

I sistemi costruttivi a pareti portanti

a cura di Cristian Angeli

Tratto da

Sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato



Prontuario tecnico

I sistemi costruttivi a pareti portanti

a cura di Cristian Angeli

CAPITOLO 1

I SISTEMI COSTRUTTIVI A PARETI PORTANTI

1.1 PREMESSA

La storia delle costruzioni è rimasta pressoché immutata per molti secoli, sostanzialmente fino agli inizi del Novecento, quando si è assistito ad un repentino cambiamento di tecniche e materiali, diretta conseguenza dell'industrializzazione. Fino agli inizi del Novecento, salvo casi sporadici, il concetto di “*costruzione*” era, nel sud dell'Europa, coincidente con quello di “*costruzione a pareti portanti*” in muratura. Chiese, cattedrali, abbazie, aggregati edilizi, vedevano la coincidenza tra il sistema atto a portare i solai (muratura in pietrame, in mattoni, in terra, ecc.) e il sistema di chiusura, finalizzato a racchiudere uno spazio e a proteggere l'uomo dall'esterno.

I sistemi costruttivi a pareti portanti non sono quindi una invenzione recente e possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie:

- in pietrame;
- in laterizio;
- in legname;
- in cls gettato in opera.

Le tipologie sopra elencate, seppur molto differenti tra loro, provano la validità del concetto di “*costruzione a pareti*”, nonostante le profonde trasformazioni che esse hanno subito a livello tecnologico nell'ultimo secolo in relazione al livello di evoluzione scientifico e culturale della società che le ha utilizzate.

Altri sistemi costruttivi a pareti hanno trovato diffusione in Europa meridionale in tempi più recenti e hanno avuto un buon riscontro in specifici settori dell'edilizia. Tra questi:

- pareti in pannelli prefabbricati di cls;
- pareti in cemento armato gettato in opera mediante l'uso di casseri “*a perdere*”.

Pur rimanendo in ambito di metodi costruttivi a pareti portanti il fascino della “*pesantezza*” del passato – tipico delle costruzioni in muratura (di pietrame o di laterizio) – ha così, a poco a poco, ceduto il passo ad altre metodologie, frutto dello sviluppo tecnologico e della lavorazione industriale dei materiali.

Restringendo il campo di trattazione al caso delle strutture a pareti portanti in cemento armato e prescindendo per un attimo dalla tipologia di cassetture utilizzate per eseguire i getti (tradizionali o mediante pannelli variamente prefabbricati e di diversi materiali), esse hanno avuto diffusione a partire dalla seconda metà del Novecento, quando il cls divenne un materiale prodotto industrialmente a prezzi contenuti. Dopo alcune sperimentazioni e applicazioni avveniristiche svolte da pionieri illustri quali Le Corbusier e Nervi, si assistette all'uso di pareti in cls gettato in opera per realizzare edifici in linea e scuole, ovvero edifici caratterizzati da una certa ripetitività delle forme, con il fine principale di velocizzare l'esecuzione. Trattandosi di anni antecedenti alla prima crisi energetica del 1973, le pareti in cls potevano essere lasciate addirittura a vista, del tutto prive di coibentazioni e senza necessità di finiture ulteriori, determinando un metodo costruttivo di fatto più veloce ed economico di quelli tradizionali. Gli esempi di architetture di questo tipo nel nostro paese sono numerosi.



Figura 1.1 - Plesso scolastico a pareti portanti in cemento armato realizzate in opera di spessore 20 cm sito a Novafeltria (RN).

Prima del 1950-1960 il cls era invece un materiale di nicchia, costoso e di non semplice reperibilità, il cui impiego poteva essere giustificato solo per la costruzione di edifici intelaiati a travi e pilastri, visti i modesti quantitativi necessari per realizzare fabbricati di dimensioni importanti, che ne ammortizzavano il costo.

1.2 L'INDUSTRIALIZZAZIONE DEI SISTEMI A PARETI PORTANTI

Dopo questi esordi le strutture a pareti portanti gettate in opera con interposti isolamenti si sono rapidamente evolute, anzitutto per la presa di coscienza della limitatezza delle fonti energetiche e per la contemporanea industrializzazione di tutti i procedimenti produttivi, che ha messo a disposizione del settore edile prodotti semilavorati e dispositivi tecnici di varia natura. Mediante un processo di somma di parti, di accoppiamento di “pezzi” di tecnologia più evoluta con altri “pezzi” di tecnologia tradizionale, in una sorta di compenetrazione tecnologica e di “combinazione” sotto il profilo prestazionale, si è arrivati per intuizione di vari “inventori” (si veda il capitolo 21 del presente volume), agli attuali ed efficientissimi sistemi ICF che coniugano le proprietà delle pareti in cemento armato con quelle dei casseri isolanti. **I sistemi ICF hanno quindi introdotto nella storia dell’edilizia un concetto di innovazione in realtà unico nel suo genere poiché uniscono il provvisorio e il definitivo, precostituendoli tra loro e sfruttandone al massimo le potenzialità.**

1.2.1 Sistemi prefabbricati

Con il termine “sistemi prefabbricati” si identificano quei manufatti (pannelli in cls) che vengono prodotti industrialmente fuori opera per poi essere assemblati in cantiere mediante getti integrativi di modesta importanza (sistemi “a nodo umido strutturale”). L’azione del costruire, in questo caso, è perciò impostata secondo metodi tipici dell’industria, ovvero basati sulla produzione in serie.

I limiti della prefabbricazione, come noto, risiedono nella necessità di programmare il ciclo produttivo

in ogni sua parte – tecnica, economica, temporale – nonché nella necessità di progettare in modo invariabile l'edificio.

I sistemi a pareti portanti realizzati mediante casseri ICF (che sfruttano solo in parte la prefabbricazione per realizzare i casseri a perdere) sono stati per anni confusi e assimilati, anche a livello normativo (C.M. 11 agosto 1969, n. 6090; istruzioni CNR n. 10025 del 1984), ai sistemi prefabbricati a grandi pannelli di cls, in realtà molto diversi sia dal punto di vista concettuale, sia esecutivo, sia di comportamento strutturale.

Solo per inquadrare l'argomento si ricorda che questi ultimi si sono diffusi nel secondo dopoguerra, sotto l'impulso della ricostruzione del patrimonio edilizio distrutto dagli eventi bellici. Il primo settore della prefabbricazione che si è sviluppato è stato quello della componentistica per i solai, con il fine di risparmiare sull'uso delle cassetture, riducendo le lavorazioni in opera a semplici getti integrativi.

È interessante a tal fine notare il nome storico del primo prefabbricato per solai, denominato appunto SAP, che è l'acronimo di Senza Armatura Provvisoria.

La prefabbricazione interessò successivamente il settore industriale e quello delle travi da ponte, fino agli anni '60 quando arrivò l'eco della esperienza di realizzazione di grandi pannelli per la costruzione di edilizia residenziale prefabbricata, che aveva preso piede in vari paesi dell'Est Europa. Tuttavia, in Italia vennero sovrastimati sia la domanda di case sia l'impatto di tali sistemi sull'architettura ottenibile con i nuovi metodi, come testimoniano, loro malgrado, le periferie di molte nostre città e i connessi consumi energetici, visti gli scarsi benefici derivanti dall'uso di cls cellulare di argilla espansa.

Dopo queste sperimentazioni poco fruttuose, si assistette ad una evoluzione progressiva che portò all'affermazione della prefabbricazione nel settore dell'edilizia industriale e artigianale (capannoni). In ambito residenziale invece trovarono mercato solo due tipologie di prefabbricati, che si sono imposti grazie alla indiscutibile razionalizzazione del processo costruttivo, alla loro economicità e, soprattutto, grazie alle luci copribili e alla resistenza al fuoco: le lastre predalles e i pannelli alveolari.

1.2.2 Sistemi parzialmente prefabbricati

Nel tempo il concetto di prefabbricazione, preso atto dei limiti sopra accennati, è stato orientato verso lo sviluppo di sistemi costruttivi a maggiore specializzazione tecnologica, abbandonando di fatto l'obiettivo di imporre l'uso dei pannelli in cls in ambito di edilizia residenziale, caratterizzato da sempre crescenti richieste di qualità prestazionale e dalla necessità di frequenti adattamenti in ambito progettuale ed esecutivo.

È così che hanno preso piede, con modalità che illustreremo meglio nel seguito, i sistemi costruttivi che sfruttano i benefici indotti dai processi industriali, in termini di precisione e affidabilità dei risultati, senza tuttavia essere ostacolati da logiche vincolanti di standardizzazione delle forme. Nacquero così numerosi prodotti semilavorati, precisi, economici ed affidabili, da completare in opera con operazioni di assemblaggio e finitura tipiche dell'edilizia tradizionale, consentendo quindi libertà compositiva, possibilità di adattamenti e al contempo qualità esecutiva. Tali sistemi si affermarono dapprima nel settore dei solai (casceforme nervate autoportanti) e poi si estesero anche a quello delle strutture verticali.

In questo scenario i sistemi ICF si collocano a pieno titolo come una tecnologia che sfrutta i vantaggi della "parziale prefabbricazione" per quanto riguarda la realizzazione del cassero in polistirolo "a perdere", che risulta pertanto garantito in termini di qualità/quantità produttiva e precisione dimensionale, nonché dotato di caratteristiche che semplificano le operazioni di cantiere. Tali caratteristiche, derivanti appunto dalla prefabbricazione industriale e che minimizzano le possibilità di errori in cantiere, sono le seguenti:

- dimensioni e spessore dei pannelli in EPS, con tolleranze infinitesime;
- planarità dei pannelli in EPS, grazie ai precisi sistemi di incastro;
- spessore del cls, prestabilito mediante gli appositi elementi distanziali di lunghezza modulare;
- posizionamento dei ferri orizzontali di armatura, sostenuti dai distanziali nelle esatte posizioni;
- predisposizione di elementi interni e caratteristiche atte a favorire le fasi di finitura.

