

---

# sintesi di tesi di laurea

---

Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Ingegneria

## DALL'ABITAZIONE TEMPORANEA ALL'EDIFICIO: INNOVAZIONE E MODULARITÀ DI UN SISTEMA ABITATIVO CONTEMPORANEO

Autore: Cecilia PACCHIERI

Relatori: Prof. Ing. Ettore GUGLIELMI - Prof. Ing. Gloria TEREZI - Ing. Lorenzo MATTIOLI

Data di laurea: Luglio 2009

*La sfida progettuale e compositiva espressa nella ricerca di un sistema costruttivo che possa portare alla realizzazione di organismi edilizi a differente scala, dall'abitazione temporanea all'edificio, risulta di forte attualità nel panorama del progetto della residenza. Lo standard progettuale corrente risulta di fatto essere "limitato" nei confronti della residenza vista come fabbisogno sociale. Gestire l'emergenza residenziale non ha quindi, in tale ottica, il solo significato di dare pronta risposta alle contingenze derivanti dalle calamità naturali, ma acquisisce il senso più ampio e globale di intervenire prontamente nei confronti della condizione di permanente emergenza in cui versano grandi moltitudini di esseri umani. Interi gruppi sociali che per svariati motivi non riescono ad accedere a quanto il mercato correntemente propone e per i quali è necessario trovare strade nuove e alternative che producano edifici a basso costo, elevata prestazione e soprattutto alta qualità formale. Edifici nei quali dunque gli occupanti non si debbano sentire in "stato di emergenza", altresì subendolo come espiazione successiva all'evento che l'ha generato.*

*La ricerca espressa nel lavoro di Tesi esplora, affronta e risolve un metodo di progetto capace di dare forma architettonica compiuta, sempre coerente e formalmente leggibile, alla variabilità compositiva e dimensionale. Un modello progettuale e compositivo che risponde con qualità e dignità architettonica alla condizione di emergenza nella sua accezione più completa.*

**G. TEREZI**

### INTRODUZIONE

Il contesto in cui nasce questo progetto è l'esigenza di trovare una soluzione alternativa alla casa tradizionale, che riesca ad affrontare, contemporaneamente, i problemi posti dalle emergenze abitative sia delle aree metropolitane sia delle aree colpite da improvvisa calamità.

La creazione di manufatti provvisori, legati al concetto della temporaneità dell'insediamento, non ha una lunga tradizione. In Europa, un primo impulso alla progettazione e sperimentazione si verifica all'inizio della seconda guerra mondiale, per sopperire all'esigenza di ospitare le truppe dislocate in territorio nemico, nonché di fornire una prima sistemazione alle famiglie rimaste senza casa. È soltanto dopo la guerra che la tematica in questione viene affrontata come vero e proprio ambito di analisi progettuale e, nonostante ciò, ancora oggi la ricerca su questo tema è in pieno sviluppo. Il nostro paese, ad esempio, appare ancora refrattario a questo tipo di edifici, a causa del persistere di un'idea tradizionale di casa come edificio pesante, anche se, nel 2008, la stessa Triennale di Milano, in occasione della mostra "Casa per tutti", ha bandito un concorso proprio con l'obiettivo di promuovere la ricerca.

### OBIETTIVI PERSEGUITI

Il tema dell'architettura per l'emergenza è purtroppo molto attuale: il drammatico scenario di chi è vittima di un evento calamitoso, si ripropone con notevole frequenza anche in Italia, paese vul-

nerabile sia sotto il profilo dei fenomeni innescati da disastri naturali, sia sotto quello dovuto alle calamità di tipo antropico.

Il modulo abitativo, adibito ad alloggio in caso di emergenza, deve necessariamente offrire soluzioni di rapidità di fornitura, facilità di trasporto e posizionamento, possibilità di recupero e stoccaggio. Queste caratteristiche possono essere vantaggiose per risolvere anche un altro tipo di emergenza, ovvero quella relativa all'abitare difficile delle città; infatti, le attuali condizioni abitative che caratterizzano i fenomeni urbani contemporanei sono cambiate. L'affermarsi di nuovi stili di vita ha messo in crisi molti modelli insediativi elaborati dalla cultura architettonica nel corso del novecento, richiedendo una nuova visione progettuale più attenta alle attuali dinamiche sociali. Nasce l'esigenza di una svolta radicale nel concetto dell'abitare, che, ripensando allo spazio domestico, proponga una soluzione soddisfacente i bisogni di un nuovo modello costruttivo sociale ed economico della casa, ovvero una nuova tipologia di abitazione, che si adatti ad un concetto dinamico del vivere e che soprattutto garantisca a chiunque condizioni di sicurezza e confort. Da qui si individua l'obiettivo di questo studio: la progettazione di strutture facilmente trasportabili e montabili in caso di emergenza e, contemporaneamente, capaci di dare una risposta economica e concreta ad una nuova richiesta abitativa. Ciò si realizza per mezzo di elementi modulari assemblabili in vari modi e personalizzabili a seconda delle esigenze dell'utente, tanto da riuscire a creare vere e proprie tipologie edilizie residenziali rispondenti alle richieste della normativa.

