

Cristian Angeli

EDIFICI SISMORESISTENTI PROGETTATI CON LE NTC 2018

ANALISI E COMPARAZIONE TECNICO-ECONOMICA
TRA SISTEMI COSTRUTTIVI

© Copyright Legislazione Tecnica 2018

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di Ottobre 2018 da
STAMPAFLASH s.r.l., Via Umbria 148/7 - 06059 Todi (PG)

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dall'Autore. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e l'Autore da qualsiasi pretesa risarcitoria.

*“L’innovazione è fondamentale
ciò che rende obsoleto
quanto è stato fatto prima.”*

Jay Abraham

Cristian Angeli

Ingegnere strutturista esperto nella progettazione e direzione lavori di edifici realizzati con sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato. Consulente per industrie leader nella produzione di casseri in polistirene per l'edilizia, ha seguito quale responsabile numerosi progetti di ricerca e sperimentazione nel settore dei sistemi di costruzione innovativi presso università italiane ed estere.

Per maggiori informazioni: www.icfpro.it

INDICE

Presentazione di Marco Mezzi	9
Prefazione di Luca Cipriani	11
Premessa	13
Ringraziamenti	17
1 I sistemi costruttivi sismoresistenti alla luce delle NTC 2018	
1.1 Considerazioni generali	19
1.2 Illustrazione dei sistemi costruttivi sismoresistenti	21
1.3 Alcuni aggiornamenti introdotti dalle NTC 2018	25
1.3.1 Aggiornamenti per strutture a telaio in cemento armato	25
1.3.2 Aggiornamenti per pareti portanti ICF	26
1.3.3 Aggiornamenti per strutture in legno	28
1.3.4 Aggiornamenti di carattere generale	29
1.3.5 Principali chiarimenti introdotti dalla Circolare illustrativa delle NTC 2018	31
1.4 Strutture a telaio in cemento armato	37
1.4.1 Caratteristiche	38
1.4.2 Vantaggi (e svantaggi) del sistema a telaio	38
1.4.3 Foto di cantiere	41
1.5 Sistemi costruttivi a pareti portanti ICF	44
1.5.1 Caratteristiche	47
1.5.2 Vantaggi (e svantaggi) del sistema ICF	48
1.5.3 Foto di cantiere	51
1.6 Sistemi costruttivi a pannelli prefabbricati in legno X-Lam	56
1.6.1 Caratteristiche	56
1.6.2 Importanza delle connessioni	57
1.6.3 Vantaggi (e svantaggi) del sistema X-Lam	60
1.6.4 Foto di cantiere	64
1.7 Ipotesi adottate per la comparazione	67

2	Il caso di studio	
2.1	Descrizione dell'edificio	71
2.2	Progetto architettonico	74
2.3	Caratteristiche costruttive	81
2.4	Ipotesi adottate per l'analisi strutturale	81
2.5	Computo metrico e scelta del prezzario di riferimento	82
2.6	Elenco prezzi	85
2.7	Analisi prezzi per pannelli ICF	92
3	Analisi dell'edificio a telaio in cemento armato	
3.1	Illustrazione del progetto	97
3.2	Ipotesi di calcolo e principali risultati	98
3.2.1	Analisi dei carichi	99
3.2.2	Analisi modale	99
3.3	Disegni esecutivi	107
3.4	Particolari costruttivi	112
3.5	Computo metrico estimativo	117
4	Analisi dell'edificio a pareti portanti tipo ICF	
4.1	Illustrazione del progetto	121
4.2	Ipotesi di calcolo e principali risultati	122
4.2.1	Analisi dei carichi	123
4.2.2	Analisi modale	123
4.3	Verifica di stabilità di pareti in cemento armato in conformità alle NTC 2018	129
4.3.1	Verifica di stabilità parete 1	131
4.3.2	Verifica di stabilità parete 2	136
4.4	Disegni esecutivi	141
4.5	Particolari costruttivi	149
4.6	Computo metrico estimativo	152
5	Analisi dell'edificio a pannelli in legno tipo X-Lam	
5.1	Illustrazione del progetto	155
5.2	Ipotesi di calcolo e principali risultati	156
5.2.1	Analisi dei carichi	157
5.2.2	Analisi modale	157
5.3	Disegni esecutivi	167

5.4	Particolari costruttivi	174
5.5	Computo metrico estimativo	177
6	Comparazione tra le varie soluzioni progettuali	
6.1	Comparazione tecnico-costruttiva	181
6.2	Comparazione dei materiali	183
6.3	Comparazione temporale	187
6.4	Comparazione economica	191
6.5	Comparazioni economiche con varianti al progetto ...	194
6.5.1	Caso senza interrato	195
6.5.2	Caso a due piani senza interrato	195
6.5.3	Riepilogo dei casi analizzati	196
7	Considerazioni conclusive e sviluppi futuri	199
	Postfazione di Paolo Verducci	201
	Bibliografia	203
	Appendice 1 – NTC 2018	
	D.M. 17/01/2018 “ <i>Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni</i> ” (stralcio)	205
	Appendice 2 – Computi metrici	
	Computo metrico per edificio realizzato in c.a. tradizionale ..	226
	Computo metrico per edificio realizzato con sistema ICF ...	229
	Computo metrico per edificio realizzato con sistema X-Lam .	233

NOTA PER IL DOWNLOAD

Si riporta di seguito l'elenco dei contenuti aggiuntivi disponibili nell'Area download collegata al volume cartaceo. L'Area download è accessibile collegandosi all'indirizzo www.legislazionetecnica.it/download ed inserendo il codice riportato nella seconda pagina di copertina dopo aver effettuato il login con le proprie credenziali (chi non fosse in possesso delle credenziali dovrà preventivamente effettuare la registrazione gratuita al sito).



Nelle pagine del libro i files scaricabili sono contrassegnati dall'icona

A) PARTICOLARI COSTRUTTIVI IN FORMATO DWG

FILE 1) Particolari costruttivi struttura tradizionale:

Il file contiene:

- nodo d'unione solaio-pareti;
- nodo d'unione solaio-pareti-balcone;
- particolare infisso pareti;
- particolare parete piano interrato e attacco a terra parete.

FILE 2) Particolari costruttivi struttura ICF

Il file contiene:

- nodo d'unione solaio-pareti;
- nodo d'unione solaio-pareti-balcone;
- particolare infisso pareti;
- particolare parete piano interrato e attacco a terra parete ICF.

FILE 3) Particolari costruttivi struttura X-Lam

Il file contiene:

- nodo d'unione solaio-pareti;
- nodo d'unione solaio-pareti-balcone;
- particolare infisso pareti;
- particolare parete piano interrato e attacco a terra parete X-Lam.

B) FILES IN EXCEL

- C1. Computo metrico sistema tradizionale
- C2. Computo metrico sistema ICF
- C3. Computo metrico sistema X-Lam

PRESENTAZIONE

Gli ultimi terremoti verificatisi nel mondo ed in particolare in Italia, per quanto ci riguarda direttamente, hanno spesso mostrato la inadeguatezza della risposta delle costruzioni rispetto alle attese, consapevoli e soprattutto inconsapevoli, delle persone. Ciò evidenzia come la concezione, il progetto, la modalità di realizzazione delle costruzioni non abbiano raggiunto una piena maturità, congruente con gli obiettivi di sicurezza comunemente accettati.

Prima di ricordare brevemente le cause principali di questa situazione, appare evidente la necessità di disporre di efficaci supporti al processo che porta alla realizzazione di edifici in zona sismica. In questa ottica bene si colloca il volume di Cristian Angeli vuoi per gli argomenti trattati e soprattutto per le modalità di analisi e valutazione dei sistemi costruttivi sismoresistenti presi in considerazione.

Tornando alla percezione di inadeguatezza delle prestazioni fornite dalle costruzioni in occasione dei terremoti, ciò dipende da molteplici fattori. Innanzitutto le caratteristiche fisiche dei terremoti hanno cominciato ad essere correttamente comprese soltanto a partire dalla fine del XIX secolo mentre una caratterizzazione del moto sismico compatibile con le possibilità di un'analisi strutturale rigorosa, per esempio la registrazione ed il trattamento delle accelerazioni del terreno, è cominciata soltanto ottant'anni fa.

