sistema a nucleo isolante	0,40	4,85	0,199	0,209
P05	Con strato di coibentazione in sughero	0,32	3,59	0,266	0,275

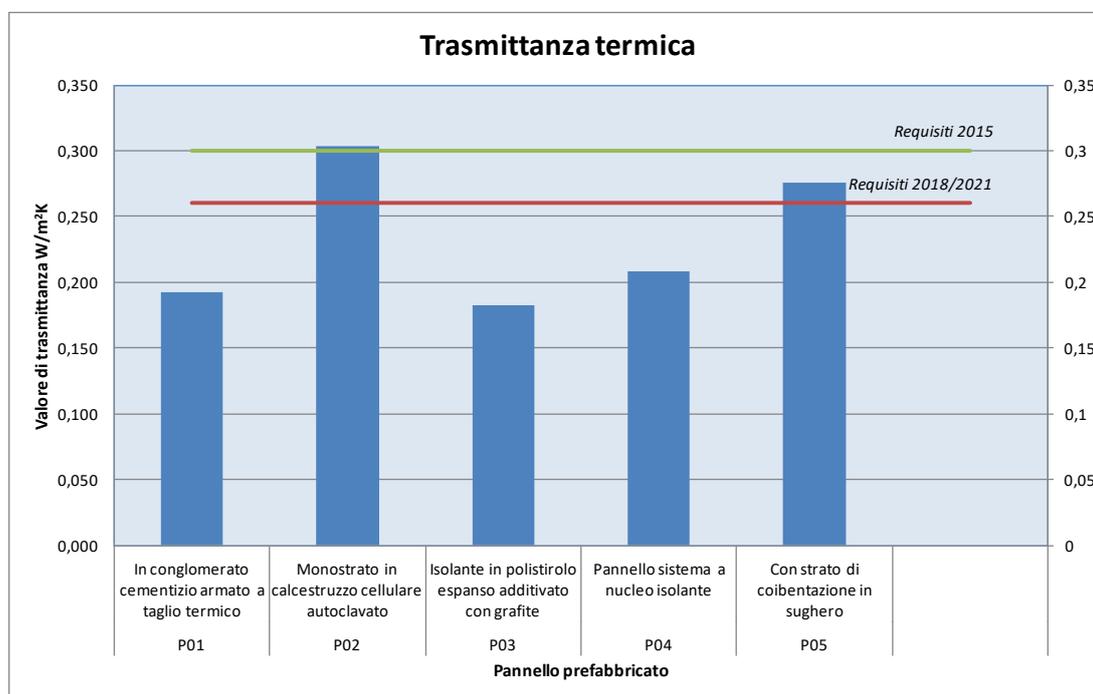
L'edificio analizzato Le soluzioni proposte hanno uno spessore complessivo compreso in un range di valori tra 30-40 cm, che permettono di ricadere nella fascia di accettabilità dei requisiti limite forniti nel Decreto 26 giugno 2015 del Ministero dello Sviluppo economico, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*. Il valore considerato è attinente alla zona climatica E, essendo l'edificio realizzato in Milano. In quanto prescritto nel decreto, si riportano i valori dei parametri caratteristici dell'edificio di riferimento.

Tabella 1- Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Figura 47. Decreto 26 giugno 2015

Tabella 21. Istogramma valori di trasmittanza dei pannelli prefabbricati in relazione al DM 26 giugno 2015



Un ulteriore confronto è stato effettuato in funzione delle caratteristiche dell'isolamento utilizzato nei vari pannelli. Questo perché, generalmente i pannelli prefabbricati vengono realizzati con calcestruzzo, opportunamente armato, che viene arricchito nelle sue proprietà complessive dall'uso di adeguati isolanti presenti in commercio. Pertanto, utilizzando i parametri nella tabella seguente si valutano i requisiti prestazionali di ogni pannello proposto, partendo dalla trasmittanza ridotta a caratteri più di dettaglio che sono stati ricavati dalle specifiche schede tecniche di ogni materiale.