## ANALISI STORICA

Prima di avviare la fase progettuale si è ritenuto necessario valutare ciò che era stato fatto precedentemente al riguardo. Indubbiamente, chi ha sperimentato e sperimenta maggiormente sul tema dell'abitazione prefabbricata, è da sempre l'America, dove la casa, concepita come un sistema di elementi assemblabili, viene prodotta industrialmente da diverse aziende già dai primi del '900. In quegli anni, ad esempio, la Alladin<sup>1</sup> vendeva case in legno completamente prefabbricate, confezionate in un kit studiato per essere imballato nel migliore dei modi e trasportato con facilità. Una volta ricevuto il "pacco" la casa veniva montata dal cliente, grazie all'aiuto di un manuale contenente le istruzioni di montaggio. **Fig.1**



Figura 1 - Alladin: depliant casa in kit.

Negli anni venti del '900 R. Buckminster Fuller si cimenta nello studio della casa del futuro, con l'intenzione di fabbricare alloggi in serie come per le automobili.

Durante il conflitto mondiale, nel 1940, sempre Fuller propone un modello chiamato *Dymaxion Deployment Unit*, al fine di sopperire alle esigenze di alloggi per le truppe: una cellula a pianta circolare che poteva essere spedita ovunque e montata in poche ore; ma è solo con la *Wichita House*, progettata per coprire il fabbisogno abitativo dei dipendenti dell'industria aeronautica, che Fuller raggiunge l'obiettivo di assemblare componenti dal peso molto modesto e di compattezza tale da rendere economica la produzione e facile il trasporto e l'imballaggio. **Fig.2**



Figura 2 - Wichita House, Fuller, 1944.

<sup>1</sup>Società fondata nel 1906 da William e Otto Sovereign nel Michigan, il cui motto era "Built in a Day" Homes.

<sup>2</sup>Le unità abitative, le vie pedonali esterne, le tre trombe dell'ascensore.

In Europa, invece, la fiducia verso un'edilizia industrializzata si sviluppa solo nell'immediato dopoguerra, con la necessità di rialloggiare coloro che avevano perso la casa. Risalgono, infatti, alla metà degli anni quaranta, sia il progetto del *Pavilion 6x6* del francese Prouvé, in collaborazione con l'architetto Pierre Jeanneret, effettivamente prodotto in 450 unità per i disastri della Lorena; sia quello dell' *Emergency Housing*, attuazione dell'idea del contenitore ampliabile, in cui i due architetti tentano, per la prima volta, una correlazione tra trasportabilità ed ampliabilità del volume, proponendo un involucro trasportabile su ruote predisposto ad espandersi orizzontalmente e verticalmente.

Tra gli anni sessanta e settanta, il concetto del modulo si inserisce, poi, all'interno di un tema che ha avuto grande fortuna proprio in quel periodo: la macrostruttura. Ne è un esempio l'*Habitat 67* di Moshe Safdie, il cui intento era quello di dare una risposta alla crisi della città tradizionale, conciliando ordine e libertà, mediante l'integrazione di cellule abitative in un organismo complesso. Questo edificio si presenta, infatti, come una struttura spaziale tridimensionale in cui i moduli, o scatole, sono assemblati seguendo varie configurazioni, che a loro volta formano varie tipologie abitative e tutte le parti in cui si articola<sup>2</sup> fungono da elementi portanti. **Fig.3**



Figura 3 - Habitat 67, Moshe Safdie, 1967.

Il panorama progettuale degli anni settanta offre, poi, molteplici esempi di moduli realizzati in fabbrica che, una volta posizionati, sono pronti a modificarsi ed ampliarsi con sistemi di cerniere e carrelli, ad esempio, la casa pieghevole in plastica di K.A. Rohe, le unità abitative di Alberto Roselli e Marco Zanuso ed il "tilted box" di Kisho Kurokawa.

Sempre in questo periodo si organizzano una serie di conferenze internazionali sulla tematica dei manufatti da utilizzare in caso di emergenza. La più importante è sicuramente quella tenutasi ad Istanbul nel 1977, l'*International Conference on Disaster Area Housing*, che rappresenta una significativa occasione di confronto internazionale, riassuntiva dello stato degli studi e delle esperienze in materia. L'anno successivo, altresì significativa, la *International Conference on Disasters and Small Dwelling*, promossa dall'University College di Oxford. Tali eventi, partendo dal

superamento dell'idea dell'oggetto finito, interamente assemblato in officina che assume, una volta posizionato, un'unica configurazione, giungono all'idea di un sistema in cui aggregabilità e modificabilità sono indispensabili attraverso la progettazione di abitazioni composte da unità funzionali differenti tra loro.

Esempi rilevanti di questo nuovo approccio al problema sono le due ricerche condotte in Italia tra gli anni settanta e gli anni ottanta: il *Ca.Pro* (Case Provvisorie) progettato nel 1978 dal gruppo Donato, Guazzo, Platania, Vittoria, su commissione della Tecnocasa ed il *Sapi* (Sistema abitativo di pronto impiego) progettato nel 1982 da P.L. Spadolini, con G. Fagnoni Spadolini e G. Spadolini con i finanziamenti del gruppo industriale IRI-Italsat. Quest'ultimo, effettivamente realizzato, supera la logica del container trasportando non più volumi vuoti, ma unità attrezzate ampliable in fase di esercizio ed è ancora oggi considerato da alcuni responsabili della Protezione Civile come il fiore all'occhiello degli alloggi provvisori per l'emergenza a disposizione in Italia. **Fig.4**

A partire dagli anni ottanta viene preso per la prima volta in considerazione un altro aspetto legato ai manufatti temporanei per l'emergenza: l'autocostruibilità, secondo il principio del "*do it yourself*", che si può esplicitare nella possibilità di un'attiva partecipazione nella realizzazione dell'insediamento provvisorio, da parte della popolazione colpita dalla calamità e nell'utilizzo di materiali e tecnologie "poveri" senza, quindi, l'impiego di complessi macchinari. Ne è un esempio il progetto della *Paper Log House* dell'architetto giapponese Shigeru Ban che, nel 1995, realizza un alloggio provvisorio estremamente innovativo costruito con materiali riciclati e riciclabili, come cassette di plastica per la birra, tubi di cartone e sacchetti di sabbia per i terremotati di Kobe.