Il rigore dei processi industriali di produzione dei pannelli – che pertanto definisce le caratteristiche sopra elencate (parziale prefabbricazione) – è garanzia di qualità dell'"elemento parete" successivamente completato in cantiere mediante operazioni di assemblaggio molto semplificate rispetto a quelle dell'edilizia tradizionale o prefabbricata.

1.3 COSTITUZIONE DEI SISTEMI ICF

Concettualmente i sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato ICF offrono la possibilità di realizzare pareti e solai mediante cassetture isolanti “*a perdere*”, autoportanti, realizzate in polistirolo, che sfruttano la resistenza offerta da quest’ultimo per contenere il calcestruzzo fluido fino alla sua completa maturazione, che avviene in condizioni ottimali di umidità e di temperatura.

Nel caso delle pareti essi sono costituiti da:

- pannello in polistirene esterno;
- parete in c.a.;
- pannello in polistirene interno;
- connettori interni (anche detti “*distanziali*” o “*distanziatori*”, solitamente in materiali plastici oppure in metallo).

Il pannello di polistirene esterno presenta spessore solitamente maggiore di quello interno per ottimizzare la capacità di accumulo termico della parete.

I distanziali, mediante la loro particolare conformazione, hanno la funzione di determinare il corretto e preciso posizionamento del ferro orizzontale di armatura (passo e copriferro) e di collegare i due pannelli in polistirolo, essendo dimensionati per resistere alla spinta idrostatica del cls. I distanziali possono essere preinglobati in modo fisso nei pannelli ICF in fase di stampaggio (caso dei “*pannelli preassemblati*”) oppure possono essere inseriti successivamente in fase di montaggio (caso dei “*pannelli da assemblare in cantiere*”). In alternativa possono essere uniti ai pannelli in EPS mediante meccanismi di incernieramento “*apri e chiudi*”, consentendone la riduzione di ingombro ai fini del trasporto.

La lunghezza dei distanziali, che determina lo spessore del setto in cls in funzione dell’impegno statico della parete, è variabile da un minimo di 15 cm (minimo fissato dalla normativa per pareti in c.a.), fino a un massimo di 30 cm, a seconda dei vari sistemi ICF.

Si comprende quindi che l’innovazione connessa a tali sistemi non sta nei materiali di base, che sono del tutto tradizionali (polistirolo, cls e acciaio), bensì nel fatto che i materiali isolanti vengono posti in opera prima del getto di cls e che permangono inglobati nella parete e nel solaio con funzione temporanea di cassetture e con funzione definitiva di coibentazione.

Il procedimento costruttivo in cantiere prevede pertanto dapprima la posa in opera “*a secco*”, a corsi successivi, dei pannelli ICF, poi delle armature metalliche, la piombatura dell’insieme e, successivamente, il getto, che può essere effettuato in unica soluzione per ogni piano dell’edificio (fino a un massimo consigliato di circa 4 m). La Figura 1.2 mostra la sezione tipica di una parete ICF con i vari materiali che la compongono e mette anche in evidenza il posizionamento dei ferri orizzontali in modo “*sfalsato*” mediante le apposite sedi preformate nei distanziali. Tale caratteristica consente di creare una “*asola*” per l’inserimento e il mantenimento in posizione delle armature verticali, che vengono calate dall’alto una volta giunti in quota con il montaggio dei pannelli (si veda più avanti il capitolo 3).

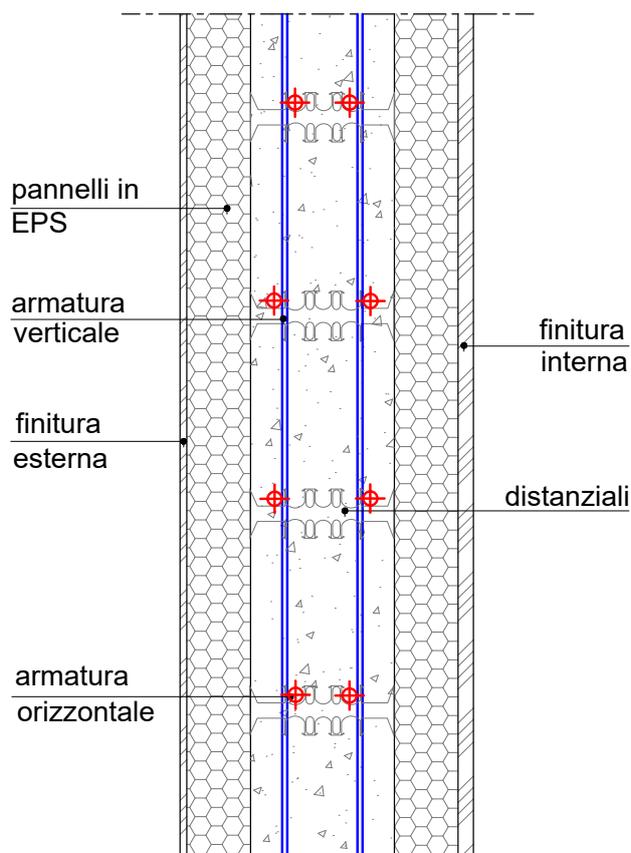


Figura 1.2 - Sezione verticale di una parete ICF con i vari strati che la compongono. Visibili i ferri orizzontali sfalsati (in rosso) per l'inserimento di quelli verticali (in blu).

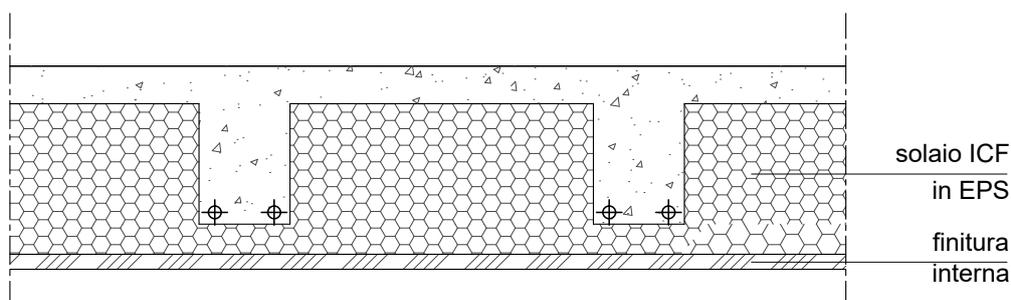


Figura 1.3 - Sezione schematica di un solaio ICF e dei vari strati che lo compongono.

Quanto detto sopra è vero a livello intuitivo, ma nella realtà il pacchetto così costituito contiene un elevato grado di ingegnerizzazione poiché i pannelli ICF risultano elementi multifunzionali che comprendono le seguenti ulteriori predisposizioni:

- per il fissaggio delle finiture in lastre di cartongesso, fibrogesso o similari;
- per la formazione delle tracce;
- per il fissaggio di elementi sospesi;
- per la rasatura con collanti, resine, intonaci e rivestimenti.

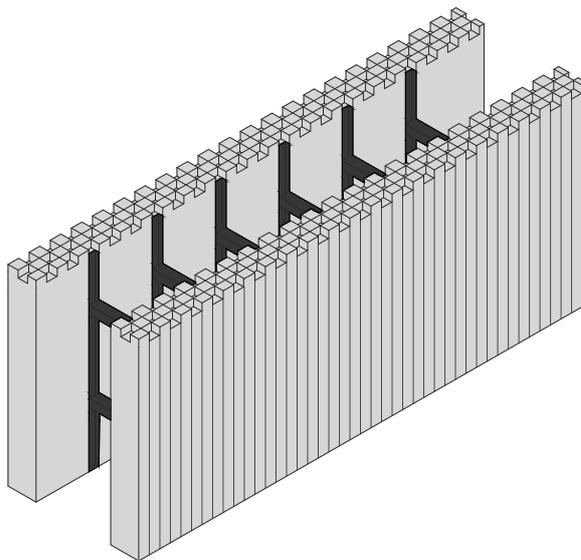


Figura 1.4 - Vista di un pannello ICF.

I pannelli ICF, unitamente agli elementi distanziali interni e ai supporti interni al polistirolo ove essi sono fissati, rappresentano quindi il risultato di profonde attività di ricerca e sperimentazione svolte dalle aziende di settore che hanno tenuto conto dei seguenti fattori essenziali:

- giusta tipologia dei materiali da utilizzare (polistirolo della giusta qualità e densità, distanziali di dimensioni e materiali sufficientemente resistenti);
- norme vigenti in ambito strutturale (in base alle quali viene determinato lo spessore di cls e la geometria dell'elemento connettore);
- norme vigenti in materia di risparmio energetico (per determinare lo spessore e le combinazioni dei pannelli isolanti);
- altezza dei pannelli e modularità di incastro degli stessi.

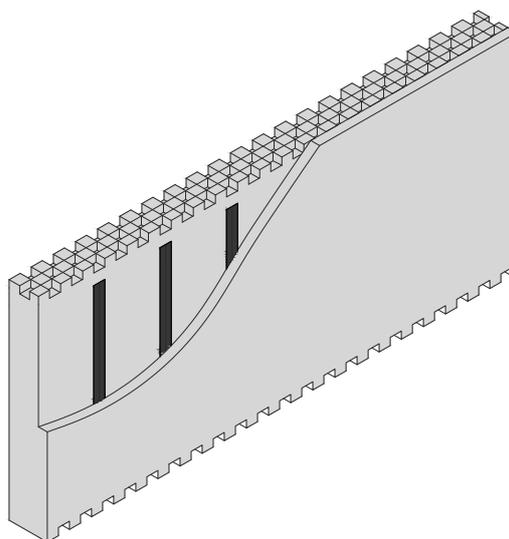


Figura 1.5 - Spaccato di un pannello ICF: in evidenza i supporti interni di irrigidimento e fissaggio.

