

ARCHITETTURA E INGEGNERIA

Architettura modulare prefabbricata: dalla prefabbricazione al modulo – Parte I

► di Rosa Petruzzelli

Ingegnere edile

Il settore della produzione edilizia è in continua e rapida evoluzione per fornire risposte sempre più adeguate alle istanze della progettazione attenta ai risvolti ambientali ed energetici.

In questo quadro, la ricerca di soluzioni tese a migliorare le tecniche tradizionali a umido è affiancata dal ritorno in auge della tecnologia stratificata a secco. Si tratta di un sistema di costruzione alla base delle architetture modulari che prevede il controllo nelle varie fasi di produzione e lavorazione nelle industrie, conferendo un maggior grado di qualità.

Il modulo, frutto di questo processo realizzativo, è ideale per poter rispondere alle emergenze nate dal verificarsi di eventi sismici, dalla propagazione di pandemie nonché dall'obbligo di adeguamento e miglioramento sismico di strutture esistenti. Difatti, la tecnica della prefabbricazione consente di fornire spazi pronti all'uso in tempi ridotti e con un alto grado di soddisfacimento dei requisiti ambientali ed energetici.

La trattazione che segue è suddivisa in due parti. La prima parte, qui pubblicata, delinea le caratteristiche del sistema costruttivo a secco, le sue potenzialità e il suo campo di applicazione.

La seconda parte, che sarà pubblicata sul prossimo numero, definirà nel dettaglio le componenti di un modulo nel rispetto delle normative energetiche vigenti al fine di realizzare strutture ad energia quasi zero

Architettura modulare prefabbricata

Le potenzialità

La prefabbricazione è il termine generale con il quale ci si riferisce a qualsiasi componente fabbricato in luogo differente dal sito ultimo di collocazione. Con riferimento al settore edilizio, si intende la realizzazione fuori opera di elementi, componenti edilizi e/o sottosistemi degli edifici.

Questi forgiati in fabbrica, in un ambiente altamente controllato grazie all'impiego di macchinari tecnologicamente settati e soggetti a continue verifiche, rispettano le prestazioni predefinite in fase progettuale e sono pronti per poter essere assemblati in fabbrica oppure trasportati nel sito di installazione dove seguiranno le fasi di montaggio.

Tanto premesso, è possibile delineare le seguenti potenzialità della prefabbricazione e di conseguenza del sistema costruttivo a secco:

- **sostenibilità ambientale:** la progettazione e l'impiego di connessioni e giunzioni a freddo limitano al minimo l'uso di sostanze chimiche come collanti e resine ed evitano l'uso di malte il cui confezionamento richiede un consistente quantitativo di acqua e quindi un consumo di risorse. Altresì, l'assemblaggio e il disassemblaggio delle strutture prefabbricate modulari in fabbrica o *in loco* riducono notevolmente i rifiuti tradizionalmente prodotti in cantiere con conseguente semplificazione delle fasi di differenziazione dei rifiuti, nonché di riciclaggio dei materiali e riuso dei componenti. Tale contributo, a vantaggio del rispetto dell'ambiente, si avvalorizza grazie alla versatilità del modulo, dal momento che lo stesso può essere adattato per rispondere a diverse esigenze durante il suo ciclo di vita;
- **velocità di realizzazione:** i tempi di realizzazione rispetto alle architetture tradizionali sono brevi in



Figura 1 – Modulo prefabbricato, modalità di trasporto attraverso camion con gru

quanto le aziende produttrici forniscono una gamma di moduli con formula “chiavi in mano”. Si tratta di moduli completi e funzionanti, dotati di ogni finitura e di impianti già installati. I tempi che intercorrono dalla produzione alla fruizione, in questo caso, dipendono solo dal trasporto dal deposito/azienda al sito e dai tempi di assemblaggio qualora siano previsti più moduli per la definizione spaziale;