Nell'epoca contemporanea i progettisti pongono un'attenzione particolare anche ad un altro tema: il recupero di prodotti di scarto dell'industria. Ne è un esempio sorprendente la *Container City* di Londra, edificio che trae origine dall'assemblaggio di containers destinati al trasporto merci, collegati tramite un sistema flessibile di giunti che conferisce alla costruzione le potenzialità compositive di una confezione di lego. **Fig.5**

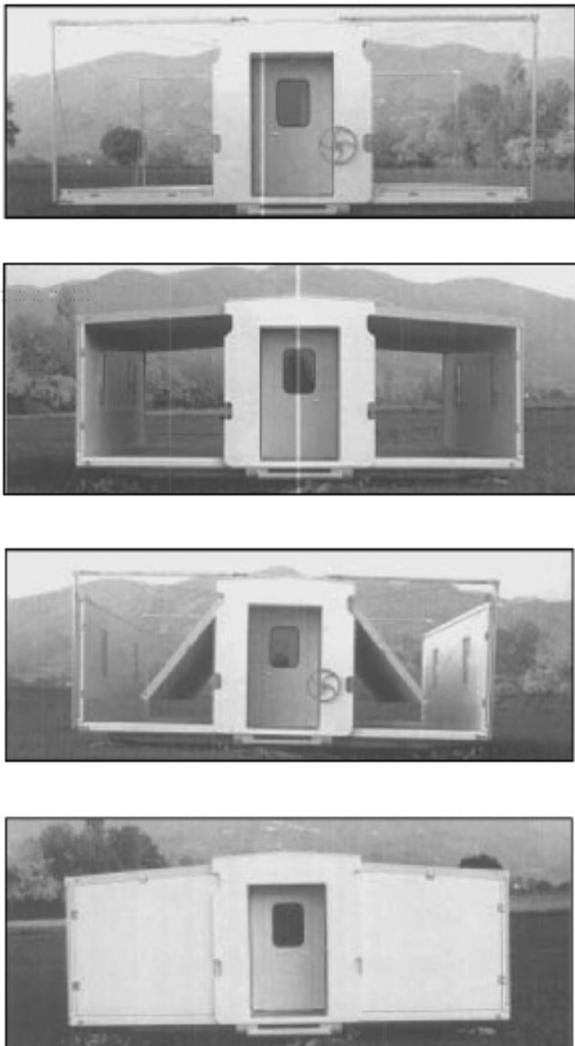


Figura 4 - SAPI, P.L. Spadolini, 1982.



Figura 5 - Container City, Londra 2002.

Anche nel caso in cui diventi stabile, il container non perde la capacità di rappresentare il movimento: l'alloggio per studenti *Keetwonen* di Amsterdam, costruito in 8 mesi, accoglie 1000 appartamenti da 30 mq, dati in affitto a canoni molto bassi ai giovani studenti. La prefabbricazione e la breve durata del cantiere, infatti, permettono di abbattere i costi di costruzione e di vendita, e conseguentemente i canoni locativi.

Utopistico, ma altrettanto riuscito, è l'esperimento realizzato da Richard Horden all'interno del campo universitario di Monaco di Baviera, in cui l'architetto allestisce un villaggio contemporaneo di piccoli cubi bianchi destinati ad ospitare per un anno un gruppo di studenti. **Fig.6**



Figura 6 - *Micro Compact Home*, Richard Horden.

Altro caso che merita certo di essere citato è lo *Space Box*<sup>®</sup>, nato nel 2002 in Olanda come soluzione al problema della mancanza di stanze per gli studenti, che rappresenta un innovativo sistema costruttivo, basato sull'assemblaggio di elementi scatolari completamente prefabbricati, leggeri, per soluzioni permanenti o semipermanenti. Il sistema è risultato un'ottima soluzione, tanto che, ad oggi, più di 1000 *Space box*<sup>®</sup> sono stati posizionati sul territorio olandese. **Fig.7**



Figura 7 - Mart de Jong, *Space box* Utrecht.

## IL PROGETTO

Si è scelto di utilizzare un sistema edilizio a piccoli elementi, basato sull'assemblaggio in opera di componenti semplici: un telaio strutturale, solai e pannelli di tamponamento, questi ultimi senza alcuna funzione strutturale. Tale progetto è stato affrontato sotto tre diversi punti di vista: architettonico, tecnologico e strutturale.

I principali requisiti cui deve, in ogni caso, rispondere il sistema sono:

- versatilità di impiego;
- flessibilità d'uso;
- rapidità di installazione;
- rapida producibilità (o disponibilità di scorte in magazzino);
- facilità di trasporto e montaggio;
- possibilità di smontaggio, stoccaggio, riutilizzo;

<sup>3</sup>ISO 20 da 18 mq per un nucleo composto da 1-2 persone, ISO 40 da 36 mq per nuclei da 4-8 persone.

- facilità della manutenzione;
- ottimizzazione del rapporto costo/durata.

Bisogna comunque precisare che, normalmente, i vari elementi vengono montati in situ, completamente a secco. Nel caso in cui invece tale sistema venga utilizzato per insediamenti di emergenza, i moduli, o parti di essi, possono anche essere pre-assemblati in stabilimento, nel rispetto dei limiti di trasportabilità imposti dal codice della strada e sono quindi classificabili come unità abitativa a blocco o blocchi pre-assemblati.