In secondo luogo occorre considerare che, mentre la capacità delle costruzioni nei confronti delle azioni statiche ordinarie – pesi propri e portati e carichi verticali di servizio – è valutabile con schemi di calcolo semplici o semplificati, la capacità sismoresistente degli edifici è associata a meccanismi di comportamento complessi da analizzare senza strumenti di calcolo numerico potenti. Questi strumenti hanno cominciato ad essere disponibili a livello specialistico soltanto negli ultimi cinquant'anni e soltanto negli ultimi trenta lo sono diventati in maniera diffusa. Tutte le teorie più avanzate di analisi e progetto di costruzioni in zona sismica si sono infatti sviluppate in queste poche ultime decadi.

Per quanto detto, nonché per la maggiore disponibilità di informazioni anche relative ad eventi sismici verificatisi in aree lontane, lo studio e la conoscenza della progettazione delle costruzioni sismoresistenti rappresentano una questione di attenzione rilevante per l'opinione pubblica mentre contestualmente la ricerca e la pratica divengono sempre più raffinate, innalzando il livello di conoscenza di ricercatori e progettisti. Contestualmente all'aumento di conoscenza ed all'aumento del livello degli standard di vita, anche la domanda di protezione dai rischi naturali degli utenti aumenta, spostandosi sempre più da una richiesta di pura salvaguardia della vita a quella di evitare o contenere anche disagi minori, ma comunque fortemente impattanti sulla vita delle persone. Proprio questo è il terzo aspetto, ed oggi il più importante, che determina l'insoddisfazione per le prestazioni mostrate in occasione dei terremoti, non tanto da parte di costruzioni obsolete, magari non specificamente progettate per sostenere i terremoti, ma anche da parte delle nuove costruzioni.

È con riferimento a questo fondamentale aspetto che l'autore, con il suo volume, for-

nisce un contributo che si inserisce proprio nel contesto di quella che rappresenta la nuova visione della ingegneria sismica rivolta al controllo ed alla limitazione delle conseguenze del terremoto sulle costruzioni in termini molto più ampi della sola salvaguardia della vita umana.

Nel testo vengono infatti presi in considerazione tre sistemi costruttivi simulando una progettazione che prevede la totale, o quasi totale, integrità delle strutture qualora soggette ad un terremoto corrispondente ai livelli di intensità massima prevista per la zona. Già questo aspetto rappresenta una visione innovativa rispetto alle filosofie di progetto correntemente adottate perché indirizzata verso la realizzazione di una costruzione a protezione sismica integrale, ovvero senza danni in occasione dell'evento sismico massimo considerato (*Zero-Earthquake-Damage Building*).

I tre sistemi posti a confronto sono rappresentativi di tre proiezioni di sistemi strutturali riconducibili a quelli tradizionali, senza quindi ricorrere a tecnologie speciali come quelle costituite dall'impiego di isolatori alla base o di controventi dissipativi in elevazione. La soluzione di c.a. è rappresentativa di un sistema che costituisce la prassi costruttiva più diffusa in Italia, opportunamente modificata per finalizzarla alla già detta riduzione delle conseguenze. La soluzione con pannelli di legno X-Lam rappresenta una proposta che recupera l'impiego di un materiale tradizionale come il legno, raccogliendo aspettative e convinzioni, anche mutate da una certa sensazione di eco-compatibilità, oggi diffuse nell'opinione pubblica. La soluzione ICF rappresenta una variante innovativa del sistema a pareti portanti che è quello tipico delle murature tradizionali, ma migliorato nelle prestazioni grazie all'uso di materiali più performanti e di una tecnologia costruttiva più efficiente soprattutto nella realizzazione di continuità tra gli elementi strutturali piani.

Poiché l'aspetto di sostenibilità economica è fondamentale ai fini della reale possibilità di impiego di un sistema strutturale sismoresistente, un ulteriore pregio del volume sta proprio nel fatto che per i sistemi costruttivi considerati viene anche svolta una analisi di costo, che peraltro, come molto spesso avviene, giunge a conclusioni per cui un sistema dalle migliori prestazioni sismiche, che per i tre posti a confronto risulta essere il sistema ICF, può essere caratterizzato da costi di costruzione addirittura inferiori. Il risultato sarebbe poi ulteriormente esaltato se si dovessero considerare i costi attesi nell'arco della vita della costruzione che, essendo maggiormente protetta, avrà conseguenze attese dagli attacchi sismici inferiori od assenti, rispetto ad una costruzione che si rifaccia a configurazioni strutturali ordinarie.

Ultimo ma non meno importante è l'aspetto che concerne il riferimento alla nuova normativa sulle costruzioni emanata nel 2018, sviluppato anche evidenziando, per ciascuno dei sistemi costruttivi presi in considerazione, le variazioni e le innovazioni introdotte. Proprio attraverso l'applicazione delle prescrizioni, ma soprattutto dell'indirizzo concettuale e progettuale di tipo prestazionale che sta alla base della normativa, è infatti possibile perseguire la ricerca dei livelli prestazionali che conducono ad un edificio ad elevata o totale protezione sismica, minimizzando od eliminando le conseguenze degli attacchi sismici.

Marco Mezzi
Docente di Costruzioni in zona sismica
Università degli studi di Perugia

PREFAZIONE

Numerosi studi e ricerche hanno affrontato il tema esposto nel libro, così come molte altre ricerche e tesi di laurea continuano ad approfondirlo da punti di vista diversi, e con diverse finalità. Lo studio di Cristian Angeli ha tuttavia molti pregi, il primo dei quali riguarda la sua collocazione editoriale, e anche disciplinare, rivolgendosi sia al mondo della committenza sia al mondo dei progettisti e degli studi tecnici in genere, unito ad una “trasparenza” metodologica che lo fa somigliare ad una pubblicazione di impostazione manualistica, almeno nel senso che gli veniva attribuito fino al secondo dopoguerra.

La strutturazione rigorosa del testo, le descrizioni puntuali dei diversi sistemi costruttivi esaminati, le comparazioni svolte sulla base di precisi assunti di definizione delle soluzioni rimandano ad una prassi di progetto e costruzione già sistematizzata da Pier Luigi Nervi all’inizio degli anni Sessanta del secolo scorso: “È evidentemente impossibile portare l’attività edilizia ad un così alto livello tale che ogni costruzione possa diventare un’opera d’arte, ma è nel limite delle sue possibilità, e sarebbe una grande importanza morale, economica e sociale, orientare la nostra edilizia verso il pieno soddisfacimento delle caratteristiche di buona funzionalità, buon rendimento economico, in altre parole verso una correttezza costruttiva verso la quale noi oggi siamo troppe volte lontani”¹.

In questo “costruire correttamente” assume un ruolo sempre più importante il processo decisionale di individuazione del sistema costruttivo da adottare per la costruzione, fino a pochi anni fa marginale nel processo di progetto e nella programmazione immobiliare.

Molti sono i motivi di questo fenomeno, ben affrontati nel libro soprattutto riferendoli alla situazione italiana: la crisi immobiliare ha portato con sé la necessità di accurate analisi di convenienza economica, unite all’ottimizzazione del processo edilizio e della successiva manutenzione; le nuove normative strutturali per il conseguimento della sicurezza sismica, unite a quelle impiantistiche per il risparmio energetico e la sostenibilità ambientale, hanno reso conveniente la produzione in serie di materiali e componenti riferibili a sistemi costruttivi standardizzabili, peraltro esistenti da decenni e largamente impiegati in altre parti del mondo; in ultimo i recenti eventi sismici hanno accentuato l’attenzione di cittadini e istituzioni verso la sicurezza strutturale e la salvaguardia dell’efficienza degli edifici.

Va rilevato che l’avvento di nuovi sistemi costruttivi, riferibili ad un processo di assemblaggio di diversi materiali e componenti, trae origine nella riorganizzazione dei processi progettuali e costruttivi avviata nella seconda metà del Novecento dai grandi studi americani, tendenza poi proseguita, anche culturalmente, con il post-moderno. Le tendenze più recenti della ricerca architettonica si pongono sostanzialmente in con-

¹ P. L. Nervi, *Costruire correttamente*, Hoepli, Milano 1964, p. 8.

tinuità con questo assunto, generando la sostanziale separazione dell'involucro dalla struttura, con edifici a struttura leggera assemblata a secco e pareti trasparenti, per un insieme poco "impattante".