Ovviamente questi fattori non sono universali, ma devono essere definiti in funzione dell'ambito geografico in cui si ritiene che il sistema ICF debba essere prevalentemente utilizzato. Questo perché ogni Stato ha le sue norme, che possono risultare anche molto diverse le une dalle altre.

Per completezza di trattazione, in merito alla possibile “*costituzione*” dei pannelli ICF, occorre dire che ne esistono alcune varietà (presenti solo marginalmente nel mercato italiano) realizzate con altri materiali:

- poliuretano espanso;
- fibra di legno cemento;
- cemento alleggerito con perle di polistirene;
- calcestruzzo cellulare.

1.3.1 Il polistirene

I sistemi ICF oggetto del presente volume, come già precisato, sono costituiti da pannelli in polistirene espanso (EPS - *Expanded polystyrene*), materiale sufficientemente resistente alle sollecitazioni indotte dal cls in fase di getto ed estremamente prestazionale sotto il profilo dell'isolamento termico.

Si ritiene quindi opportuna una breve descrizione di questo materiale al fine di citarne le principali caratteristiche che, qualora d'interesse, potranno essere approfondite nella letteratura specializzata edita dalla Associazione italiana polistirolo espanso (www.aipe.biz).

Il polistirene (o polistirolo) espanso è un materiale rigido, di peso ridotto composto da carbonio, idrogeno e per il 98% da aria; deriva dalla trasformazione dello stirene monomero, ricavato da fonte fossile (petrolio). Attraverso la polimerizzazione dello stirene si ottiene il polistirene, sotto forma di piccole perle trasparenti.

Il processo di trasformazione mette a contatto le perle di polistirene con il pentano (idrocarburo gassoso) in concentrazione variabile dal 2% all'8% e vapore acqueo a temperatura superiore a 90 °C, determinando un rigonfiamento (espansione) delle stesse fino a 20-50 volte rispetto al loro volume iniziale.

La fase successiva, detta sinterizzazione, è il processo di saldatura delle perle di polistirene espanso che, sottoposte nuovamente all'azione del vapore acqueo a temperatura compresa tra 110 e 130 °C, si uniscono definitivamente dando origine ad un blocco omogeneo e compatto. Si forma così una struttura solida a cellule chiuse che imprigionano al proprio interno l'aria impedendone qualsiasi moto convettivo, con eccellenti proprietà di isolante termico.

Per le applicazioni più comuni la sua massa volumetrica è compresa tra 10 e 40 kg/m³. Non ha odore e non costituisce nutrimento per alcun essere vivente, rendendo nulla la possibilità di aggressioni biologiche di muffe e microorganismi; non rilascia nessun tipo di gas o sostanza tossica in grado di inquinare o compromettere l'igiene ambientale. Chimicamente inerte rispetto a molti agenti corrosivi, è solubile solo in sostanze come eteri, esteri e chetoni, composti organici alogenati, idrocarburi, combustibili liquidi e solventi.

Le principali caratteristiche tecniche sono la leggerezza, la buona resistenza a sollecitazioni meccaniche, l'ottima capacità di isolamento termico, la stabilità dimensionale, l'impermeabilità all'acqua ed allo stesso tempo la buona permeabilità al vapore acqueo (traspirabilità), nonché la durata delle suddette proprietà nel tempo. Il polistirene espanso è totalmente riciclabile alla fine del suo ciclo di vita.

I test svolti sull'influenza di fattori ambientali quali umidità, normali temperature di esercizio, sollecitazioni di lavoro, dimostrano che l'EPS è in grado di garantire per un periodo illimitato le prestazioni iniziali richieste. Ciò è ampiamente confermato da anni di esperienze applicative e verifiche su materiali posti in opera da decenni. Sono quindi da confutare decisamente le voci di scarsa stabilità nel tempo o possibilità di sublimazione. Limitati deterioramenti, per lo più superficiali, si osservano a causa di lunghe esposizioni ai raggi UV.

L'EPS è un materiale completamente riciclabile. Gran parte delle aziende del settore si occupa di tale pratica con il fine del totale riutilizzo. Esistono diverse tecniche di riciclaggio, dalla più comune frantumazione e miscelazione con materiale vergine per nuove produzioni alla compattazione per estrusione da cui si ricava materiale pesante utilizzato in numerosi processi di trasformazione dei prodotti plastici. Sono in essere diversi studi, alcuni già in fase sperimentale avanzata, volti a dare nuova vita ai derivati del riciclaggio del polistirene espanso.

Essendo composto da carbonio ed idrogeno è per sua natura un materiale combustibile. La combustione avviene al raggiungimento dei 230-260 °C, con relativa emissione di vapori infiammabili, mentre solo al raggiungimento dei 450 °C si ha l'accensione e la fiamma si propaga spontaneamente se vi è sufficiente apporto di ossigeno. Per tale motivo in alcune applicazioni, l'edilizia fra tutte, viene utilizzato il polistirene (EPS/RF) a ritardata propagazione di fiamma, ottenuto con opportuni additivi idonei a inibire la combustione.

Per le proprie caratteristiche il polistirene espanso viene utilizzato in ambiti estremamente diversificati.

Molto diffuso è l'uso nel settore degli imballaggi industriali, in quello alimentare per contenitori atti al trasporto e alla conservazione dei prodotti, in agricoltura e vivaistica per preformati, nell'industria siderurgica per processi di fonderia detti a microfusione (*lost foam*), nella realizzazione di scenografie per eventi dello spettacolo e nel cinema, per ultimo quello dove negli ultimi anni ha avuto il maggior sviluppo, ovvero l'edilizia.

Per quest'ultima applicazione la norma europea di riferimento è la EN 13163 che definisce l'EPS in base alla resistenza a compressione e flessione e non più per massa volumetrica (densità), anche se tale caratteristica risulta direttamente correlata all'assegnazione dell'Euroclasse in quanto a maggior densità corrisponde una maggior resistenza alla compressione.

Detta norma impone inoltre al fabbricante l'ottenimento della marcatura CE, ai sensi della direttiva generale sui prodotti da costruzione, sottoponendo il materiale, oltre che a controlli sul processo produttivo, a prove iniziali di tipo, quali:

- resistenza a compressione;
- resistenza a flessione;
- conducibilità termica;
- assorbimento d'acqua per immersione;
- resistenza alla diffusione del vapore acqueo;
- reazione al fuoco.

Per i sistemi costruttivi qui trattati ogni produttore, come del resto per tutte le altre applicazioni in edilizia, ha l'obbligo di dichiarare la tipologia di EPS utilizzata. A tal proposito si osserva che la gran parte dei sistemi ICF offerti dal mercato è realizzata con EPS150.

Alcuni sistemi ICF sono realizzati con polistirene espanso additivato con grafite (colore grigio) che, a parità di spessore, presenta la proprietà di migliorare l'isolamento termico pur necessitando di maggiori attenzioni in alcune lavorazioni di finitura.

1.3.2 Sistemi ICF a "piccoli pannelli" e a "grandi pannelli"

I sistemi ICF si distinguono, in base alle caratteristiche geometriche, in due tipologie fondamentali: quelli a "piccoli pannelli" e a "grandi pannelli".

Le dimensioni dei primi variano da un'altezza minima di 30 cm ad una massima di 60 cm, per una larghezza standard di 120 cm. Lo spessore complessivo è variabile in funzione dello spessore delle lastre in polistirene e del setto in cls.

Le due lastre di polistirene sono tenute insieme da appositi elementi connettori (o distanziali), disposti su una o due file, che possono essere inglobati al polistirene stesso in fase di produzione (pannelli preaccoppiati) oppure possono essere inseriti in fase d'opera mediante apposite guide di scorrimento inglobate solidalmente nei pannelli (pannelli da assemblare in cantiere), ciò al fine di ottimizzare le fasi di trasporto e stoccaggio e di rendere più flessibile l'utilizzo. Gli elementi distanziali in questione sono opportunamente sagomati per creare la sede di alloggiamento dei ferri orizzontali, nel rispetto degli interferri e dei copriferri imposti dalle norme vigenti; con la loro altezza determinano il passo dei ferri orizzontali. I pannelli di piccole dimensioni vengono tra loro assemblati in opera a secco e sono pertanto caratterizzati da apposite dentellature stampate alle estremità che consentono l'incastro e la tenuta stagna, al fine di evitare la fuoriuscita della boiaccia di cemento e garantire la continuità dell'isolamento termico. La superficie del polistirene, trattandosi di lastre stampate, viene sagomata nella parte esterna con apposite zigrinature finalizzate a favorire la presa dei materiali di finitura, mentre sull'interno sono sagomati con apposite gole a coda di rondine per garantire l'aggrappaggio del cls al polistirene. Sono inoltre presenti raccordi circolari degli spigoli interni dei pezzi d'angolo al fine di ridurre la concentrazione degli sforzi localizzati dovuti alla spinta del cls nei cambi di direzione ed un migliore isolamento del ponte termico geometrico.

Internamente ai pannelli in polistirene sono presenti, a seconda della tipologia commerciale di sistema ICF, degli appositi elementi con funzione di fissaggio delle lastre di finitura da porre in opera mediante avvitatura nel lato interno dell'edificio (pannelli in cartongesso o in gesso fibrato), nonché per sostenere eventuali carichi sospesi.

Il presente volume tratta principalmente questa tipologia di pannelli trascurando per motivi di spazio i sistemi ICF "a grandi pannelli", dei quali si fa solo un cenno sulle principali caratteristiche.

I sistemi ICF "a grandi pannelli" sono caratterizzati da lastre di polistirene ottenute prevalentemente mediante processi di "taglio da blocchi", tenute insieme da elementi distanziali metallici passanti attra-

verso le suddette lastre e vincolati sul lato esterno ad appositi elementi di contrasto o saldati a reti metalliche che fungono anche da portaintonaco per la finitura esterna.