Il "modulo base" è un elemento di forma parallelepipedica approssimabile ad un cubo, che si può accostare ad altri elementi spaziali in modo da ottenere la configurazione volumetrica desiderata. Tale modulo di solito ha dimensioni pari a 3,2 x 3,2 x 3 m ma, per rendere più flessibile il sistema compositivo, è stato previsto anche il "mezzo modulo" con dimensioni pari a 1,6 x 3,2 x 3 m; tali dimensioni sono state scelte in modo da permettere un appropriato sviluppo in pianta dell'abitazione, sia nel caso dell'insediamento provvisorio per l'emergenza, sia nel caso dell'edificio vero e proprio. **Fig.8**

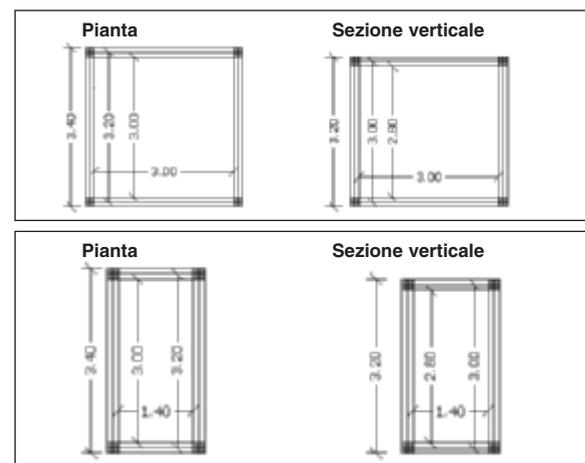


Figura 8 - Sezione verticale e orizzontale del modulo e del mezzo.

Nel primo caso nel dimensionare gli alloggi, si è fatto riferimento alle linee guida ed al manuale tecnico di protezione civile, che propone delle configurazioni tipo dei container<sup>3</sup>. Data la flessibilità del sistema costruttivo, si propongono tre ulteriori alternative: da 24 mq per i nuclei da 1-2 persone; da 36 mq per i nuclei da 4 persone e da 56 mq per quelli da 6 persone.

Nel caso degli alloggi per l'emergenza, i moduli bagno, risultano quasi sempre collocati all'interno del mezzo modulo, in modo tale, se necessario, da poter essere preassemblati in stabilimento e trasportati nel luogo dell'insediamento come blocchi.

Tutte le distribuzioni spaziali possono essere ampliate tramite l'applicazione di speciali *moduli contenuti*, utilizzati come "contenitori" di blocchi di arredo (i sanitari, la cucina, il letto ribaltabile), che vanno a sostituirsi alla parete incastrandosi nella struttura. Questi elementi, una volta assemblati ai *moduli base*, permettono di ottenere combinazioni di unità abitative che risultano diversificate le une dalle altre, anche in funzione delle esigenze degli utenti. **Fig.9**

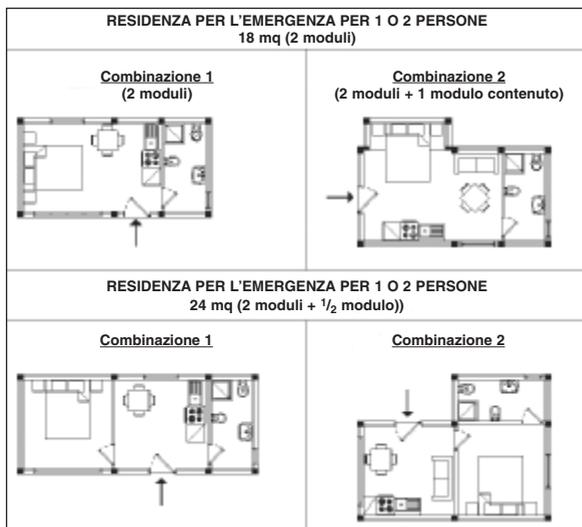


Figura 9 - Pianta residenze per l'emergenza per nuclei da 1 o 2 persone

Il sistema, per come è stato concepito, si presta all'assemblaggio anche in verticale degli elementi, permettendo la creazione di diverse tipologie di edificio. Ad esempio ne è stata sviluppata una di quattro piani fuori terra, in cui la struttura di collegamento verticale, costituita da vano scala e da un vano ascensore, risulta "scollegata" dal resto della struttura e contenuta in un blocco composto da moduli speciali. L'edificio è composto da varie tipologie di appartamenti, dal monolocale all'appartamento per nuclei da 5 persone, compreso un alloggio per disabile. Gli spazi elementari delle abitazioni sono stati progettati utilizzando le disposizioni del regolamento edilizio del comune di Firenze, relativamente alle aree minime previste, nell'ottica di un'edilizia economica. Il sistema è risultato, quindi, adatto a soddisfare i requisiti dimensionali richiesti. Il fabbricato così ideato, ha una superficie pari a 400mq per ogni piano e ospita, nella combinazione proposta, un totale di 21 appartamenti. **Fig.10**



Figura 10 - Pianta piano tipo e prospetti dell'edificio.

## Il telaio strutturale

Il sistema costruttivo, come già accennato, può essere definito come un'unità costituita da un insieme di sistemi tecnologici, la cui realizzazione prevede l'assemblaggio in opera di piccoli elementi.