L'architettura italiana – e ancora di più l'edilizia vera e propria, che è il "campo" proprio del libro – rimane tuttavia tendenzialmente diffidente verso la cultura dell'assemblaggio e presenta risultati spesso interessanti nella mediazione tra la costruzione assemblata e quella basata su strutture massive e forme "chiuse", cercando di attualizzare quel costruire correttamente di cui parlava Nervi.

Sulla base di queste considerazioni appare quindi di notevole interesse che l'autore imposti la comparazione, oltre che dal punto di vista economico, anche da quello tecnico, individuando alcune tipologie di edifici sismoresistenti poi progettati secondo le NTC 2018.

I sistemi costruttivi innovativi scelti per compararli alla costruzione tradizionale a telai in c.c.a. – sistema a pareti portanti in cemento armato realizzate mediante casseri a perdere in polistirolo, denominati ICF (*Insulating Concrete Forms*) e sistema a pannelli prefabbricati in legno del tipo X-Lam – risultano indubbiamente tra i più interessanti relativamente alla loro diffusione, al rapporto qualità/prezzo, all'ottimizzazione del processo costruttivo.

La riflessione affronta poi alcune domande ricorrenti nella pratica professionale, relative ai costi e ai vantaggi/svantaggi dei diversi sistemi, e il testo si propone come un vero vademecum di riferimento, utilizzabile e operativo dal punto di vista di tecnici e studi professionali ma anche accessibile a committenze pubbliche e private. Mettere in chiaro i costi, relazionandoli convincentemente alle prestazioni conseguite, fornisce le informazioni necessarie per valutare le reali potenzialità dei diversi sistemi costruttivi.

Le tre soluzioni proposte per lo stesso edificio sono state infatti messe a confronto stabilendo rigidamente le caratteristiche prestazionali dell'edificio sia dal punto di vista strutturale e delle relative azioni sismiche – per cercare di raggiungere lo Stato Limite di Operatività –, sia da quello termo-igrometrico, imponendo la stessa trasmissione delle pareti per consentire almeno il raggiungimento della classe energetica A. La comparazione economica prende in esame le parti "differenti" dei diversi sistemi, non computando quelle che non variano in modo significativo; la scelta consente di semplificare la trattazione a vantaggio della scorrevolezza del volume, e va di certo apprezzata; così come è interessante la possibilità di personalizzare le tabelle sintetiche di "computo", e di conseguenza la comparazione, oppure la possibilità di ricorrere a quelle "precompile" dall'autore sulla base di prezziari ufficiali.

Un ultimo apprezzamento di questo studio è legato al fatto che dei diversi sistemi costruttivi affrontati sono esposti gli aspetti tecnici e quelli economici mantenendoli sempre "in parallelo", senza esprimere opinioni e giudizi di merito sui risultati ottenuti. Le questioni economiche, infatti, pur risultando nella quasi totalità dei casi determinanti la scelta del sistema costruttivo, non possono essere separate dalle questioni tecnologiche e strutturali, organizzative e procedurali.

Luca Cipriani

Dipartimento di Architettura

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Direttore della Scuola Superiore di Studi sulla Città e il Territorio

PREMESSA

“Respirano i muri così come respirano gli uomini e le donne.

Respirano le case, assorbono l’aria, il fiato, l’alito, l’odore di chi le abita, gli urli, i pianti, le risate, i corrugamenti facciali, i gesti e gli sguardi dei vecchi, gli scatti d’ira e gli slanci di gioia, gli aromi del cibo e dei ricordi, l’acido, il chiuso dei vetri, le confidenze, l’intimità che si libera dalle bocche dagli occhi dalle mani.

Respirano le cose, le case, e le case ispirano le nostre parole che, se capita, diventano memoria”.

Così scrivono Paolo Di Stefano e Massimo Siragusa nel libro *Respirano i muri*, edizioni Contrasto, 2018, descrivendo la casa in chiave poetica e senza alcun riferimento tecnico.

In effetti è vero che la casa rappresenta ancora, nell’immaginario italiano, il luogo di rifugio dove vive la famiglia, in cui si ritrovano radici antropologiche e simboliche di identità sociale e con il quale si instaura un legame profondo e fondante.

Per questo è importante scegliere con attenzione non solo l’architettura e l’aspetto esteriore di essa ma anche il modo, la tecnica, il sistema con cui costruirla.

E la tentazione immediata è sicuramente quella di scegliere una tecnologia conosciuta e confortante, piuttosto che soluzioni differenti che in effetti non sono ancora protagoniste della nostra tradizione costruttiva.

Se fino a vent’anni fa in pochi facevano investimenti immobiliari costruendo in modo diverso da quello tradizionale, oggi la realizzazione di strutture con sistemi innovativi è divenuta prassi corrente. Con grande soddisfazione di chi, come l’autore, è stato pioniere nello studio sperimentale e nell’utilizzo di sistemi a pareti portanti.

Ma non poteva essere diversamente, poiché l’emanazione di normative caratterizzate da un approccio prestazionale (NTC 2008 e NTC 2018) ha spinto il mercato a studiare soluzioni alternative in grado di coniugare l’economicità dei materiali con tecniche di parziale prefabbricazione, che introducono vantaggi esecutivi e progettuali. In zona sismica, soprattutto, l’esigenza – espressa dal mercato – di garantire edifici “*sovra-resistenti*” ha messo in evidenza le carenze del modo di costruire “*normale*” divenuto palesemente diseconomico, come si andrà a dimostrare in questo volume.

Non mancano le difficoltà, poiché persistono pregiudizi, non fondati, sull’impiego di sistemi innovativi e perché tuttora ci si trova spesso ad attribuire *a posteriori* una scelta costruttiva su disegni pensati per essere realizzati in modo tradizionale.

Sarebbe bello invece progettare “*la casa*” unitamente alla tecnologia costruttiva, traendo da essa stessa stimolo per l’idea formale e materica, in vista di un’unità funzionale ed emozionale. Ma se l’innovazione tecnologica non viene spiegata nei suoi più intimi aspetti, anche di natura economica, tutto ciò avverrà con tempi irragionevolmente lunghi...

Con queste premesse è nato il presente libro che, insieme al volume *Sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato - ICF (Insulating Concrete Forms)*, pubblicato sempre da Legislazione Tecnica, contribuirà a fare un po’ di chiarezza in merito alle caratteristiche dei vari sistemi costruttivi.

L'ambizione è solo quella di offrire un approccio metodologico, conscio che l'argomento è delicato poiché riguarda l'involucro dell'edificio, ovvero la sua parte più complessa, sulla quale si concentrano richieste di prestazioni strutturali, termiche, acustiche e di durata.

Il processo decisionale che conduce alla scelta del sistema da adottare per una costruzione, se svolto in modo razionale, costituisce uno dei momenti più delicati di tutto il processo edilizio poiché condiziona, ancor più dell'architettura, tutte le fasi successive di progettazione, organizzazione, realizzazione e manutenzione di un edificio.

Tuttora molto spesso e, continuativamente, per decenni prima della nota "*crisi edilizia*", questa fase veniva bypassata poiché vigeva il binomio cemento armato/laterizio che, stante il fervido vigore dell'industria delle costruzioni, non veniva messo in discussione costituendo già una consolidata evoluzione dei sistemi a muratura portante. Le cose sono cambiate radicalmente da alcuni anni a questa parte quando, complice la crisi, l'avvio di qualunque investimento immobiliare ha iniziato a richiedere analisi accurate di convenienza economica e di ottimizzazione del processo edilizio. Gli investitori, autonomamente o tramite i loro professionisti di fiducia, hanno iniziato a prendere in esame anche quei sistemi costruttivi, in realtà già esistenti da decenni e largamente impiegati in altre parti del mondo, che offrono vantaggi derivanti dalla parziale industrializzazione del processo di produzione dei materiali e dalla successiva standardizzazione esecutiva. Al tempo stesso le nuove normative in materia di sicurezza sismica, sostenibilità ambientale, risparmio energetico, riciclo dei materiali e sicurezza nei cantieri, hanno incentivato gli operatori a rivedere il loro *modus operandi* e quindi ad adottare i c.d. sistemi costruttivi "*innovativi*". In aggiunta a tutto ciò, i recenti e frequenti eventi sismici che hanno interessato il nostro territorio hanno aumentato il livello di attenzione di tutti i cittadini e anche delle istituzioni sul tema della sicurezza strutturale e della salvaguardia dell'efficienza delle costruzioni ("*immediata occupabilità*" in caso di sisma), viste le problematiche sociali che si manifestano in occasione di ogni terremoto. È in questo ampio e articolato contesto che i sistemi "*diversi*" da quelli "*consolidati*", risultando altamente prestazionali sotto tutti i punti di vista, a poco a poco, si sono diffusi.