Tabella 22. Parametri di confronto

n°	Parametri di confronto
1	Trasmittanza ridotta
2	Buon isolamento termico
3	Facilità di posa
4	Resistenti all'acqua e umidità
5	Riciclabile
6	Biodegradabile
7	Buon isolamento acustico
8	Durevoli
9	Costosi
10	Traspiranti



Tabella 23. Dati di valutazione delle prestazioni degli isolanti

COD.	Isolante	Spessore	Conducibilità termica	Resistenza diffusione al vapore	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		d [m]	λ [W/mK]	μ [-]										
P01	Schiuma polyiso espansa STIFERITE GT	0,12	0,023	148	Y	Y	Y	Y			Y	Y		
P02	-	0	0	-		Y	Y	Y			Y			
P03	Polistirolo espanso con grafite	0,16	0,029	20-40	Y	Y	Y							Y
P04	Lana di roccia	0,14	0,036	1		Y	Y	Y	Y	Y		Y		Y
P05	Sughero espanso	0,14	0,04	10		Y			Y	Y		Y	Y	Y



10. Conclusioni

Tramite lo studio del progetto di realizzazione del nuovo Polo didattico degli Studi di Milano, è stato possibile analizzare, nella suddetta tesi, i diversi aspetti distintivi che hanno caratterizzato la progettazione dell'opera nella sua complessità. Inizialmente, l'analisi teorica dell'iter burocratico preposto alla concretizzazione del progetto, ha evidenziato le caratteristiche e le strategie adottate nella procedura di affidamento dei lavori pubblici. In particolare, lo studio consente di evidenziare ogni passo dello svolgimento dell'appalto di gara complesso e l'adozione del criterio di aggiudicazione all'offerta economicamente più vantaggiosa. Risulta chiaro che, pur adottando criteri prescritti dalla normativa vigente possono crearsi delle situazioni di non chiarezza tra le varie parti coinvolte, e quindi è importante evidenziare le responsabilità delle varie figure e ampliare la gamma di documentazioni e verifiche da eseguire.

Nel progetto studiato, si è riscontrato un rallentamento nello svolgimento di realizzazione del complesso, dovuto principalmente a mancate documentazioni e autorizzazioni, durante l'iter di accettazione dell'elemento prefabbricato che rappresenta il fulcro della tesi. Le situazioni di mancanza di comprensione tra l'Impresa e la Direzione Lavori o il ritardo in seguito a fattori a contorno hanno definito un rallentamento e ritardo nella consegna dell'opera.

Dopo questa parte l'approfondimento della tesi, scaturisce in seguito a l'adozione del pannello di tamponamento prefabbricato proposto dal Raggruppamento temporaneo d'Impresa. L'obiettivo di velocizzare l'avanzamento dei lavori e garantire una soluzione di progetto sostenibile, pratica e sicura già in fase di cantiere, è risultato interessante per ipotizzare soluzioni di progetto alternative coerenti con quanto definito nel progetto preliminare a base di gara.

La tesi esamina il procedimento di produzione e la situazione di cantiere che, tramite l'adozione di elementi prefabbricati, è definito da criteri fondati sulla sostenibilità, riduzione di mano d'opera e velocizzazione del processo di costruzione basato sull'assemblaggio di elementi già realizzati fuori dal cantiere. Ovviamente questa procedura presenta tali vantaggi, ma nel contempo ricerca nuove figure professionali o tecnici in gradi di adempiere alle funzioni più specifiche (montaggio, prove, tecniche di ancoraggio).

Successivamente, sono stati ipotizzati diversi pannelli tenendo conto dei vincoli di progetto e valutando alcuni requisiti prestazionali dell'elemento prefabbricato. Per ottenere un risultato il più possibile consone alle richieste è stata importante definire le trasmittanze dei pannelli, considerando di relazionare vari aspetti tra loro. Infatti, tenendo conto delle caratteristiche termiche la trasmittanza ridotta appare possibile nelle varie soluzioni, considerando di poter raggiungere dei valori di trasmittanza anche più bassi della soluzione di progetto adottata o comunque consoni ai limiti di legge. Si considera pure la possibilità di adottare materiali di derivazione naturale, che possono conferire un aspetto essenziale sotto il punto di vista della sostenibilità. Un altro aspetto importante riguarda l'adozione di diversi tipi di calcestruzzo, poiché nella maggior parte dei casi i pannelli prefabbricati vengono realizzati in calcestruzzo armato, ma recenti studi e sviluppi tecnologici



garantiscono dei requisiti di stabilità e durevolezza di calcestruzzi più leggeri o concepiti con tecniche di produzione vantaggiosi e rapidi rispetto alla realizzazione del tradizionale pannello di tamponamento. Ne sono un esempio i pannelli P02 o P04.