Internamente al cassero è presente una doppia rete elettrosaldata di diametro sottile (solitamente $\varnothing 6$ o $\varnothing 8$) che costituisce l'armatura di base verticale del setto in cemento armato (da integrare se necessario con ferro aggiuntivo). L'armatura orizzontale deve essere inserita in opera per dare continuità ai pannelli stessi in senso longitudinale.

L'altezza di questi pannelli è pari a quella di piano (fino a un massimo di circa 3,50 m) mentre la larghezza è standard, pari a 120 cm. Lo spessore, come nel caso dei piccoli pannelli, dipende da quello dei singoli elementi che lo compongono (polistirene interno ed esterno, setto di cls).

Questi pannelli di grandi dimensioni, a differenza dei piccoli, vengono prodotti già tagliati a misura e sagomati con i tagli necessari. Vengono posti in opera sulla base di un apposito abaco di produzione.

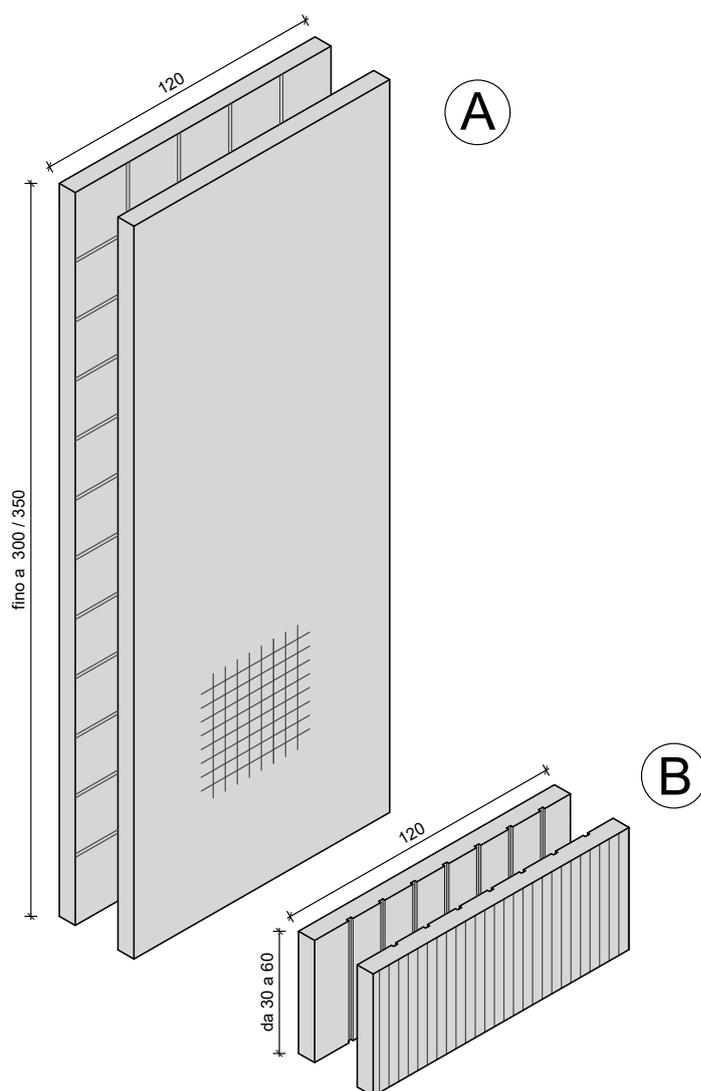


Figura 1.6 - Sistemi ICF "a grandi pannelli" (caso A) e sistemi ICF "a piccoli pannelli" (caso B).

Per approfondimenti sulle specifiche caratteristiche delle varie tipologie di pannelli ICF si rimanda alla documentazione messa a punto dai singoli fabbricanti, trattandosi di aspetti particolari difficili da comprendere nell'ambito di una trattazione ommnicomprensiva.

1.4 "SISTEMI COSTRUTTIVI" O "TECNOLOGIE COSTRUTTIVE"?

A volte nel nostro paese viene data più importanza alle parole che ai contenuti. Alcuni sofisti stanno infatti discutendo se sia più appropriato l'uno o l'altro termine per definire i metodi costruttivi diversi da quelli tradizionali, detti anche "innovativi". E così quando si è trattato di scegliere il titolo del volume mi sono trovato in difficoltà, nel mezzo di questo dibattito terminologico. Alcuni sostengono che per "sistema costruttivo" si dovrebbe intendere un insieme di prodotti che costituiscono un'opera di ingegneria oggetto di "prefabbricazione" e produzione in serie. Nella letteratura corrente, che io condivido, la definizione di "sistema costruttivo" è invece legata alla configurazione strutturale dell'elevazione dell'opera, portando poi alla distinzione tra sistemi continui, discontinui e puntiformi. Del resto, lo stesso D.M. 14 gennaio 2008 (*Norme Tecniche per le Costruzioni*) usa la definizione di "sistema costruttivo" per identificare la muratura armata...

Sul tema è intervenuto a più riprese anche il Consiglio superiore dei lavori pubblici, con vari pareri:

- con il parere n. 298 del 1995 la 1^a Sezione stabilisce che il requisito fondamentale di un sistema costruttivo è quello della "[...] ripetitività di particolari costruttivi essenziali ai fini del funzionamento statico dell'insieme" e continua dicendo che non si tratterebbe di un sistema laddove "gli elementi [...] necessitano di getti di conglomerato cementizio ordinario tali da rendere il procedimento assimilabile in tutto e per tutto a lavorazioni tipiche dell'edilizia tradizionale";
- con il parere n. 13 del 2014 ha cercato di chiarire, dopo aver precisato che "numerose sigle commerciali usano impropriamente i termini predetti, generando una notevole confusione", che con il termine "tecnica costruttiva" devono intendersi quelle di "consolidata tradizione, dimensionate secondo i metodi della scienza delle costruzioni sulla base delle formulazioni contenute nel DM 14.01.08", per poi concludere: "quello che conta, in termini generali, è stabilire un criterio che consenta di dare applicazione alle norme tecniche nazionali".

Nel caso degli ICF sono vere un po' tutte queste definizioni, cioè gli elementi fondamentali (casseri in polistirolo) sono "prodotti in serie", vi è la disponibilità di un ETAG (*European Technical Approval Guideline*) per la relativa qualificazione e sono caratterizzati da particolari costruttivi ripetitivi ed essenziali (quindi costituirebbero un sistema), mentre il procedimento costruttivo che ne caratterizza l'applicazione mediante il getto in opera è sicuramente di "consolidata tradizione" (quindi una tecnica costruttiva).

Pertanto gli ICF sono sia un sistema che una tecnica, o forse sono una cosa ancora diversa... Sarebbe corretto definirli "sistema tecnologico per costruire" o "procedimento per costruire", ma suona male. Un po' per abitudine e un po' per dare più importanza all'aspetto produttivo-industriale degli elementi cassero, parlerò semplicemente di "sistemi ICF". Tanto, come ha sancito il CSLP, "quello che conta è stabilire un criterio".

1.5 CENNI STORICI SUI SISTEMI ICF

La storia dell'evoluzione dell'uomo e dell'architettura è stata da sempre legata a quella dei materiali e delle tecnologie che permeano, favorendola, la vita dell'uomo stesso.

Anche i sistemi costruttivi sono stati oggetto di evoluzione e sviluppo, lento per secoli e millenni, che ha visto una rapida accelerazione negli ultimi decenni a causa delle mutate esigenze abitative e delle necessità ambientali di contenimento dei consumi energetici.

Le prime forme "moderne" dei sistemi ICF sono comparse alla fine degli anni '60 del secolo scorso con l'avvento degli attuali materiali espansi che vennero utilizzati per creare elementi modulari allo scopo di agevolare il cantiere, da completare attraverso la posa di armature ed il getto in opera di conglomerato cementizio.

In Italia l'utilizzo di questi sistemi costruttivi, seppur ostacolato da limiti culturali degli operatori del settore delle costruzioni (tradizionalmente legati al laterizio) e da un quadro normativo inadeguato, è aumentato costantemente dagli anni '70 in poi, continuando tuttavia ad occupare un mercato minoritario o "di nicchia".

Diversa la situazione negli Stati Uniti, dove non era radicato l'utilizzo di una particolare tecnica costruttiva e dove vennero presentati vari brevetti in materia di sistemi cassero in polistirene (cfr. cap. 21). Uno tra i precursori dei sistemi ICF a livello mondiale fu sicuramente Werner Gregori, imprenditore

canadese che presentò un brevetto per un cassero a perdere in materiale espanso con un blocco che misurava 48 pollici in altezza e 16 pollici in lunghezza con un interblocco maschio-femmina e tiranti in metallo.

È interessante riportare la traduzione di una intervista a Gregori tratta dalla rivista "ICF Builder" (n. 2, 2011) e reperibile sul sito internet www.icfmag.com.

Nel 1967 Werner Gregori brevettò il primo sistema ICF in Nord America.

Nell'autunno del 2010 Mr. Gregori mi invitò a casa sua nel sud dell'Ontario, dove trascorremmo un piacevole pomeriggio parlando dei suoi sforzi pionieristici che lanciarono un'industria e su che cosa possono dirci, sul futuro, i passati 40 anni di ICF.

Dozzine di album di foto dell'epoca ci forniscono i dati necessari per verificare date chiave ed eventi.

CR [intervistatore]: Dimmi come hai scoperto ciò che sta alla base del sistema ICF.

Werner Gregori: Tornando alla metà degli anni '60, stavo lavorando come appaltatore e costruivo appartamenti nel sud dell'Ontario. Nell'estate del '65 ero in vacanza ad Algonquin Park. Avevamo uno di quei contenitori di plastica per tenere le bibite al fresco. Quando vidi dei bambini giocare con la sabbia, ho realizzato che se i blocchi di cemento potevano essere formati usando quel polistirolo, molti costi di costruzione ed ore di lavoro potevano essere eliminate.