Il panorama dei sistemi costruttivi innovativi è ampio e articolato, composto da varie categorie di materiali più o meno evoluti che vengono combinati tra loro in modo "*ingegnerizzato*". Nell'ambito del presente volume si è scelto di fare riferimento a due di essi, ritenuti tra i più interessanti sotto il profilo della diffusione, della ottimizzazione del processo costruttivo e delle prestazioni conferite all'edificio: i sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato realizzate mediante casseri a perdere in polistirolo (denominati anche ICF) e i sistemi a pannelli prefabbricati in legno del tipo X-Lam (*Cross Laminated Timber*).

In merito a queste argomentazioni vi sono alcune, ricorrenti, domande che l'autore, nell'ambito della propria esperienza professionale, si è sentito ripetutamente rivolgere e che hanno stimolato la presente pubblicazione.

"*Conviene veramente cambiare i sistemi tradizionali con quelli alternativi?*"

"*Ci sono davvero dei vantaggi?*"

"*Quanto si risparmia?*"

Queste domande sono senza dubbio pertinenti e giustificate, poiché i costi dell'edilizia

tradizionale sono noti a tutti (la “*certezza*” del costo è, a volte, essa stessa un risparmio) e ormai codificati da decenni di esperienze, con migliaia di applicazioni diffuse su tutto il territorio nazionale. All’opposto nel caso degli altri sistemi i dati risultano frammentari, legati alle esperienze di alcuni e a ciò che viene descritto dalle aziende produttrici, pertanto sono incerti.

Tali incertezze si amplificano soprattutto laddove si tratta di effettuare valutazioni comparative, di parametrarli o di confrontare gli uni con gli altri, alla luce anche della costante evoluzione normativa, che aggiorna i parametri costruttivi e il dimensionamento dei manufatti.

È quindi per dare una risposta chiara a tutti coloro che vogliono effettuare scelte consapevoli, che è nata l’esigenza di sviluppare questo approfondimento.

Tenendo conto dell’aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), il libro tratta dapprima la progettazione e poi il confronto fra tre diverse soluzioni costruttive applicate ad un medesimo edificio residenziale, sviluppato su quattro livelli, che è stato analizzato nelle seguenti configurazioni:

- a telaio tradizionale in cemento armato con tamponamenti in laterizio e coibentazione “*a cappotto*” (soluzione “*tradizionale*”);
- a pareti in cemento armato realizzate mediante casseri a perdere in polistirolo (soluzione “*innovativa*” ICF);
- a pareti in legno realizzate con pannelli multistrato prefabbricati (soluzione “*innovativa*” X-Lam) e coibentazione a cappotto.

Le tre soluzioni, al fine di poter essere messe a confronto, sono state studiate fissando e mantenendo invariate le caratteristiche dell’edificio sotto il profilo strutturale/sismico (stesso livello di accelerazione applicata, stessi sovraccarichi, stesse caratteristiche del suolo) e termoigrometrico (stessa trasmittanza delle pareti). Dal punto di vista strutturale l’edificio è stato quindi progettato (in tutti e tre i casi) come “*non dissipativo*” (spettro sismico ridotto con $q = 1,5$ o inferiore, in conformità alle NTC 2018) al fine di avvicinare la progettazione al cosiddetto Stato Limite di Operatività e di garantire quindi l’immediata occupabilità dell’edificio in caso di sismi anche di rara intensità. Dal punto di vista termico la trasmittanza adottata per l’involucro è tale da consentire facilmente il raggiungimento della classe energetica A o superiore.

Questa impostazione, che porta al superamento delle richieste prestazionali imposte dalle norme vigenti, è stata scelta poiché si è riscontrato che oggi la società non si accontenta più di prestazioni “*minime*” (termiche e strutturali in particolare), probabilmente a causa della maggiore consapevolezza dell’importanza degli investimenti necessari per costruire, nonché delle ricadute sociali ed ambientali – attuali e future – determinate dall’eventuale inefficienza degli edifici di nuova costruzione.

Ogni tipologia costruttiva presa in esame è stata quindi descritta, qualitativamente, dal punto di vista costruttivo-tecnologico e, analiticamente, per gli aspetti progettuali conseguenti al dimensionamento strutturale.

Ma l’analisi e la descrizione sarebbero risultate prive di utilità se non fosse seguita una attenta comparazione economica. Sono stati perciò computati nei tre casi i materiali, le opere e la manodopera necessari per dare l’opera finita allo stato di “*grezzo strutturale avanzato*” (strutture portanti e coibentazioni) ricavando tabelle sintetiche di “*computo*”, nelle quali ciascun operatore può liberamente inserire i prezzi delle sin-

gole voci, e tabelle sintetiche di “costo”, derivanti da prezziari ufficiali o da analisi prezzi. È stato così possibile ricavare con buona approssimazione la stima del costo dell’edificio realizzato con le tre tipologie costruttive differenti, ma tra loro confrontabili in termini prestazionali.

Al fine di semplificare la trattazione tali analisi non prendono in esame le parti invarianti dell’edificio, ovvero quelle che non cambiano apprezzabilmente tra un sistema costruttivo e l’altro (scavi, rinterrì, impermeabilizzazioni, scale, manto di copertura, ecc.), poiché avrebbero reso di più complessa comprensione gli aspetti principali.

Per scelta editoriale e per evitare condizionamenti, il libro non esprime giudizi espliciti sulla bontà delle tecnologie costruttive analizzate, se non con riferimento alle “quantità” e ai “costi” (dati oggettivi).

La scelta finale deve essere svolta in piena libertà dal lettore, ben sapendo che l’indicatore economico, pur rappresentando il presupposto fondativo delle scelte costruttive, non può prescindere dagli aspetti prestazionali, organizzativi, costruttivi e qualitativi, che tuttavia risultano di difficile quantificazione.

Cristian Angeli

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i seguenti professionisti per i contributi specialistici ricevuti:

- Barbara Laureti;
- Claudio Borghesi;
- Devis Bagnolini;
- Roberto Fodra;
- Roberto Rossi;
- Simone Angeloni.

Un ringraziamento particolare viene rivolto a Bazzica Group con sede in Trevi (PG), azienda produttrice di polistirene espanso e del sistema costruttivo a pareti portanti ICF ITALIA (*www.icfitalia.eu*).

Si ringraziano inoltre le seguenti aziende:

- Alma sca srl, impresa di costruzioni;
- Biocasa srl, impresa di costruzioni;
- Concrete srl, software-house;
- ICF Italia srl, società del gruppo Bazzica;
- Sara Costruzioni srl, impresa di costruzioni;
- 888 Software Products.

Un importante ringraziamento viene rivolto infine a tutti i professionisti, alle imprese di costruzioni e agli investitori che sceglieranno di comprare questo volume.

1

I SISTEMI COSTRUTTIVI SISMORESISTENTI ALLA LUCE DELLE NTC 2018

1.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Anzitutto preme chiarire una questione terminologica in merito alla “*sismoresistenza*”. Le NTC 2018 non chiariscono il significato generale di questa espressione, se non utilizzandolo in modo generico per descrivere le varie tipologie strutturali dotate di “*adeguata capacità in termini di resistenza e di duttilità*”. Nel presente volume con il termine “*sismoresistenza*” si vuole intendere, più in generale, che i sistemi costruttivi oggetto di studio verranno trattati (per convenzione) rinunciando alla duttilità dei materiali (ovvero alla loro capacità di dissipare l’energia sismica attraverso deformazioni plastiche) e quindi escludendo i danneggiamenti strutturali tipici delle strutture antisismiche convenzionali, che rispettano i parametri minimi di sicurezza imposti dalla norma vigente. Le strutture prese in esame, in ognuno dei sistemi costruttivi, verranno pertanto progettate per fronteggiare l’energia che scaturisce dall’evento sismico mediante la loro resistenza: si tratta pertanto di strutture “*sismoresistenti non dissipative*”.