11. Indice Tabelle

Tabella 1 Area dell'intervento.....	6
Tabella 2. Caratteristiche dei corpi principali di intervento.....	8
Tabella 3. Requisiti minimi richiesti nel Capitolato d'Appalto	17
Tabella 4 Processo di aggiudicazione della gara d'appalto	19
Tabella 5. Criteri di valutazione dell'offerta in gara d'appalto	21
Tabella 6. Documentazioni del Progetto Definitivo secondo il D.P.R. n.207/2010.....	22
Tabella 7. Offerta tecnica, gara d'appalto complesso	23
Tabella 8. Elementi prefabbricati previsti nell'intervento di progetto in esame.....	25
Tabella 9. Note del Responsabile Unico del Procedimento sul Progetto Definitivo	30
Tabella 10. Appaltatore e Direzione Lavori.....	32
Tabella 11. Schema procedura di sviluppo delle fasi di progettazione.....	33
Tabella 12. Gli elementi prefabbricati dalla produzione al trasporto in cantiere.....	36
Tabella 13. Prima documentazione pannello di tamponamento	39
Tabella 14. Tipologie di isolante termico	45
Tabella 15. Trasmittanza termica pannello P01.....	58
Tabella 16. Trasmittanza termica pannello P02.....	62
Tabella 17. Trasmittanza termica pannello P03.....	64
Tabella 18. Trasmittanza termica pannello P04.....	66
Tabella 19. Trasmittanza termica pannello P05.....	68
Tabella 20. Dati pannelli prefabbricati.....	73
Tabella 21. Istogramma valori di trasmittanza dei pannelli prefabbricati in relazione al DM 26 giugno 2015.....	74
Tabella 22. Parametri di confronto	74
Tabella 23. Dati di valutazione delle prestazioni degli isolanti	75

12. Indice Figure

Figura 1. Inquadramento territoriale	5
Figura 2. Planimetria generale. Volumi fuori terra	6
Figura 3. Pianta di lettura del progetto.....	7
Figura 4. Dipartimento di Informatica	9
Figura 5. Segreteria Studenti	10
Figura 6. Biblioteca d'Area	11
Figura 7. Piano seminterrato.....	12
Figura 8 Sistema verde	13
Figura 9. Schema compiti delle figure coinvolte per inizio dei lavori	34
Figura 10. Struttura in elevazione. Elementi prefabbricati del progetto.....	38
Figura 11. Sistema di prefabbricazione, 1948.....	46
Figura 12. Sistema di prefabbricazione, 1960.....	47
Figura 13. Sistema di prefabbricazione, 1960-1970.....	47



Figura 14. Pannelli nervati per costruzioni industriali (http://www.manualihoepli.it/media/doc/pr047.pdf).....	48
Figura 15. Pannello sandwich (https://www.ledile.com/it/Prodotti/Pareti-ditamponamento.html)	48
Figura 16. Pannello pieno (http://www.travisud.it/prodotti/pannelli-prefabbricati/produzione-vendita-pannelli-prefabbricati.html)	48
Figura 17. Pannello prefabbricato a taglio termico	49
Figura 18. Pannelli prefabbricati in Burntwood School, Londra 2015.	50
Figura 19. Pannello prefabbricato con paramento in mattoni faccia a vista, 290 Melburry, New York, 2009	51
Figura 20. 1° fase di produzione del pannello di progetto.....	52
Figura 21. 2° fase, disposizione dello strato isolante nel pannello di progetto.....	52
Figura 22. 3° fase, getto di calcestruzzo portante vibrato e livellato	53
Figura 23. Trasporto dei pannelli prefabbricati in cantiere	53
Figura 24. Disposizione dei pannelli in prospetto	54
Figura 25. Prospetto nord progetto “Polo Universitario in via Celoria, Milano”	55
Figura 26 Parete ventilata di progetto.....	56
Figura 27 Descrizione parete ventilata	56
Figura 28. Pannello prefabbricato codice P01, fuori scala.....	57
Figura 29 Pannello di tamponamento di progetto	58
Figura 30. Sistema di connessione	59
Figura 31. Cls cellulare al microscopio	60
Figura 32 Pannello P02 disposto in verticale o orizzontare rispetto la struttura in elevazione	61
Figura 33. Pannello prefabbricato in cls cellulare	62
Figura 34. Sistema di ancoraggio alla struttura, pannelli YTONG	63
Figura 35. Pannello prefabbricato coibentato con polistirolo additivato con grafite	64
Figura 36. Calcestruzzo MISAPOR	65
Figura 37. Sistema a nucleo isolante MISAPOR e isolante lana di roccia.....	65
Figura 38. Isolamento in sughero CORKPAN.....	67
Figura 39. Pannello coibentato con sughero CORKPAN.....	67
Figura 40. Isolamento con fibre di legno	68
Figura 41. Isolamento con canapa	68
Figura 42. Isolamento in vetro cellulare	69
Figura 43. Nodo pilastro- pannello semi inserito.....	70
Figura 44. Ancoraggio pannelli in calcestruzzo cellulare alla struttura portante	71
Figura 45. Ancoraggio pannelli a cortina rispetto il pilastro	71
Figura 46. Nodo pilastro- pannello	72
Figura 47. Decreto 26 giugno 2015	73