Entro un anno, convertimmo quella "scoperta" legata all'uso del polistirolo nel primo ICF. Chiamato "Foam Form", ogni blocco misurava 16 pollici di altezza e 48 di larghezza, con un incastro del tipo maschio/femmina e connessioni metalliche. Il design rimase inalterato nei seguenti 15 anni. Il brevetto fu registrato ufficialmente il 22 marzo 1966 in Canada, mentre il brevetto americano venne depositato il 24 ottobre 1968.

CR: Quindi tutti i sistemi ICF esistenti provengono da questa tua idea?

WG: Sì, andai in Germania appena dopo aver ricevuto i brevetti per incontrare la BASF (la maggiore compagnia chimica tedesca che inventò l'EPS). Mostrai loro le mie idee e loro le svilupparono ulteriormente. Ma non è vero che presi l'idea dalla Germania. La Germania prese l'idea da me.

CR: Hai qualche idea a riguardo della grandezza del mercato?

WG: Quando cominciai l'esperimento con i prodotti isolanti e creai la forma, ero convinto che fosse troppo costoso per l'uso nel settore residenziale. Ma avevo un prodotto pronto per il mercato, una manodopera capace, e il prezzo del legname era cresciuto ad un punto tale per cui il sistema poteva essere molto competitivo. (Il prezzo del legname da costruzione era raddoppiato nel 1969). Inoltre, sapevo che il brevetto della BASF per l'EPS stava giungendo alla fine, cosa che avrebbe tagliato il prezzo del mio materiale grezzo (non lavorato) della metà.

CR: Quali furono le sfide più grandi che hai affrontato mandando "Foam Form" nel mercato?

WG: La sfida più grande che affrontammo fu far accettare il prodotto come legittima alternativa. Ci fu una resistenza principalmente da parte degli appaltatori. Non volevano cambiare il modo di costruire gli edifici. Quello che li convinse fu la facilità di installazione. Avevamo problemi anche nel far accettare il prodotto dalle compagnie di assicurazione e per le normative in materia di incendi.

CR: Come superò questi ostacoli?

WG: In quei primi anni, lavoravo con un uomo di nome Richard Law all'Università di Toronto. I primi dati riguardo i livelli di resistenza e le forze di compressione erano molto incoraggianti. I risultati furono certificati dai laboratori Warnock Hersey e questo ci aiutò molto. (Law fu il primo a verificare che la parete ICF poteva ridurre i costi di riscaldamento di circa un terzo).

CR: Raccontami della prima struttura in ICF costruita in Nord America.

WG: Il primo progetto in cui la "Foam Form" venne utilizzata fu una casa in Lakeshore Drive ad Oakville, Ontario. Ma non so se fu veramente la prima in Nord America, c'era un'altra compagnia che faceva qualcosa con l'isolante durante la presidenza di Lyndon Johnson, e Dow Chemical aveva un progetto simile a Sheboygan (Wisconsin) in quel periodo.

Collaborando con una fabbrica di Kitchener, Ontario, Gregory non perse tempo nell'iniziare a lavorare ad un progetto concreto. Patrick "Bud" Kelly, proprietario della Allied Construction, rielaborò completamente le planimetrie di una casa che stava costruendo ad Oakville, Ontario, completandola nella primavera del 1969. La casa attrasse una vasta attenzione, sia da parte di professionisti che di spettatori interessati. Alcune notizie dell'epoca riportano che la polizia venne chiamata diverse volte per sbloccare il traffico vicino a quella casa. Bud Kelly rimase così impressionato che divenne un azionista della compagnia e sviluppò la prima stima dei costi di installazione.

ICF ricevette una ampia pubblicità grazie alla stampa ed ai notiziari radio di Toronto. La nuova abitazione ebbe così tanto successo che fu chiesto a Gregori di fornire i suoi pannelli per costruire una casa per l'esposizione allo Show della Plastica in Canada.

Riempendo le casseforme con sabbia invece che cemento la casa, con 3 camere, fu un catalizzatore di interesse allo Show. Si manifestarono richieste da tutto il continente. Entro il dicembre del 1969, Gregori produceva contemporaneamente a Kitchener e ad Ajax, in entrambe le coste (Montréal e Vancouver) e stipulò contratti a Miami, a San Juan (Porto Rico), in Giappone e in Germania.

CR: Quando l'azienda fu inclusa nei progetti di realizzazione di edifici commerciali?

WG: Ho sempre creduto che la vera economia del sistema sarebbe stata negli edifici residenziali multipiano. Nel 1969 costruimmo case a Leamington (12 unità a due piani), Clarkston e Mississauga. Ci impegnammo anche nel grande ampliamento della scuola di Lightbourn School. [...] Tutte le pareti perimetrali furono realizzate utilizzando il sistema "Foam Form", che fu installato dalla Ivey Dreger Costruzioni. Questo ampliamento è tuttora in uso.

CR: Quale fu il più grande progetto in cui fosti coinvolto in quel periodo?

WG: Il progetto per la Baia di James in Québec fu davvero rilevante. Migliaia di persone avevano bisogno di case nelle aree più remote del Québec. Avevamo progetti in tutta quell'area, a Matagami, Rouyn, Three Rivers e Québec City.

CR: Quando uscisti dalla fabbrica ICF?

WG: Ho venduto il 50% dell'impresa alla Universal Sections Ltd. nel giugno del 1969. Avevano le risorse per gestire la crescita. Ho venduto il rimanente della "Foam Form" alla Universal Plastics nel 1971. Rimasi come consulente per alcuni mesi.

CR: Di cosa ti sei occupato a partire da quel momento?

WG: Mi considero principalmente un inventore. Possiedo 27 brevetti, la maggior parte dei quali hanno a che fare con materie plastiche, pannelli compositi, sistemi sandwich. Ho impiegato gli ultimi anni a sviluppare un materiale plastico composito utilizzabile per i pavimenti, trovando modi per rinforzare questo materiale con una griglia metallica allo scopo di essere usato in grandi pannelli.

CR: Che cosa riserva il futuro per l'ICF?

WG: [...] L'industria ha bisogno di consolidare e standardizzare il prodotto. Ci sono molte fabbriche differenti, ognuna delle quali spiega perché loro siano migliori delle altre. Questo confonde il cliente. Il cliente finale aumenterà le richieste, ma solo se la confusione verrà esclusa dal mercato. I produttori non dovrebbero vedere gli altri come rivali, ma dovrebbero creare un prodotto generico e lavorare per abbassare il prezzo. La catena di distribuzione è troppo lunga, e questo fa tenere i prezzi troppo alti. Accorciando la catena di distribuzione, standardizzando il prodotto, il cliente creerà abbastanza domanda per tenere tutti occupati.

1.6 LA CRISI EDILIZIA, LE NUOVE NORMATIVE E LA DIFFUSIONE DEI SISTEMI "INNOVATIVI"

Nonostante la crisi generalizzata che ha interessato tutti i settori dell'economia mondiale, con dati drammatici di crollo delle produzioni che sono noti a tutti, i sistemi ICF hanno proseguito il loro *trend* di crescita anche nell'ultimo decennio, senza risentire più di tanto della congiuntura negativa.

Se da un lato, infatti, a partire dal 2008 sino ad oggi l'industria delle costruzioni ha visto un arretramento di oltre il 30%, dall'altro, nello stesso periodo, vi sono stati dei cambiamenti che hanno favorito la diffusione di sistemi costruttivi "alternativi", in parte conseguenza della crisi e in parte dovuti ad impulsi di altra natura.

La crisi ha infatti indotto gli investitori a realizzare una maggiore oculatezza nelle loro scelte in quanto, precedentemente, qualunque realizzazione generava profitto mentre dopo la crisi si è dovuta porre maggiore attenzione alla qualità costruttiva, intesa nel senso ampio del termine, che con le tecnologie tradizionali ha rappresentato un obiettivo sempre più difficile da raggiungere e molto oneroso.

A ciò si è aggiunta l'entrata in vigore in Italia, a partire dal 2009, delle nuove normative tecniche (in materia di risparmio energetico e di protezione sismica), dei vari protocolli di efficienza ambientale e di certificazione energetica. L'insieme di queste novità ha contribuito favorevolmente alla diffusione di sistemi costruttivi basati, appunto, sulla semplificazione e sulla ottimizzazione del processo costruttivo: abbassamento dei costi, riduzione dei tempi, flessibilità, sostenibilità ambientale, efficienza termoacustica.

L'evoluzione delle tecniche costruttive tuttavia – seppur favorita dalla congiuntura economica, ambientale

e sociale – ha subito e sta tuttora subendo forti resistenze dovute al radicamento dei materiali “*tradizionali*”. Radicamento favorito anche dalla erronea convinzione che questi ultimi (i laterizi *in primis*) siano sinonimo di ecocompatibilità e senza pensare che invece richiedono complesse e dispendiose lavorazioni industriali, tutt’altro che ecologiche. Questa consapevolezza inizia solo ora a diventare più diffusa grazie all’attenzione all’intero ciclo di vita delle costruzioni.

1.6.1 I limiti dell’edilizia tradizionale

I limiti dell’edilizia tradizionale (intesa come sistemi intelaiati a travi e pilastri tamponati in laterizio) hanno iniziato a profilarsi, soprattutto in ambito strutturale – e non senza manifestazioni di nervosismo da parte di alcuni costruttori – quando i tecnici, per rispettare i dettami delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, hanno dovuto iniziare ad introdurre pilastri di maggior spessore e più armati, setti irrigidenti e travi “*ricalate*”. Diversamente le verifiche non potevano essere soddisfatte. Per chi era abituato a costruire (e quindi a fare le proprie analisi economiche) con l’impostazione del previgente D.M. 16 gennaio 1996, questi concetti erano pressoché sconosciuti in quanto si riusciva a risolvere buona parte delle costruzioni residenziali comprese fra 3 e 5 piani con pilastri in spessore di parete, con lato minore quasi mai superiore ai canonici 25 cm. Idem per i solai che, salvo casi con luci particolari, conoscevano solo l’uso delle travi “*in spessore*” con conseguente semplificazione delle cassetture.