Ciò premesso si può affermare che le NTC 2018 non mutano sostanzialmente il quadro normativo previgente (rappresentato dalle stesse NTC nella versione risalente al 2008), se non chiarendolo e integrandolo maggiormente con le normative comunitarie.

Esse trattano i “*sistemi costruttivi*” all’interno del capitolo 4 identificandoli nelle seguenti macrocategorie:

- 4.1 Costruzioni di calcestruzzo, in cui vengono ricomprese tutte le strutture di cemento armato (intelaiate, a pareti, prefabbricate);
- 4.2 Costruzioni di acciaio;
- 4.3 Costruzioni composte di acciaio-calcestruzzo;
- 4.4 Costruzioni di legno;
- 4.5 Costruzioni di muratura.

Il par. 4.6 delle NTC 2018 è dedicato agli “*Altri sistemi costruttivi*”, che in modo molto sintetico – ma chiaro – vengono descritti come segue, rimandando al capitolo 11 delle norme per la conformità dei materiali impiegati:

Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche, la loro idoneità deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata, ai sensi dell’articolo 52, comma 2, del D.P.R. 380/01, dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio e previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

Si intendono per “sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche” quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle presenti norme tecniche o nei riferimenti tecnici e nei documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme tecniche.

In ogni caso, i materiali o prodotti strutturali utilizzati nel sistema costruttivo devono essere conformi ai requisiti di cui al Capitolo 11.

Per singoli casi specifici le amministrazioni territorialmente competenti alla verifica dell'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni ai sensi del D.P.R. 380/2001 o le amministrazioni committenti possono avvalersi dell'attività consultiva, ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera b), del D.P.R. 204/2006, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che si esprime previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

Seguendo l'impostazione delle norme e osservando che per ciascuno dei sistemi elencati nei paragrafi da 4.1 a 4.5 vengono descritte le modalità di progetto e di verifica agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio, si comprende che *tutti* i sistemi costruttivi contemplati dalle NTC 2018 possono potenzialmente assumere caratteristiche di sismoresistenza. Per assurdo anche quelli in muratura realizzati con elementi naturali, pur con enormi vincoli dimensionali e con necessità di grandi quantità di materiali strutturali.

È utile rimarcare questo concetto, poiché il termine “*sismoresistenza*” viene impropriamente utilizzato da alcuni per identificare sistemi costruttivi innovativi che sembrerebbero possedere, loro e non anche gli altri, prerogative di sismoresistenza. Non è così, ovvero tutti i sistemi contemplati dalle norme possono essere progettati per essere “*resistenti*” al sisma senza danneggiamenti, ciò che cambia sono le possibilità esecutive e i relativi costi, che tuttavia a loro volta dipendono dall'incidenza della manodopera e dei materiali, ovvero anche dal luogo e dal contesto sociale in cui viene realizzata la costruzione.

È evidente che per taluni sistemi (per esempio quelli a pareti di c.a. o di legno) la sismoresistenza è insita nelle loro stesse caratteristiche costitutive e la conseguente progettazione svolta in conformità alle NTC 2018 non determina “*appesantimenti*” realizzativi e aggravati economici, data l'esuberanza di resistenza disponibile rispetto alle pretese. Per altri sistemi (quelli tradizionali a travi e pilastri, per esempio) la sismoresistenza, ottenuta mediante progettazione in campo elastico o semielastico, è una caratteristica che deve essere faticosamente dimostrata, con conseguenti gravami, anche se vedremo nel seguito che, nel caso dell'edificio preso in esame, la progettazione in duttilità del telaio (CD“B”) non avrebbe ottimizzato i quantitativi di materiali strutturali.

Si può quindi affermare che i sistemi costruttivi a pareti, in Italia, beneficiano dell'entrata in vigore delle nuove norme, stanti le forti penalizzazioni che hanno interessato quelli di tipo puntiforme.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2

IL CASO DI STUDIO

In ambito edilizio le comparazioni, per essere rappresentative, devono riferirsi a casi di studio concreti e non essere teoriche o astratte. Si è scelto quindi di fare riferimento ad un progetto “*reale*”, ovvero ad un edificio effettivamente realizzato (con uno dei tre sistemi costruttivi) pochi anni fa.

Trattandosi di un caso reale esso viene presentato tale e quale dal punto di vista architettonico, pertanto con scelte progettuali sicuramente discutibili ma dettate da specifiche esigenze espresse dalla committenza, nonché dall’epoca di costruzione e dal contesto in cui l’edificio è stato inserito.

Il progetto, pur nella sua normalità, risulta in ogni caso sufficientemente rappresentativo poiché presenta caratteristiche morfologiche (luci, altezze, aperture, aggetti, carichi) tipiche di un’edilizia residenziale di “*fascia media*”. Dal punto di vista strutturale presenta caratteristiche di regolarità in pianta e in elevazione che lo rendono idoneo per essere risolto sia con struttura puntiforme che con strutture a pareti.

2.1 DESCRIZIONE DELL’EDIFICIO

Trattasi di edificio quadrifamiliare con destinazione d’uso residenziale collocato all’interno di un tessuto edilizio di espansione, disposto su tre piani fuoriterza e un piano interrato.

Quest’ultimo presenta superficie netta pari a 180 m² circa ed è composto da un unico corpo inscritto in un rettangolo di dimensioni circa 19,90 m*10,75 m. È presente un’ampia area di manovra a sviluppo longitudinale dalla quale si accede a 4 posti auto, di circa 18 m² ciascuno, ad uso esclusivo e alla scala condominiale che conduce al piano primo. Ciascun posto auto, così come l’area di manovra, è dotato di una bocca di lupo. È inoltre presente un piccolo locale accessorio ad uso comune per i rimessaggi condominiali.

La parte in elevazione sviluppa una distribuzione planimetrica articolata in due corpi spazialmente separati ma collegati tra loro da una scala comune.

Per i carichi climatici e per il sisma è stato preso come riferimento il Comune di Rimini, che presenta caratteristiche analoghe ad altre città dell’Emilia-Romagna e delle Marche.

L’edificio comprende 4 unità immobiliari: due su un unico livello, sviluppate al piano terra (appartamenti A e B, Figura 2.1) e altre due, duplex, ai piani primo e secondo

(appartamenti C e D, Figura 2.1), collegate internamente con una scala prefabbricata di tipo leggero (Figura 2.2).