Il telaio metallico è costituito da aste e nodi, che vengono assemblati tramite un giunto a cannocchiale. Si è scelto di utilizzare, per le aste, 4 profili scatolari 100 x 100 mm di piccolo spessore, sagomati a freddo, saldati tra loro; il nodo, invece è costituito da un unico elemento 200 x 200 mm, rinforzato da una croce all'interno. Dentro ogni profilo che compone l'asta vi è contenuto un profilo di dimensione inferiore, che costituisce il collegamento. Gli elementi interni, dotati di fori rinforzati per permettere l'unione, scorrono dentro le aste grazie ad un foro asolato presente sui profili e si inseriscono nel nodo; una volta raggiunta la posizione il giunto viene bullonato. **Fig. 11**

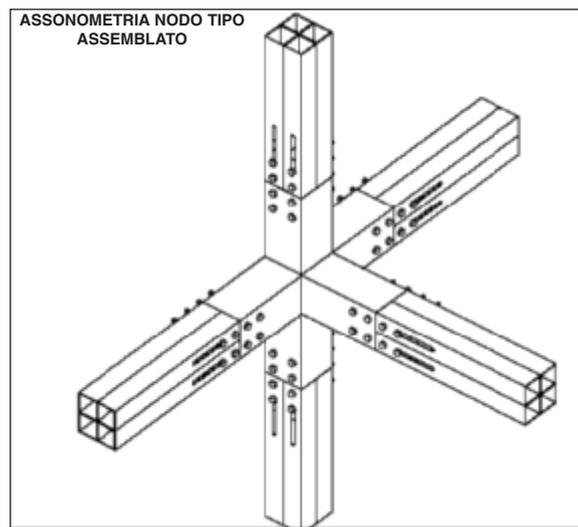


Figura 11 - Vista assonometria di un nodo tipo assemblato.

## I solai

Assemblata, poi, la struttura vengono montati a secco i solai ed i tamponamenti esterni, collegati alla stessa tramite degli elementi ad L, preventivamente saldati ai profili; bisogna precisare che, per quanto riguarda questi componenti, sono stati utilizzati dei sistemi di produzione corrente, pertanto non sono stati approfonditi gli aspetti energetici del progetto.

Nel caso delle chiusure orizzontali, si è fatto riferimento al sistema Legnolego®: una struttura in legno massiccio che, fornita a moduli, viene montata a secco in tempi brevi. Questo metodo brevettato è utilizzabile nell'edilizia bioecologica e predisposto per l'impiego in zona sismica.

Si è scelto un solaio con vano tecnico per il passaggio degli impianti, caratterizzato da costoloni dotati di un separatore per il contenimento dell'assito tecnico che posa su uno strato di juta.

Sopra lo stesso assito il sistema prevede un materassino di juta da 5 mm ed un pavimento prefinito flottante in legno dotato di incastro speciale che non necessita né di colle né di chiodi; in qualsiasi momento della vita della casa sarà possibile sganciare il pavimento, arrotolare la juta e sollevare l'assito tecnico per ispezioni, riparazioni o modifiche. La richiusura del pacchetto solaio è molto rapida e non richiede sostituzione di alcuna parte. Il solaio viene collegato alla struttura portante attraverso dei profili ad L di acciaio saldati alle travi, tramite un giunto bullonato.

### **Le chiusure verticali**

Le chiusure verticali perimetrali sono state pensate costituite da due parti, una esterna, completamente prefabbricata collegata alla struttura portante tramite delle "L" di acciaio saldate all'intradosso ed all'estradosso delle travi, attraverso viti autoforanti; ed una interna da montare a secco in situ.

Il "modulo parete esterno" viene montato in un unico blocco tramite una gru ed è inserito all'interno della struttura in aggetto rispetto ai profili esterni, per permettere l'isolamento ed il rivestimento delle travi e dei pilastri. Tale modulo è stato progettato prendendo come esempio la produzione Aquapanel® dell'azienda Knauf, al fine di proporre un modello realistico.

Le pareti Knauf sono composte essenzialmente da:

- orditura metallica (a norma UNI-EN 10142 e DIN 18182)
- rivestimento in lastre di gesso rivestito (a norma UNI 10818 e DIN 18180).

Le pareti così realizzate si identificano anche come "pareti leggere", in quanto il peso specifico di un tramezzo "a secco" è 8 - 10 volte inferiore a quello di un tramezzo in muratura.

Questa tipologia di pareti ha funzione autopportante e si presta ad essere inserita in un edificio con ossatura a telaio, il tamponamento è ottenuto tramite le 2 pareti, che sono poste ad una distanza di 1 cm l'una dall'altra, la doppia orditura metallica consente di eliminare il ponte termico dato dai profili stessi e di gestire lo spessore del tamponamento distanziando le orditure.

Il "pacchetto parete esterno" è contenuto all'interno di 4 profili ad U, due orizzontali di dimensioni 140 x 80 x 2 mm e due verticali di 140 x 50 x 2 mm. La struttura portante della parete esterna è costituita dall'orditura metallica: profili di spessore non inferiore a 0,8 mm, ottenuti da un laminato a freddo di acciaio rivestito in continuo per immersione a caldo in lega di alluminio e zinco, adatti per esterni ed ambienti umidi.

I profili sono di due tipi:

- guide ad "U" 100 x 40 x 0,8 mm orizzontali da inserire in quelle contenitive precedentemente nominate;
- montanti a "C" 100 x 40 x 0,8 mm da inserire nelle guide, posti ad un interasse di 60 cm tra loro.