13. Bibliografia

La figura del Direttore dei Lavori, http://biblus.acca.it/focus/direttore-dei-lavori-parte-2/#Gli_ordini_di_servizio accesso il 16/01/2018

Partecipazione alla gara d'appalto <http://www.appaltiecontratti.it/2018/02/26/la-partecipazione-alle-sedute-pubbliche-gara/> accesso il 18/04/2018

Procedura di gara <http://www.appaltiecontratti.it/2017/09/21/la-chiusura-e-la-consegna-del-plico-di-gara>, accesso il 18/04/2018

Capitolato speciale d'appalto

https://www.codiceappalti.it/DPR_207_2010/Art_43_Schema_di_contratto_e_capitolato_speciale_d'appalto/981 accesso il 25/05/2018

<http://www.ingegneri.info/news/sicurezza/le-sei-fasi-del-progetto-della-sicurezza/> accesso il 15/12 /2017

Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 *"Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE"*, Gazzetta Ufficiale n. 100 del 2 maggio 2006 Supplemento Ordinario n. 107

Decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207, Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE", Gazzetta Ufficiale n. 288 del 10 dicembre 2010 – Supplemento Ordinario n. 270

Decreto interministeriale del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare dell'11 aprile 2008, di concerto con il Ministro dell'economia e delle finanze e il Ministro dello sviluppo economico, di adozione del *"Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione (PAN GPP)"*, Gazzetta Ufficiale n. 107 dell'8 maggio 2008;

Decreto Legislativo 9 aprile 2008 , n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro", Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 supplemento ordinario n. 30

Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione, UNI 10723:1998, 31 marzo 1998



Edilizia - Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia, UNI 10838:1999, 31 ottobre 1999

L'industria italiana del Cemento, Settembre 1977, Fascicolo Speciale interamente dedicato alla INDUSTRIALIZZAZIONE DELL'EDILIZIA E PREFABBRICAZIONE, volumi 6,7-8,9.

Pannelli in calcestruzzo cellulare autoclavato <https://www.ytong.it/> accesso 10/01/2018
Sistemi di ancoraggio <http://edilmatic.it/> accesso 12/09/2018

Manuale pannelli prefabbricati, sistema di ancoraggio <http://www.mabogroup.it/?p=1>
accesso 5/01/2018

Arbizzani E.,(2015), Tecnica e tecnologia dei sistemi edilizi: progetto e costruzione:con disegni, schemi funzionali, dettagli costruttivi e immagini di cantiere

Pannelli prefabbricati <https://www.infobuild.it/approfondimenti/pannelli-prefabbricati-per-linvolucro/> accesso 12/02/2018

Treccani, <http://www.treccani.it> accesso 14/04/2018

Wikipedia, <http://www.wikitecnica.com> accesso 07/05/2018

Sicurezza in cantiere, <http://www.ingegneri.info/news/sicurezza/le-sei-fasi-del-progetto-della-sicurezza/> accesso 15/03/2018

<http://www.architetto.info/news/progettazione/riba-stirling-prize-2015-questa-e-una-scuola/>, accesso il 16/05/2018

Foto pannelli <http://www.manualihoepi.it/media/doc/pr047.pdf> , accesso il 15/07/2018

<https://www.ledile.com/it/Prodotti/Pareti-di-tamponamento.html> , accesso il 15/07/2018

<http://www.travisud.it/prodotti/pannelli-prefabbricati/produzione-vendita-pannelli-prefabbricati.html> , accesso il 16/07/2018

Studio di Ingegneria ICIS srl, Corso Einaudi 8 – Torino. www.icis.it