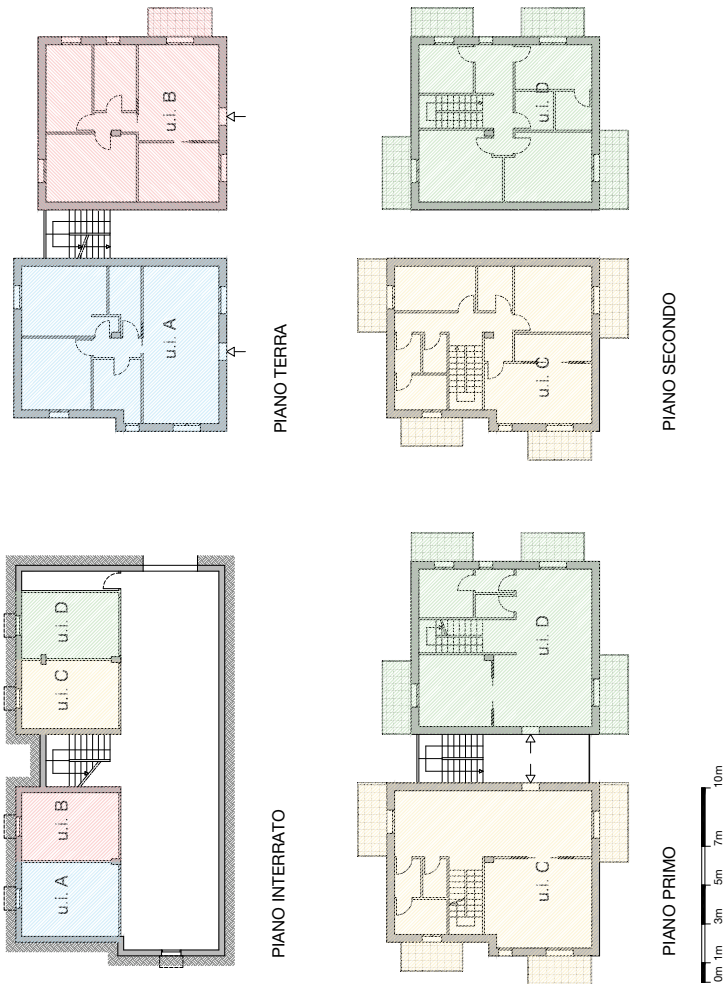


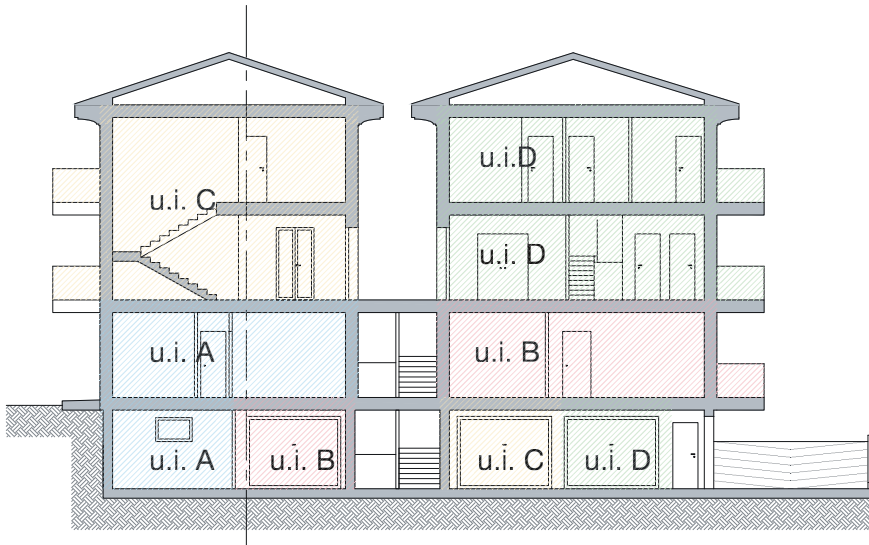
Figura 2.1 - Divisione in pianta delle unità immobiliari

I due corpi fuoriterra presentano un ingombro in pianta pari a $10,95 \text{ m} \times 8,20 \text{ m}$ il maggiore (appartamenti A e C) e $9,70 \text{ m} \times 8,90 \text{ m}$ il minore (appartamenti B e D). La differenza di superficie tra le varie unità immobiliari risulta nettamente marcata, in quanto quelle distribuite su un unico livello (piano terra) presentano superficie lorda pari a 90 m^2 circa la maggiore (u.i. A) e 80 m^2 circa la minore (u.i. B), mentre le due duplex (piani 1° e 2°) risultano di superficie circa doppia rispetto alle unità sottostanti. La scelta progettuale di suddivisione degli appartamenti deriva dalla necessità di ac-

cogliere negli appartamenti più grandi i proprietari (duplex, u.i. C e D) e di destinare alla vendita le due unità più piccole poste al piano terra (u.i. A e B).

L'unità A, con accesso indipendente dalla corte esterna, presenta un *open space* nella zona giorno (cucina e soggiorno) e nella zona notte, alla quale si accede attraverso il disimpegno, due ampie camere da letto, un ripostiglio e un bagno.

L'unità B, anch'essa con ingresso indipendente al piano terra, è composta, nella zona giorno, da cucina e soggiorno con balcone, e, nella zona notte, da due ampie camere da letto e un bagno.



SEZIONE A-A

Figura 2.2 - Divisione in altezza delle unità immobiliari

Nel caso invece delle unità immobiliari C e D, con metratura maggiore e alle quali si accede tramite scala condominiale esterna, la maggiore disponibilità di superficie ha consentito di organizzare una zona giorno molto ampia al piano primo e la zona notte al piano secondo.

L'unità C, di circa 180 m², presenta quindi al piano primo un ampio soggiorno, una cucina, un ripostiglio e un bagno con antibagno, mentre il piano superiore, al quale si accede tramite una scala interna, è composto da due camere da letto singole, una camera da letto matrimoniale con cabina armadio, due bagni di cui uno con antibagno e un ripostiglio.

In modo del tutto analogo l'unità D, di circa 170 m², presenta al piano primo un soggiorno molto ampio, cucina, ripostiglio e bagno preceduto da antibagno; al piano superiore, dove si sviluppa la zona notte e al quale si accede anche in questo caso attraverso una scala interna prefabbricata, dispone di tre camere da letto di cui una con bagno esclusivo, ripostiglio e bagno di piano.

In entrambe le unità C e D sono presenti dei balconi delimitati da una ringhiera metallica, a servizio dei locali soggiorno, cucina, delle tre camere da letto e dei due bagni posti al piano secondo, aventi anche una funzione di lavanderia/stenditoio. La copertura è a falde riportate su un solaio piano, in entrambi i corpi di fabbrica.

Tabella 2.1 - Superfici nette ai vari piani (compresi balconi)

	Superficie (in m ²)
Piano interrato	180
Piano terra	172
Piano primo	212
Piano secondo	187
Totale	751
Solaio piano copertura (non calpestabile)	150

2.2 PROGETTO ARCHITETTONICO

Si riportano i disegni desunti dal progetto architettonico dell'edificio oggetto di studio, opportunamente semplificati per facilitarne la lettura in formato ridotto.

Essi comprendono:

- pianta del piano interrato;
- pianta del piano terra;
- pianta del piano primo;
- pianta del piano secondo;
- pianta della copertura;
- prospetto laterale;
- prospetto del fronte;
- sezione longitudinale.

Questi disegni sono stati utilizzati per svolgere la progettazione strutturale successivamente descritta per le varie tipologie costruttive prese in esame e per i disegni esecutivi degli impalcati, seppur con alcuni adattamenti dimensionali derivanti dagli spessori delle pareti propri di ciascun sistema. In base ad essi sono state inoltre ricavate le quantità di cui ai computi metrici di raffronto.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3.3 DISEGNI ESECUTIVI