Il dimensionamento dell'orditura metallica viene effettuato dalla ditta produttrice considerando come parametri l'altezza della parete e tutte le sollecitazioni presenti. Per contenere le trasmissioni acustiche viene applicato un nastro monoadesivo di guarnizione isolante in polietilene espanso sull'anima delle guide ad U. Le aperture tipo porte e finestre vanno individuate subito in modo da posizionare correttamente i montanti a "C", l'interasse di 60 cm è stato scelto anche per agevolare questa operazione.

Tra i montanti è inserito il materassino di lana isolante, che può essere di diverso tipo. Si utilizzano normalmente materiali fibrosi (tipo lana di vetro e lana di roccia) di vario spessore e densità, per incrementare le prestazioni di isolamento termico e/o acustico della partizione. Trattandosi, in questo caso, di pareti esterne, si opererà con densità medio-alte: lane di roccia, con alti punti di fusione (>1000°C), che incrementano l'isolamento termico anche alle alte temperature di incendio, conferendo migliori proprietà di protezione al fuoco alla partizione.

All'interno le orditure metalliche sono rivestite con un doppio strato di lastre in cartongesso di spessore 12,5 mm ciascuna, all'esterno con una lastra in cemento fibrorinforzato con rete di armatura sulle due superfici, adatta per impieghi in ambienti esterni. Le lastre sono collegate ai montanti tramite delle viti poste ad interassi prestabiliti. La parete esterna, così composta, arriva in cantiere già montata e viene dunque direttamente collegata alla struttura. Il rivestimento con le lastre Aquapanel® è stato utilizzato anche come rivestimento esterno degli elementi strutturali, interponendo del materiale isolante, contribuendo, così, alla soluzione dei ponti termici strutturali. Per fare ciò la parete esterna è stata posizionata a sbalzo rispetto alla struttura per circa 1/3 del suo spessore. Nell'edificio, oltre al tamponamento, potrebbe essere prevista una facciata ventilata, che sarà ancorata in corrispondenza della struttura metallica della parete, che andrà adeguatamente dimensionata, o un semplice rivestimento con soluzioni e materiali di vario tipo.

### **Fig.12**

Il "pacchetto parete interno" viene invece montato in opera, anche se sempre completamente a secco; è costituita dagli stessi montanti e guide precedentemente descritte, ma con un diverso rivestimento, questo è costituito da 2 lastre in cartongesso sia all'interno che all'esterno. Le guide vengono montate in modo da lasciare un'intercapedine di 1 cm tra l'ultima lastra interna del "pacchetto parete esterno" e la prima esterna della parete interna. La guida inferiore viene direttamente collegata al solaio in legno, quella superiore, invece, è collegata alla struttura tramite una "L". In questo caso, sull'anima dei montanti, sono presenti asole per il passaggio di canalizzazioni impiantistiche, pertanto, prima di posizionare lo strato isolante verranno collocati gli impianti, che potranno essere collegati con il vano tecnico del solaio.

Anche le pareti interne, sono costruite in opera a secco, con un sistema simile a quello precedentemente descritto.



Figura 12 - Viste assonometriche dell'edificio con varie alternative di rivestimento.

## IL PROGETTO DELLA STRUTTURA

Nel progettare la struttura sono state studiate due possibili alternative di spessore per i profili di travi e pilastri, che risultano uguali in sezione, nell'ottica di una produzione industriale della struttura. Questa risulterà, quindi, adattarsi, a seconda dei profili utilizzati, a combinazioni tridimensionali di moduli differenti, in questa sede ne è stata studiata una in particolare, di quattro piani fuori terra, che ha permesso di rilevare i limiti strutturali del sistema costruttivo, emersi nel caso in cui si prenda in considerazione la progettazione per azioni sismiche.

Il comportamento dell'edificio è stato valutato considerando due tipologie di sezioni, una ottenuta con 4 profili di spessore pari a 2mm e l'altra tramite profili di spessore pari a 3 mm. I profili utilizzati sono sempre uguali in sezione.

La struttura è stata modellata all'interno del programma "Sap 2000NL v.11.0.0", in cui sono stati definiti i vari casi di carico, poi attribuiti agli elementi come carichi distribuiti. Agli Stati Limite Ultimi sono state studiate sei combinazioni di carico e le azioni accidentali sono state attribuite a scacchiera nella struttura. L'orditura del solaio è stata considerata alternata, data la possibilità di montare ogni modulo-solaio indipendentemente dagli altri. Per l'analisi dei carichi sono state seguite le prescrizioni del D.M.2008, per il carico della neve e per il vento si è utilizzato un valore medio di riferimento data la volontà di considerare la struttura insediabile in una molteplicità di zone dell'Italia. **Fig.13**

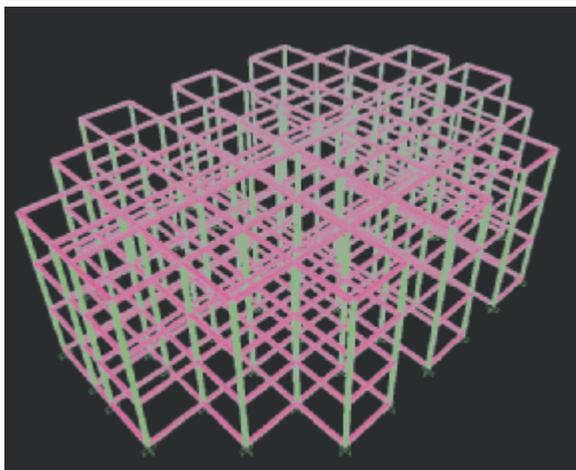


Figura 13 - Modellazione della struttura all'interno del programma Sap2000NL.