Analoghe problematiche emersero anche in campo energetico a seguito dell’entrata in vigore del Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, con l’obbligo di ricorrere a spessori murari molto importanti per rispettare le richieste trasmittanze e all’accoppiamento con materiali isolanti, adottando soluzioni a cappotto o a intercapedine isolata e dovendo porre particolare attenzione ai ponti termici, prima completamente trascurati.

La maggiore quantità di materiali (cls e acciaio), il maggior onere connesso alle cassetture provvisorie e ai dettagli costruttivi, nonché la necessità di introdurre notevoli spessori di isolanti, misero in evidenza i limiti (ovvero gli aggravii di costo) connessi a modi di costruire ormai superati dall’evoluzione scientifica, tecnologica e normativa.

Partendo da queste constatazioni una parte, purtroppo ancora minoritaria, dell’edilizia ha iniziato dapprima a valutare, e poi ad impiegare, tecnologie diverse (in alcuni casi definite “*innovative*”) rispetto a quelle tradizionali che, grazie all’apporto dell’industria, risultano “*sostenibili*” e maggiormente performanti.

Tra queste, vi sono senza dubbio i sistemi ICF. Vale tuttavia la pena elencare e descrivere brevemente, per completezza di informazione, anche altre tecnologie innovative quali quelle in acciaio, in legno e in legnocomento.

1.6.2 Sistemi “*innovativi*” in acciaio

I sistemi costruttivi intelaiati a secco mediante struttura in carpenteria metallica (definiti con termini accademici “*sistemi struttura e rivestimento*”) si caratterizzano per la loro estrema leggerezza. Concettualmente questi metodi sono molto semplici in quanto consistono nella creazione di un’ossatura portante a telaio e nella sua successiva chiusura attraverso stratificazioni di materiali assemblati a secco, contenenti anche gli strati di coibentazione. In questo tipo di costruzioni la struttura portante in acciaio può essere definita tradizionale, in quanto costituita da profilati metallici dimensionati secondo le regole della scienza delle costruzioni e uniti mediante flange bullonate. La chiusura perimetrale richiede un certo impegno esecutivo essendo costituita da numerosi strati sovrapposti e interagenti tra loro. Orientativamente il pacchetto parete si compone dei seguenti strati (dall’interno verso l’esterno):

- pacchetto di finitura interno (cartongesso, fibrogesso o simili, con interposta coibentazione in polistirene o altri materiali isolanti e freno vapore);
- intelaiatura leggera per il fissaggio della finitura interna, con relativa imbottitura termoacustica;
- struttura in acciaio portante;
- intelaiatura leggera per il fissaggio della finitura esterna, con relativa imbottitura termoacustica;
- pacchetto di finitura esterno (pannelli fibro-cementizi impermeabilizzati, con interposta coibentazione e freno vapore);
- rasatura e tinteggiatura.

Gli impalcati sono ottenuti mediante lamiere grecate e getti integrativi di cls.

A giudizio di chi scrive l’assemblaggio di questi pacchetti, seppur efficienti ad opere ultimate, rappresenta un’operazione piuttosto impegnativa (nonché certosina) per garantire l’eliminazione di possibili di-

scontinuità negli strati di isolamento che, ove presenti, potrebbero essere causa di ponti acustici e termici oltre che provocare la formazione di condense.

I sistemi in acciaio, in ambito di edilizia residenziale, non hanno avuto sino ad oggi particolare diffusione in Italia.

1.6.3 Sistemi "innovativi" in legno

Sui sistemi in legno esistono decine di pubblicazioni tecnico-scientifiche che affrontano in dettaglio tutte le argomentazioni necessarie per comprenderli a fondo, pertanto non è mia intenzione farne qui in alcun modo una sintesi onnicomprensiva.

I sistemi in legno "innovativi", da distinguersi da quelli legati alla tradizione del Nord Europa e quindi alle costruzioni in massello, possono essere classificati in due tipologie:

- costruzioni "massive" di legno, composte da pannelli piani in lamellare prodotti industrialmente ed assemblati tra loro;
- costruzioni leggere di legno composte essenzialmente da elementi lineari da assemblare in opera con eventuale introduzione di pannelli irrigidenti se necessari strutturalmente.

Il "massivo" rappresenta a tutti gli effetti un sistema a pareti portanti prefabbricato, che ha raggiunto elevati livelli tecnologici grazie alla recente evoluzione elettronica dei macchinari per la lavorazione del legno lamellare (X-lam). Le pareti e i solai possono pertanto giungere in cantiere nelle misure necessarie e con già preformate tutte le aperture, che possono anche essere predisposte per il montaggio diretto dell'infisso prescelto. Le pareti possono anche essere prefinite fuori opera.

Particolare importanza rivestono i nodi costruttivi, tutti scientificamente codificati e risolti dai vari produttori. Va detto che i pannelli in legno vengono sempre completati con strati isolanti esterni per raggiungere le necessarie coibentazioni e per proteggere il materiale di base, molto spesso realizzati in polistirene.

Si omette la trattazione dei sistemi "leggeri" (o ad ossatura portante) poiché in realtà poco diffusi in Italia. I sistemi in legno vanno valutati con attenzione sotto il profilo dei costi (connessi alla qualità di ciò che viene effettivamente fornito), della difficoltà di operare modifiche in corso d'opera (perché i pannelli giungono prefabbricati) e della durata dei materiali.

1.6.4 Sistemi "innovativi" in legno-cemento

Il materiale base per la produzione dei blocchi in legno-cemento sono i trucioli di legno dolce e i residui provenienti dalla lavorazione del legno, uniti mediante collanti a base minerale dichiarati biocompatibili. Con un apporto minimo di energia i trucioli e i residui sono sminuzzati ulteriormente in maniera uniforme in un mulino a martelli, in seguito vengono mescolati con prodotti naturali quali cemento, acqua e minerali; l'impasto è riversato e vibrato in apposite casseforme così da realizzare le varie tipologie di blocchi o pannelli.

Questo genere di blocchi è caratterizzato da cavità interne che permettono il getto del cls in opera, a formare pareti in cls debolmente armato, strutturalmente discontinue. Hanno trovato discreta diffusione nel mercato italiano a seguito di un lungo iter di certificazioni portato avanti dalle principali aziende di settore, che ne ha permesso l'inquadramento normativo, ottenendo anche apposite "Linee guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera" approvate dalla Prima Sezione del Consiglio superiore dei lavori pubblici con parere n. 117 del 10/02/2011, con ulteriori precisazioni del Comitato tecnico scientifico della Regione Emilia-Romagna del 04/05/2011, reperibili su internet e alle quali si rimanda.

In base alle dichiarazioni dei produttori risultano buone anche le proprietà acustiche, di reazione e resistenza al fuoco. I limiti che devono essere oggetto di valutazione da parte del progettista, a parere dello scrivente, sono forse rappresentati dal costo di produzione dei blocchi, che richiede impianti industriali molto complessi, e dalla loro elevata igroscopicità, nonché dal fatto che la parete in cemento armato risulta strutturalmente discontinua. Inoltre le proprietà di isolamento termico dei blocchi non sono generose, pertanto essi devono essere accoppiati a importanti strati di polistirene (cosiddetti blocchi con isolamento termico integrato), che viene solitamente preinserito in fase di produzione determinando inevitabili discontinuità della parete finita.

1.7 SISTEMI "MOLTO INNOVATIVI"

Come abbiamo visto al par. 1.4, se un sistema è "molto innovativo", ovvero se non ha ancora concluso il proprio iter di validazione e di condivisione scientifica, non potrebbe essere definito tale. Esistono varie metodologie innovative che si stanno affacciando sul mercato e che sono ancora all'inizio del loro percorso, mentre altre lo hanno avviato anni fa e ritengono di essere prossime alla fine.

Si riporta una breve disamina delle une e delle altre, rimandando a test specifici o ai siti dei produttori per i dovuti approfondimenti.

1.7.1 Tecnologia del "pannello singolo portante"

Definiti anche "shotconcrete walls" per analogia con le modalità di applicazione mediante spruzzaggio (o proiezione) del cls, si tratta di pannelli modulari di supporto per il cls, realizzati in polistirene, e prearmati con reti di acciaio zincato di diametro molto contenuto.

La quantità di armatura fornita dalle reti elettrosaldate applicate sul pannello solitamente corrisponde a $\varnothing 2,5$ passo $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, mentre il tipico spessore dei due strati abbinati di calcestruzzo che costituiscono la parete finale è pari a $5\text{ cm} + 5\text{ cm}$. Le pareti così ottenute risultano pertanto degli elementi sandwich costituiti da due lastre sottili di cls armate con le suddette reti elettrosaldate (ed eventualmente con barre integrative), connesse tra loro e con il polistirene mediante opportuni connettori metallici passanti.

Tale tipologia di pareti è nata per realizzare edifici di modesto impegno statico e ripetitivi, tipici dei paesi in via di sviluppo, ed è stata studiata per iniziativa di alcune aziende italiane in collaborazione con vari istituti universitari, che oggi hanno concluso un iter molto lungo di prove sperimentali.

Lo scrivente, nell'ambito della propria attività professionale, ha svolto numerose esperienze progettuali con questo tipo di pareti ed ha seguito decine di test in laboratorio. L'idea che si è fatta è che esse rispondono molto bene a tutte le sollecitazioni indotte in laboratorio e anche dal punto di vista teorico sono convincenti grazie agli studi compiuti da docenti dell'Università di Bologna. Dal punto di vista pratico-cantieristico occorre prestare particolare cura poiché i limitati spessori di cls non possono essere minimamente intaccati da imprecisioni, quali ad esempio difetti di verticalità, irregolarità negli allineamenti, ecc. Pertanto il caso di edifici di forma articolata o pluripiano può risultare di non semplice gestione esecutiva.

Si riportano alcune immagini (Figure 1.7-1.10) relative alla tecnologia del pannello singolo portante.