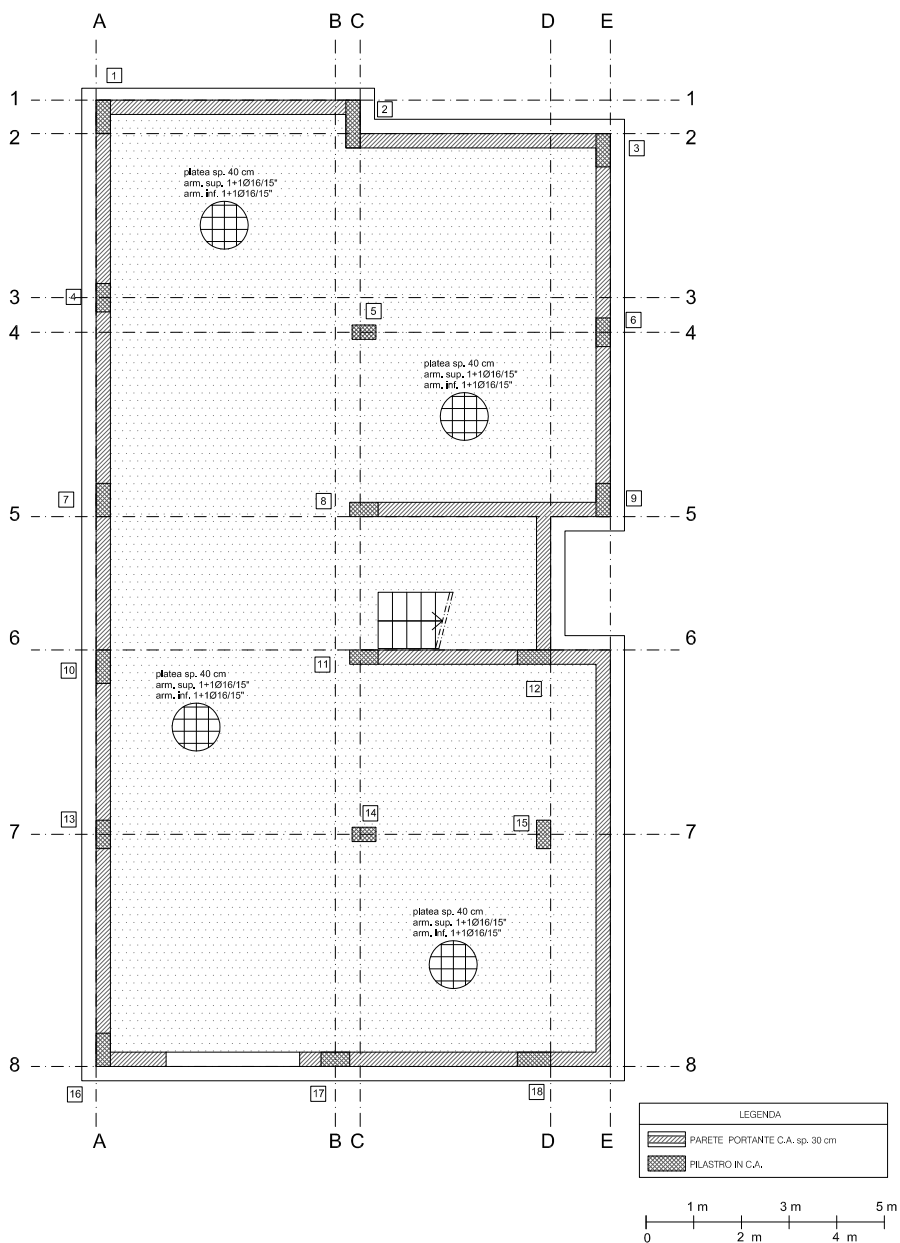


Figura 3.6 - Platea e piano interrato

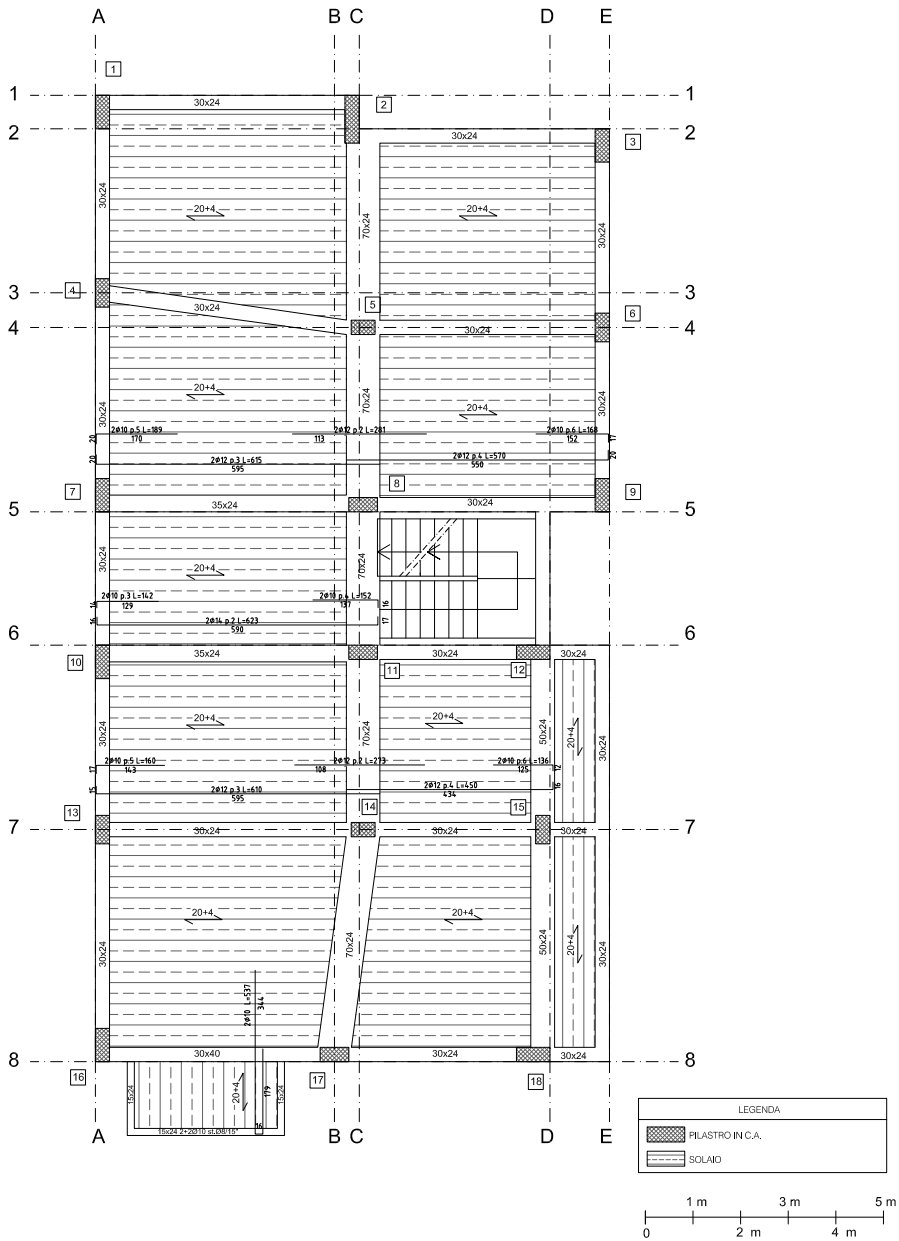


Figura 3.7 - Impalcato piano terra



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.6 COMPUTO METRICO ESTIMATIVO

Si riportano in questo paragrafo i dati sintetici riferiti ai materiali strutturali necessari per la realizzazione dell'opera con sistema ICF e ai relativi costi, desunti dal noto *Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche della Regione Emilia-Romagna*, edizione 2015.

La Tabella 4.10 è riferita ai materiali, ovvero al cls e all'acciaio necessari per realizzare i vari elementi tecnici, opportunamente raggruppati tra loro. In base ad essa è possibile ricavare facilmente l'incidenza di acciaio derivante dalla progettazione svolta in conformità alle NTC 2018 e confrontarla con quella relativa agli altri sistemi costruttivi.

Tabella 4.10 - Computo metrico materiali strutturali sistema ICF

COMPUTO MATERIALI STRUTTURALI SISTEMA ICF		
elemento tecnico	acciaio (kg)	cls (mc)
Platea	10900	79
Travi ai vari piani	7092	44
Solai ai vari piani	3200	42
Pareti piano interrato	3430	37
Pareti piani fuori terra	5954	99
Pilastrini ai vari piani	557	3,8
Cornicione	1199	15
Totale	32332	319,8

Nella Tabella 4.11 alla pagina a fianco è riportato invece il computo metrico estimativo riferito, anche qui, ai materiali necessari per la realizzazione di gruppi di elementi tecnici (fondazioni, pareti, ecc.). Come al capitolo 3, per ragioni di spazio e per facilitare la lettura, si è ritenuto di non esporre un vero e proprio computo metrico completo delle voci, bensì di riportare solo i riferimenti ai codici desunti dal prezziario.

In merito alla strutturazione delle voci si evidenzia che, al fine di allineare la computazione con quanto previsto da prezziario nel caso delle coibentazioni tradizionali a cappotto (presenza di una prerassatura nella voce), è stata aggiunta la voce A08043b che prevede appunto l'applicazione di una rete in fibra di vetro sopra al materiale isolante che costituisce il pannello ICF esterno.

Emerge quindi che l'importo delle opere necessarie per realizzare il progetto con sistema costruttivo ICF ammonta ad euro 198.000,00 circa, oltre IVA.

Le quantità sono state ricavate dai progetti per via manuale o tramite il software Simicad, ma si segnala che è disponibile un utile e specifico strumento di computazione delle armature presenti nelle strutture a pareti ICF, liberamente fruibile nel sito dell'autore www.icfpro.it alla pagina <http://www.icfpro.it/approfondimenti/computo-delle-armature-di-pareti-icf/>.