La valutazione dell'azione sismica è stata condotta tramite un'analisi dinamica modale o "analisi lineare dinamica", associata allo spettro di risposta di progetto, su un modello tridimensionale dell'edificio. Per conferire generalità all'analisi e poter considerare la più ampia casistica di tipologie di terreno e gradi di sismicità, lo spettro è stato definito in conformità alle indicazioni del "Testo integrato dell'Allegato 2 - Edifici - all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05", che suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche e distingue tra 5 categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione. Le analisi sono state ripetute per ogni combinazione zona sismica-tipo di terreno, al fine di verificare il comportamento della struttura<sup>4</sup>.

Si è scelto di utilizzare profili sagomati a freddo, sia perché lo prevede la normativa in caso di spessori così sottili, sia per l'idoneità nell'ottica di un processo di produzione industrializzato. Il loro impiego, nell'analisi plastica è fortemente limitato da molte normative, in ragione delle scarse conoscenze disponibili riguardo alla duttilità di detti profili; dato che il D.M. del 2008 lo consente, si è,

<sup>4</sup>La normativa attuale prevede che lo spettro di progetto per gli SLU e gli SLD venga dedotto dallo spettro elastico. Nell' "Allegato B alle Norme Tecniche per le Costruzioni" sono contenute le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica. Vengono forniti, per 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri  $ag$ ,  $F_0$ ,  $T^* C$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

quindi, scelto di progettare la struttura senza tener conto degli effetti benefici legati ad un comportamento non lineare (duttilità). In normativa, infatti, sono previste due categorie di strutture in acciaio aventi comportamenti differenti sotto l'evento sismico: strutture dissipative e strutture non dissipative. Queste ultime devono essere progettate per rimanere in campo elastico anche sotto sismi severi; ciò sarebbe impensabile per una struttura in cemento armato, ma risulta, invece, plausibile per una struttura in acciaio, data la leggerezza dei suoi componenti. I vantaggi che questo tipo di progettazione comporta sono dovuti al fatto che è ammesso il calcolo in campo elastico lineare senza bisogno di utilizzare particolari prescrizioni nella verifica delle aste o dei collegamenti, e ciò rientra pienamente nell'ottica di una progettazione "standardizzata".

Si è ipotizzato di utilizzare questa struttura in tutte e quattro le zone sismiche di riferimento, considerando le tipologie di terreno A, C, E, per valutare l'adattabilità del sistema alle diverse casistiche possibili.<sup>5</sup>

Le azioni di calcolo stimate dalle analisi, hanno consentito di evidenziare i limiti della struttura a seconda dello spessore dei profili utilizzati. Bisogna precisare che il "D.M. 2008" prevede una classificazione delle sezioni in acciaio, con lo scopo di quantificare l'influenza dei fenomeni di instabilità locale sulla resistenza e sulla capacità deformativa di questo genere di sezioni; tale classificazione dipende dal rapporto tra la larghezza e lo spessore delle parti della sezione soggetta a compressione. Dallo studio è emerso che i profili di 2mm risultano in classe 4, pertanto, sono state effettuate le verifiche tenendo conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione.

La sezione geometrica effettiva è stata sostituita con una *sezione efficace*, questo perché vi sono parti delle sezioni che, sottoposte a compressione, non collaborano alla resistenza totale e sono considerate inefficaci. I profili di spessore pari a 3 mm sono risultati, invece, in classe 1.

I profili da 2mm saranno quindi sicuramente utilizzati per la costruzione dei moduli abitativi per l'emergenza, inoltre, sono risultati idonei su qualsiasi tipo di terreno in zona 4 e nei terreni A,B,C in zona 3. I profili da 3 mm, invece, sono utilizzabili in tutti i tipi di terreno in zona 4 e 3 e nei terreni del tipo A in zona 1 e 2. In sostanza sono 6 le combinazioni Zona-tipologia di terreno in cui la struttura non risulta verificata, casi in cui si suggerisce, ad esempio, l'inserimento di elementi di controventamento dissipativo, il cui studio non è stato approfondito nella tesi. È sconsigliato l'utilizzo dell'isolamento sismico data la flessibilità del sistema, caratterizzato da un elevato periodo proprio già nella condizione di base fissa.

## CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente lavoro era quello di verificare la possibilità di progettare un sistema co-

struttivo per produrre case stabili con tempi e costi ridotti, utilizzando moduli tridimensionali, aggregabili sia verticalmente che orizzontalmente, in modo da ottenere alloggi facilmente montabili, trasformabili e trasportabili e che, inoltre, garantiscano a tutti, anche nelle situazioni transitorie e di breve periodo, la dignità dell'abitare.

La sostenibilità del progetto è insita nei materiali utilizzati (l'acciaio, il solaio in legno e il cartongesso) tutti riciclabili al cento per cento e nel sistema costruttivo, stratificato a secco, risultato dell'accostamento di elementi realizzati in ambiente controllato. Queste scelte consentono una sostanziale riduzione degli scarti e di tutte quelle lavorazioni che possono essere nocive in cantiere, una facile sostituzione degli elementi durante la vita utile dell'edificio ed il riutilizzo e riciclaggio dei componenti alla fine della vita utile. Inoltre, l'utilizzo dei profilati formati a freddo comporta un consumo energetico ridotto e l'assenza di emissione di gas nocivi.