Figura 1.7 - Primi interventi realizzati con pannello singolo portante (camping).



Figura 1.8 - Edificio in linea a due piani realizzato con pannello singolo portante.



Figura 1.9 - Vista dei pannelli prima dell'applicazione del cls.



Figura 1.10 - Prototipo di casa mobile realizzata con pannello singolo portante.

1.7.2 Tecnologia, se così si può dire, delle pareti fatte con materiali riciclati o naturali

L'innovazione passa anche attraverso l'invenzione pura o la sperimentazione, che a volte risultano estemporanei tentativi, temporalmente e geograficamente confinati, mentre altre volte assumono rilevanza inaspettata e diventano realtà. Di solito la teoria e la giustificazione normativa vengono dopo. Su internet sono numerose le proposte di tecniche e materiali estremamente innovativi, enormemente evoluti e straordinariamente "bio", la maggior parte dei quali è ancora in una fase piuttosto artigianale. Altre volte si tratta di materiali legati alla tradizione e utilizzati per millenni dall'uomo (pensiamo al caso delle coperture in paglia), oggi rivisitati e proposti con altre funzioni.

Alcune tra queste metodologie, per quanto desumibile dai siti specializzati, hanno superato la fase "inventiva" e vantano già alcune realizzazioni in giro per il mondo, che fanno ben sperare. Pertanto ho ritenuto opportuno accennarne brevemente in questo paragrafo, perché... non si sa mai.

A parere dello scrivente non si tratta ancora di "tecnologie" né, tantomeno, di "sistemi costruttivi" poiché per venire considerati tali necessitano caratteristiche di ripetitività e industrializzazione lontane ancora dall'essere raggiunte. Non sono state nemmeno reperite, per nessuna delle innovazioni di seguito riportate, certificazioni di prodotto o di processo rilasciate da organismi terzi accreditati, pertanto si ritiene che l'eventuale utilizzo sia rimesso a valutazioni del progettista.

1.7.2.1 Il "bio-mattone" realizzato con batteri

Si legge che trattasi di un mattone "ecologico" poiché realizzato attraverso un mix di aggregati e con l'azione congiunta dei batteri, inseriti nell'impasto. I componenti possono provenire da percorsi di riciclo ed il processo produttivo permette di ottenere mattoni di prestazioni paragonabili a quelle dei laterizi tradizionali, con costi più contenuti.

1.7.2.2 L'isolamento a base di funghi

Si tratterebbe di materiali isolanti ottenuti a partire da sottoprodotti agricoli, modificati mediante l'impiego del micelio di alcune tipologie specifiche di funghi che, sviluppandosi direttamente all'interno della parete, aumenterebbero le proprietà isolanti. Le pareti richiedono, prima dell'uso dell'abitazione, un processo di asciugatura e di essiccazione del micelio, per garantire la salubrità degli ambienti.

1.7.2.3 L'isolamento in lana di pecora

Di sicuro in questo caso si tratta di un materiale a "energia zero" (a parte quella necessaria per sottoporre la lana a severi lavaggi per rimuovere le sostanze organiche presenti). Viene utilizzata per imbottiture di intercapedini, principalmente in edifici intelaiati in legno, e pare che possa essere resa anche ignifuga mediante opportuni trattamenti (che però in tal caso la rendono molto meno biologica).

1.7.2.4 Le "pareti in paglia"

Per questa soluzione sono state reperite varie testimonianze di edifici realmente realizzati, pare, con successo e soddisfazione da parte degli utenti. Si tratta di esempi di applicazione di bioarchitettura particolarmente spinti che effettivamente potrebbero avere motivazioni per diffondersi in settori di nicchia. Chiaramente si tratta di casi ancora sporadici. Dal punto di vista strutturale l'edificio è concepito come un telaio in legno imbottito mediante presse di paglia. Non è ben chiaro come si possa utilizzare questa tecnica nei mesi piovosi o invernali e che tipo di garanzie possa dare dal punto di vista della resistenza al fuoco.

1.7.2.5 I pannelli composti da trucioli di legno, paglia e cemento

Diversi da quelli in legno-cemento mineralizzato, già diffusissimi in Europa dagli anni '90 del secolo scorso, si tratta in questo caso di pannelli prodotti mediante un impasto composto principalmente da legno, paglia e cemento, opportunamente compressi e lasciati asciugare. Possono essere di piccole dimensioni (e quindi fungere da blocchi per murature di tamponamento) oppure possono essere di dimensioni maggiori e venire usati per il getto del cls.

Tratto da

Sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato



Segue l'indice del volume



SOMMARIO

INTRODUZIONE	3
<i>di Alfiero Moretti</i>	
PREFAZIONE	5
<i>di Paolo Verducci</i>	
RAGIONI E INTENZIONI	7
<i>di Cristian Angeli</i>	
RINGRAZIAMENTI	8
CAPITOLO 1 - I SISTEMI COSTRUTTIVI A PARETI PORTANTI	15
1.1 Premessa	15
1.2 L'industrializzazione dei sistemi a pareti portanti	16
1.2.1 Sistemi prefabbricati	16
1.2.2 Sistemi parzialmente prefabbricati	17
1.3 Costituzione dei sistemi ICF	18
1.3.1 Il polistirene	21
1.3.2 Sistemi ICF a "piccoli pannelli" e a "grandi pannelli"	22
1.4 "Sistemi costruttivi" o "tecnologie costruttive"?	24
1.5 Cenni storici sui sistemi ICF	24
1.6 La crisi edilizia, le nuove normative e la diffusione dei sistemi "innovativi"	26
1.6.1 I limiti dell'edilizia tradizionale	27
1.6.2 Sistemi "innovativi" in acciaio	27
1.6.3 Sistemi "innovativi" in legno	28
1.6.4 Sistemi "innovativi" in legno-cemento	28
1.7 Sistemi "molto innovativi"	29
1.7.1 Tecnologia del "pannello singolo portante"	29
1.7.2 Tecnologia, se così si può dire, delle pareti fatte con materiali riciclati o naturali	31
1.7.2.1 Il "bio-mattone" realizzato con batteri	31
1.7.2.2 L'isolamento a base di funghi	31
1.7.2.3 L'isolamento in lana di pecora	31
1.7.2.4 Le "pareti in paglia"	32
1.7.2.5 I pannelli composti da trucioli di legno, paglia e cemento	32
CAPITOLO 2 - CASSERI IN POLISTIRENE PER REALIZZARE STRUTTURE EDILIZIE A PARETI PORTANTI	33
2.1 Raccomandazioni per la progettazione	33
2.1.1 Progettazione architettonica	34

2.1.1.1	<i>La rappresentazione dei sistemi ICF nella fase esecutiva</i>	35
2.1.1.2	<i>I sistemi ICF e il BIM</i>	38
2.1.2	Progettazione strutturale	39
2.1.2.1	<i>Inquadramento normativo</i>	39
2.1.2.2	<i>Pareti e pareti debolmente armate</i>	40
2.1.2.3	<i>Schematizzazioni e percorsi progettuali</i>	40
2.1.2.4	<i>Progettazione di pareti in campo elastico</i>	43
2.1.2.5	<i>Tipologia di armature e copriferro</i>	44
2.1.2.6	<i>Modalità di collasso</i>	46
2.1.2.7	<i>Riferimenti tecnici</i>	48
2.1.2.8	<i>Presentazione dei progetti agli uffici preposti al controllo (ex Genio civile)</i>	48
2.1.2.9	<i>Casi particolari</i>	49
2.1.2.9.1	Pareti alleggerite	49
2.1.2.9.2	Soluzioni fondali per "edifici estesi" a pareti portanti	49
2.1.2.9.3	Travi in spessore di parete	50
2.1.2.9.4	Pareti "in falso" collaboranti e travi parete	51
2.1.2.9.5	Pareti con nervature di irrigidimento	52
2.1.2.9.6	Pilastri portati da pareti sottili	53
2.1.2.9.7	Pareti controterra	55
2.1.2.9.8	Eliminazione delle azioni flettenti sulle pareti mediante solai post-tesi	55
2.1.2.9.9	<i>Box foundation system</i>	56
2.1.2.9.10	Interazione con elementi costruttivi tradizionali	57
2.2	Aspetti termoigrometrici	59
2.2.1	Comportamento termoigrometrico dei pannelli	59
2.2.2	Pareti a confronto: sistema ICF vs Parete a cappotto	61
2.2.3	Ponti termici	62
2.2.4	Ventilazione meccanica controllata	65
2.3	Comportamento acustico	65
2.3.1	Misure acustiche su pareti ICF	66
CAPITOLO 3 - INDICAZIONI PER L'ESECUZIONE		71
3.1	Posa dei pannelli	71
3.2	Sistemi di appiombamento	77
3.3	Controtelai per aperture	79
3.4	Getto	81
3.5	Realizzazione delle tracce	84
3.6	Finiture	84
CAPITOLO 4 - PARTICOLARI COSTRUTTIVI		91
4.1	Particolari costruttivi architettonici	91
4.2	Particolari costruttivi strutturali	106
CAPITOLO 5 - LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEI SISTEMI ICF		115
CAPITOLO 6 - ASPETTI NORMATIVI E FISCALI RELATIVI AI SISTEMI ICF		119
6.1	Qualificazioni e certificazioni	119
6.2	Responsabilità del costruttore e tutela legale dei consumatori	121
6.3	Assicurazione postuma decennale	122
6.4	Vantaggi fiscali	123
CAPITOLO 7 - LA SICUREZZA NEI CANTIERI REALIZZATI CON SISTEMI ICF		125
7.1	Premessa	125
7.2	Fasi lavorative tipiche per opere in cemento armato tradizionale	126
7.2.1	Realizzazione della carpenteria	126