Tabella 4.11 - Computo metrico estimativo struttura ICF allo stato “grezzo coibentato”

COMPUTO STRUTTURA ICF						
elemento tecnico	materiale/prodotto	rif. Prezziario	udm	quantità	prezzo unitario	prezzo
FONDAZIONI IN C.A.	cls	A03018a	mc	79	157,31 €	12.427,49 €
	acciaio da c.a.	A03029c	kg	10900	1,34 €	14.606,00 €
	casserature in legno	A03020a	m ²	23	36,57 €	841,11 €
PARETI IN C.A., VARI PIANI	cls	A03019a	mc	135	164,70 €	22.234,50 €
	acciaio da c.a.	A03029c	kg	9384	1,34 €	12.574,56 €
	casserature ICF 7,5/20/7,5	NP	m ²	188	56,67 €	10.653,96 €
	casserature ICF 10/15/7,5	NP	m ²	643,2	62,92 €	40.470,14 €
PILASTRI IN C.A., AI VARI PIANI	cls	A03019a	mc	3,8	164,70 €	625,86 €
	acciaio da c.a.	A03029c	kg	557	1,34 €	746,38 €
	casserature in legno	A03022a	m ²	41	37,98 €	1.557,18 €
SOLAI E TRAVI IN C.A., AI VARI PIANI	cls	A03019a	mc	86	164,70 €	14.164,20 €
	acciaio da c.a.	A03029c	kg	10295	1,34 €	13.795,30 €
	casserature travi (in legno)	A03023b	m ²	178	29,11 €	5.181,58 €
	pannelli ICF per solai	A06017a	m ²	647	55,71 €	36.044,37 €
CORNICIONE IN C.A.	cls	A03019a	mc	15	164,70 €	2.470,50 €
	acciaio da c.a.	A03029c	kg	1199	1,34 €	1.606,66 €
	casserature in legno	A03023b	m ²	97,1	29,11 €	2.826,58 €
RASATURA PARETI, AI VARI PIANI	rete in fibra di vetro	A08043b	m ²	869	5,84 €	5.074,96 €
TOTALE						197.901,34 €

Tale strumento consente anche di tener conto dei c.d. “ferri di ripresa”, dei “ferri di cucitura” e dei “ferri di riquadratura delle aperture”, tipici delle strutture a pareti in c.a., e fornisce come risultati:

- il volume di cls;
- la superficie complessiva dei casseri ICF (facce bagnate);
- il peso totale delle armature e l’incidenza rispetto al cls.

Infine si evidenzia, nel caso di strutture a pareti realizzate con sistemi costruttivi ICF, l’importanza di effettuare una corretta e completa rappresentazione delle stesse, al fine di rendere facilmente comprensibile il progetto ed i particolari costruttivi, anche ai fini delle eventuali computazioni.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



6

COMPARAZIONE TRA LE VARIE SOLUZIONI PROGETTUALI

La finalità del presente lavoro, più volte chiarita, è quella di raffrontare tre soluzioni costruttive, tra di loro equiparabili in termini di efficienza energetica e di sicurezza strutturale (costruzioni sismoresistenti), applicate ad uno stesso edificio multipiano residenziale.

È stata a tal fine svolta la progettazione esecutiva per dimensionare le strutture portanti e determinare la quantità e la tipologia dei materiali necessari a realizzarle, oltre a quelli isolanti per ottenere le prestazioni termiche prefissate per l'involucro edilizio (pareti con trasmittanza dell'ordine di $0,18 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ e solai con trasmittanza $0,31 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$).

Questo approccio e i dati ricavati, a tratti inevitabilmente teorici, sono stati riscontrati anche presso imprese di costruzioni specializzate nella posa in opera delle tecnologie prese in esame, alle quali è stato chiesto di effettuare dei preventivi sulla base dei computi e dei progetti illustrati nella presente trattazione. Tali preventivi hanno consentito di confermare gli scostamenti percentuali ricavati tramite computazione analitica con impiego del prezzario, pur portando in termini assoluti a valori di costo più bassi di circa il 10% rispetto a quelli ricavati applicando i prezzi delle opere pubbliche.

6.1 COMPARAZIONE TECNICO-COSTRUTTIVA

Delle modalità costruttive tipiche dei tre sistemi si è diffusamente parlato nei capitoli 1 e 2, mentre i risultati dei calcoli strutturali possono essere desunti dai successivi capitoli 3, 4 e 5 dai quali emerge, in termini di resistenza, che la struttura ICF presenta il rapporto più favorevole tra sollecitazioni e capacità resistente dei materiali, nonostante l'applicazione di un fattore di comportamento inferiore agli altri, ovvero essendo stata progettata in campo elastico ($q = 1$ per ICF e $1 < q < 1,5$ per gli altri). Dal punto di vista deformativo emerge che le due strutture a pareti (ICF e legno) presentano pressoché gli stessi spostamenti (circa 10 mm), a differenza di quella tradizionale che presenta deformazioni più che doppie. A proposito delle deformazioni è giusto osservare che nel caso della struttura in legno non è stato preso in considerazione al capitolo 5 il contributo derivante dai collegamenti in acciaio, poiché non apprezzabile mediante il software di calcolo utilizzato. Tale contributo è stato oggetto di separate valutazioni, dalle quali è emerso che può assumere valori dello stesso ordine di grandezza di quelli complessivi ricavati per la struttura supposta solidalmente collegata ai piani, portando quindi al raddoppio dei valori illustrati nello stesso capitolo 5. Con l'aggiunta di tale

contributo deformativo la struttura in legno verrebbe ad assumere spostamenti dell'ordine dei 20 mm e, di conseguenza, la struttura ICF risulterebbe la meno deformabile fra le tre prese in esame, come confermato anche dall'osservazione dei valori degli spostamenti di interpiano, che risultano più bassi (spostamenti di interpiano struttura ICF 0.0005) rispetto a quelli della soluzione tradizionale e X-Lam (rispettivamente 0.0022 e 0.0009).

Tabella 6.1 - Fattori di comportamento, spostamenti massimi in SLV e spostamenti di interpiano in SLD per ogni sistema costruttivo

	Tradizionale	ICF	X-Lam
Fattore di comportamento (q)	1,5	1,0	1,33
Spostamenti massimi (cm)	3,2	1,25	1,01
Spostamenti relativi di interpiano	0.0022	0.0005	0.0009

Nel caso della struttura ICF il fattore q assume il valore più basso ($q = 1$, progettazione in campo elastico), ovvero il sisma applicato per la progettazione è maggiore rispetto agli altri.

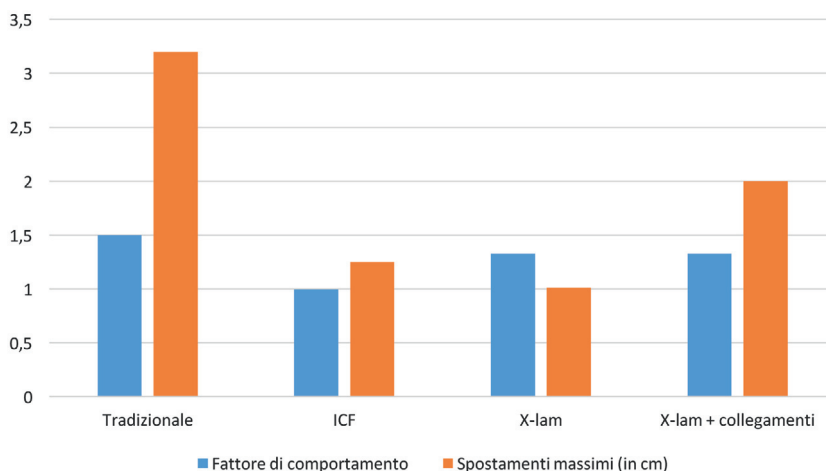


Figura 6.1 - Raffronto degli spostamenti in relazione ai fattori di comportamento applicati (Per il sistema X-Lam è stato rappresentato sia il caso con le pareti solidalmente collegate, oggetto di calcolo analitico al cap. 5, sia il caso con aggiunto il contributo deformativo derivante dai collegamenti, mentre nel caso del X-Lam lo spostamento massimo non tiene conto del contributo deformativo derivante dai collegamenti.)

Nel caso della struttura tradizionale non si può non evidenziare l'enorme quantità di armatura richiesta dal calcolo, già stimata in termini di costi diretti, e difficilmente attuabile nei nodi, come rappresentato nelle Figure 3.11 e 3.12, che si traduce in un notevole impiego di manodopera specializzata. A proposito della struttura tradizionale occorre inoltre notare che, per necessità di semplificazione, si è omesso di verificare