Il rispetto degli standard qualitativi di comfort e benessere, già difficile da raggiungere nel vivere comune, appare quasi impossibile nelle situazioni di emergenza benché siano proprio queste le occasioni in cui tali requisiti possono consentire un più rapido ritorno alla "normalità". È per questo motivo che si è cercato di andare oltre le soluzioni utopiche degli ultimi anni, protagoniste di molti concorsi e studi svolti sul tema, con un progetto in grado di adeguarsi alle diverse esigenze, dall'emergenza ai nuovi bisogni dell'abitare contemporaneo, grazie all'adattabilità del sistema stesso a varie tipologie di finiture che saranno, ogni volta, le più opportune a soddisfare i bisogni degli utenti che vi abiteranno.

La competitività della tecnologia qui utilizzata è legata, inoltre, a tutte quelle prerogative proprie di un processo di produzione industriale, che permetta un abbattimento dei costi. Infatti, se è vero che la prima volta in cui viene fabbricato un prodotto, o fornito un servizio, i costi sono elevati, il lavoro è inefficiente, la qualità è marginale e il tempo viene sprecato, è altresì vero che quando questo prodotto diventa frutto di un'esperienza acquisita, si avrà non solo una diminuzione dei costi, ma un miglioramento dell'efficienza e della qualità, con una relativa riduzione degli scarti. A tal proposito un ausilio importante è fornito dalle "curve di apprendimento" (talvolta chiamate anche "curve di esperienza") che vengono utilizzate per analizzare un fenomeno noto e facilmente osservabile: gli uomini diventano sempre più efficienti con l'esperienza.

## BIBLIOGRAFIA

BOLOGNA R., TERPOLILLI C. (a cura di), "Emergenza del progetto, progetto d'emergenza. Architetture con-temporaneità", Motta Editore, Milano, 2005.

CAVALLARI L. (a cura di), "Abitare e costruire in emergenza. Tecnologie per l'adeguamento dell'habitat provvisorio", Salla Editori.

CECERE T., GUIDA E., MANGO R., "L'abitabilità transitoria. La ricerca architettonica per nuove strategie abitative", F.lli Fiorentino, Napoli, 1984.

<sup>5</sup>Bisogna ricordare che le tipologie di terreno considerate dalla normativa sono in realtà cinque: la categoria A, descritta come "ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi", la B "rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti", la C "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti", la D "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti" ed infine la E, costituita da "Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore ai 20 m".

CLAUDI DE SAINT MICHEL C., "Strategie integrate per la progettazione e produzione di strutture temporanee per le emergenze insediative", CLEAN, Napoli, 2003.

CORNOLDI A., VIOLA F. (a cura di), "Nuove forme dell'abitare", CLEAN, Napoli, 1999.

DAVIS I., "Disaster and the small dwelling", Pergamon Press, Oxford, 1981.

DEL VALLE C., "Compact Houses: Architecture for the Environment", Universe Edition, 2005.

DONATO, GUAZZO, "Abitazioni per l'emergenza. Ricerca di un sistema abitativo trasferibile", Edizioni Venturo, Roma, 1983.

FALASCA CARMINE CARLO, "Architetture ad assetto variabile. Modelli evolutivi per l'habitat provvisorio", Alinea Editrice, Firenze, 2000.

FOTI M. (a cura di), "Progettare per l'autocostruzione", Ed. CULT, Torino, 1991.

GAMBARDELLA A., "La Casa Mobile", Ed. Electa, Napoli.

IRACE F. (a cura di), "Casa per tutti. Abitare la città globale", Triennale Electa,

KRONENBURG R., "Portable Architecture", Architectural Press, Oxford 1996.

LE CORBUSIER, (trad. a cura di P. Cerri e P. Nicolin), "Verso un'architettura", Longanesi, Milano, 1984.

MANGO R., GUIDA E., "Abitare l'Emergenza", Ed. Electa, Napoli, 1988.

RICHARDSON P., "XS: Big Ideas, Small Buildings", Thames & Hudson Edition, London 2001.

SEMINO R., "Sistemi Autocostruibili per il progetto di strutture estensibili", Ed. Joshua Libri, Genova 1996.

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, "Manuale tecnico per l'allestimento delle aree di ricovero per strutture prefabbricate di protezione civile", Roma, 2005.

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, "Linee guida per l'individuazione delle

aree di ricovero per strutture prefabbricate di protezione civile", Roma, 2005.

MANUALE DI PROGETTAZIONE EDILIZIA Vol. 1-2, Hoepli.

BALLIO G., MAZZOLANI F. "Strutture in Acciaio", Hoepli.

GHERSI A. (a cura di), "Costruire con l'acciaio. Ricerca scientifica e tecniche costruttive", Dario Flaccovio Editore.

IANNACCONE WALTHER, "Strutture Portanti in Lamiera d'Acciaio", Biblioteca tecnica Hoepli, Hoepli.

MAZZOLANI F., LANDOLFO R., DELLA CORTE G., FAGGIANO B., "Edifici con Struttura di Acciaio in Zona Sismica", IUSS Press.

PETRINI L., PIHNO R., CALVI G., "Criteri di Progettazione Antisismica degli Edifici", IUSS Press.

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. 14 gennaio 2008, "Norme tecniche per le costruzioni".
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003.
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3431 del 03/05/2005.
- Norma Europea UNI EN 10219-1:2006, "Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate, Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura".
- Norma Europea UNI EN 10219-1:2006, "Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate, Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo".
- Eurocodice 3, "Progettazione delle strutture di acciaio Parte 1-3: Regole generali, Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".
- Regolamento Edilizio del Comune di Firenze, Capitolo XIII: Requisiti specifici degli edifici per abitazione.