7.2.2	Messa in opera dei casseri in legno	127
7.2.3	Lavorazione del ferro	127
7.2.4	Getto del calcestruzzo	128
7.2.5	Disarmi e pulizie	128
7.3	Criticità specifiche dei sistemi ICF, non presenti nell'edilizia tradizionale	129
7.3.1	Movimentazione dei pannelli	129
7.3.2	Montaggio dei pannelli	129
7.3.3	Riflesso dei pannelli	129
7.3.4	Ferri di ripresa	129
7.3.5	Getto dei pannelli	130
7.4	Riduzione dei costi della sicurezza	130
CAPITOLO 8 - IL COMPORTAMENTO IN CASO DI INCENDIO DI EDIFICI REALIZZATI CON SISTEMI ICF		131
8.1	Premessa normativa	131
8.2	Reazione al fuoco	132
8.3	Resistenza al fuoco	134
8.4	Quando è necessaria la certificazione di reazione e di resistenza al fuoco	135
8.5	La reazione al fuoco per i sistemi costruttivi ICF	135
8.6	La resistenza al fuoco per i sistemi costruttivi ICF	136
8.6.1	Parete perimetrale e parete divisoria realizzate in opera con sistema ICF	137
8.6.2	Trave in cls realizzata in opera entro solaio ICF	138
CAPITOLO 9 - LA PANNELLIZZAZIONE		141
9.1	Studio di fattibilità preliminare e preventivazione	141
9.2	Scomposizione del progetto in pannelli e quantificazione della fornitura	143
9.3	La consegna dei pannelli in cantiere	144
CAPITOLO 10 - LE POTENZIALITÀ STRUTTURALI E I LIMITI APPLICATIVI DEL SISTEMA ICF		145
10.1	Potenzialità strutturali	145
10.1.1	Edificio a 3 piani regolare	149
10.1.2	Edificio a 4 piani regolare	151
10.1.3	Edificio a 5 piani regolare	153
10.1.4	Edificio a 5 piani irregolare	154
10.1.5	Edificio a 5 piani "molto irregolare"	155
10.1.6	Riepilogo dei casi analizzati	157
10.1.7	Edificio a 4 piani verificato allo Stato Limite di Operatività	159
10.2	I limiti applicativi del sistema ICF	162
10.2.1	Limiti tecnici	162
10.2.2	Limiti di mercato	164
CAPITOLO 11 - APPLICAZIONI DIVERSE DEI CASSERI A PERDERE IN POLISTIRENE		167
11.1	Applicazioni per la riqualificazione dell'edilizia esistente	167
11.2	Piscine	168
11.3	Scale	170
11.4	Casseri o "supporti" in polistirene per realizzare pareti non portanti	170
11.4.1	Pareti di tramezzatura	170
11.4.2	Pareti di tamponamento	170
11.5	Altri prodotti in polistirene correlati ai casseri	174
CAPITOLO 12 - VOCI DI CAPITOLATO E ANALISI PREZZI DI PARETI E SOLAI REALIZZATI CON SISTEMI ICF		175
12.1	Voci di capitolato	175
12.2	Analisi prezzi	176

CAPITOLO 13 - GLI IMPIANTI DI PRODUZIONE.....	181
13.1 Considerazioni generali	181
13.2 Pre-espansore	182
13.3 Sili di stagionatura del materiale pre-espanso	183
13.4 Presse di stampaggio	184
CAPITOLO 14 - LA DIREZIONE DEI LAVORI E IL COLLAUDO STATICO DI EDIFICI REALIZZATI CON SISTEMI ICF.....	185
14.1 Il direttore dei lavori di opere realizzate con sistemi ICF	185
14.1.1 Verifiche di natura progettuale da svolgere prima dell'inizio dei lavori	186
14.1.2 Verifiche da svolgere in fase di accettazione dei materiali	186
14.1.3 Verifiche da svolgere in corso d'opera nella fase strutturale	186
14.1.4 Verifiche da svolgere a strutture ICF ultimate	187
14.2 Il collaudo statico di opere realizzate con sistemi ICF	188
CAPITOLO 15 - LA SCELTA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO FRA PRESTAZIONI REALI E MARKETING	189
15.1 Giudizio motivato di accettabilità del sistema	189
CAPITOLO 16 - REPERTORIO DEI CASSERI A PERDERE IN POLISTIRENE	195
16.1 Aziende produttrici di sistemi ICF e accessori in Italia, in Europa e nel resto del mondo	195
CAPITOLO 17 - APPLICAZIONE DEI SISTEMI ICF IN AMBITO EMERGENZIALE	199
17.1 L'esperienza della ricostruzione in Emilia-Romagna a seguito del sisma del 2012	199
17.2 L'esempio della costruzione della scuola di Poggio Renatico (FE)	201
17.2.1 Relazione illustrativa	202
17.2.2 Cronoprogramma dei lavori	202
17.2.3 Relazione strutturale	202
CAPITOLO 18 - ESEMPIO DI PROGETTO STRUTTURALE REALIZZATO CON SISTEMA ICF.....	211
18.1 Premessa	211
18.2 Descrizione del fabbricato e della struttura	212
18.3 Normativa di riferimento e parametri di progetto	213
18.4 Materiali impiegati e resistenze di calcolo	214
18.5 Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione	215
18.6 Spettri di progetto per SLU e SLD	217
18.7 Azioni di progetto sulla costruzione	218
18.8 Principali combinazioni SLU e SLE	221
18.9 Metodo di analisi	224
18.10 Sintesi dei principali risultati	228
CAPITOLO 19 - PRESCRIPTIVE METHOD FOR INSULATING CONCRETE FORMS.....	241
19.1 Cenni all'approccio anglosassone per la progettazione di edifici realizzati con sistemi ICF	241
19.2 Particolari costruttivi	248
19.3 Bibliografia con le principali pubblicazioni scientifiche americane inerenti, direttamente o indirettamente, i sistemi ICF	250
CAPITOLO 20 - I SISTEMI ICF IN VENTI EDIFICI REALIZZATI.....	251
20.1 Edificio plurifamiliare, Ariccia (Roma)	253
20.2 Edificio quadrifamiliare, Montescudo (Rimini)	257
20.3 Edificio residenziale, Pizzoli (L'Aquila)	261
20.4 Case a schiera per 16 appartamenti e 6 negozi, Roma	265
20.5 Edificio plurifamiliare, Cesenatico (Forlì-Cesena)	269
20.6 Centro ricerche CNR, Bologna	274
20.7 Villa sul lago - Meina (Novara)	278

20.8	Case a schiera per 15 appartamenti, Roma	281
20.9	Case a schiera per 6 appartamenti, Roma	286
20.10	Villa unifamiliare, Castelnuovo ne' Monti (Reggio Emilia)	291
20.11	Scuola primaria, Poggio Renatico (Ferrara)	295
20.12	Ricostruzione di edificio bifamiliare, Susa (Torino)	299
20.13	Edificio pluripiano, Bovisio Masciago (Monza Brianza)	302
20.14	Palazzina residenziale, Rocca Priora (Roma)	305
20.15	Edificio plurifamiliare, Roma	309
20.16	Edificio trifamiliare a schiera, Roncofreddo (Forlì-Cesena)	314
20.17	Case a schiera per 4 appartamenti, Bagolino (Brescia)	318
20.18	Edificio pluripiano con garage e servizi, Cluj-Napoca (Romania)	322
20.19	Edificio plurifamiliare in linea, Bertinoro (Forlì-Cesena)	325
20.20	Residenza sanitaria assistenziale, Tolfa (Roma)	329
CAPITOLO 21 - LA PROTEZIONE CON BREVETTI DEI SISTEMI ICF		333
21.1	Principali brevetti che hanno definito il sistema	333
21.2	Libertà di attuazione e possibile evoluzione brevettuale	343
CAPITOLO 22 - DIECI RAGIONI PER PREFERIRE, MOTIVATAMENTE, I SISTEMI ICF		345
22.1	Sostenibilità edilizia	345
22.2	Risparmio energetico e comfort ambientale	345
22.3	Contenimento dei costi di esecuzione	346
22.4	Sicurezza statica	346
22.5	Impersicurezza sismica	346
22.6	Velocità esecutiva	347
22.7	Sicurezza in fase di esecuzione	347
22.8	Maggiori tutele	347
22.9	Aumento della superficie vendibile	347
22.10	Libertà compositiva	347
CAPITOLO 23 - DOMANDE & RISPOSTE		349
23.1	Le domande più frequenti poste dai professionisti	349
23.2	Le domande più frequenti poste dai costruttori	350
23.3	Le domande più frequenti poste dagli utilizzatori (non addetti ai lavori)	352
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE		354
FONTI BIBLIOGRAFICHE		355
POSTFAZIONE		356
<i>di Tomaso Trombetti</i>		
APPENDICE NORMATIVA		357
-	Decreto Legislativo 16 giugno 2017, n. 106 - "Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE" (Stralcio)	357
-	ETAG009 - "Linee guida per l'approvazione europea di sistemi/casserature permanenti non portanti basati su blocchi o pannelli di materiale isolante e calcestruzzo" (Stralcio)	359
-	Risposta del CSLP, n. 53/2011 del 19 luglio 2011 (Stralcio)	368

APPENDICE TECNICA	371
Tabelle e schede di lavoro	371
- Tabella A1 - Corrispondenze armature mediane pareti	372
- Tabella A2 - Incidenza ferri di ripresa e di cucitura	372
- Tabella A3 - Scheda determinazione costo pareti ICF	373
Check list per la posa in opera dei sistemi ICF	374
- Tabella A4 - Check list per la posa in opera dei sistemi ICF	375
APPENDICE FOTOGRAFICA	381

È possibile contattare l'autore: www.icfpro.it

I sistemi costruttivi a pareti portanti

a cura di

Cristian Angeli

Ingegnere strutturista specializzato 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.

Tratto da

Sistemi costruttivi a pareti portanti in cemento armato



*Particolari costruttivi architettonici e strutturali in formato .DWG.
Foglio elettronico per la determinazione dei costi.
Check list per la posa in opera.*