- **flessibilità:** caratteristica intrinseca dovuta al poter aggiungere, sottrarre e modificare i componenti dei moduli dando vita a spazi altamente flessibili che rispondono alle esigenze specifiche di ciascuna committenza;
- **facilità di trasporto:** le dimensioni predeterminate consentono il trasporto su mezzi ordinari come navi ed autogru di moduli assemblati nella loro configurazione spaziale o trasportati in modalità *flat pack*. In questo caso, ogni modulo è di-

sassemblato nelle sue componenti, in particolare modo il basamento e la copertura diventano elementi dell'imballo, all'interno del quale vengono inseriti tutti gli elementi impiantistici, strutturali e non, con i componenti necessari al montaggio. Questo sistema di trasporto consente una riduzione dei volumi e la possibilità di non effettuare il trasporto eccezionale con conseguente aumento dei costi;

- **gestibilità:** La composizione della stratificazione a secco per la sua facilità e scomponibilità è orientata all'ottimizzazione dei tempi e delle fasi di manutenzione. Nel ciclo di vita della struttura, infatti è possibile rimuovere o effettuare il ripristino di un componente senza la necessità di intaccare altre porzioni costituenti il manufatto. La rapidità dell'intervento localizzato garantisce lo svolgimento delle attività negli spazi senza particolari interruzioni.



Figura 2 – Modalità di trasporto *flat pack*



Figura 3 – Modulo prefabbricato

I gradi della prefabbricazione e la definizione dimensionale del modulo

La costruzione stratificata a secco è frutto della giustapposizione di diversi componenti, con diversi gradi di complessità e specializzazione. Si utilizzano, infatti, profili di supporto, pannelli e stratificazioni di materiali isolanti che nel complesso definiscono il manufatto.

L'avvio di un processo di progettazione necessita a monte della scelta del grado di fabbricazione che si vuole adottare per poter valutare al meglio il rapporto di convenienza fra le prestazioni offerte dai componenti prefabbricati e quelle complessive del sistema. In generale, con grado di prefabbricazione si intendono la

complessità e le dimensioni dei componenti prefabbricati che portano alla configurazione finale del prodotto. Si possono distinguere quattro gradi di prefabbricazione:

1. i materiali: colonne e travi di diverso materiale come legno o acciaio;
2. i componenti: singoli elementi come scale, infissi la cui messa in opera richiede particolare attenzione alle connessioni, agli allineamenti e ai controlli di stabilità;
3. i pannelli, sistemi 2D: elementi bidimensionali, il cui grado di prefabbricazione è di circa il 60%, utilizzati per realizzare pareti strutturali, solai e coperture;

4. i moduli, sistemi 3D: noti anche con il termine di PPVC (*Prefabricated Prefinished Volumetric Construction*), sono unità strutturali tridimensionali, il cui grado di prefabbricazione sale fino all'85%, o nel caso di presenza di finiture interne anche al 95%.

Generalmente la costruzione fuori sito adotta un sistema unico o un sistema ibrido, combinando i diversi gradi di prefabbricazione.

La definizione delle dimensioni dei moduli prevede il richiamo agli standard definiti dall'International Organization for Standardization (ISO). In particolare, la norma ISO 668:2020 specifica le dimensioni dei container, le funzionalità, le applicazioni e i limiti strutturali.

Il rispetto delle dimensioni limite definite dalla suddetta consente la facilità di trasporto con appositi mezzi ordinari. Di seguito, si riportano le dimensioni standard dei container più utilizzati in ambito edilizio:

- container ISO 20' con dimensioni esterne: larghezza pari a 2,438 m, lunghezza di 6,058 m ed un'altezza massima di 2,896 m;
- i container ISO 40' con dimensioni esterne: larghezza 2,438 m, lunghezza 12,192 m ed altezza massima pari a 2,896 m.

Le dimensioni dei container sono tali, come accennato, da consentire il trasporto su autoarticolati ma è necessario notare che l'altezza massima risulta esser pari a 2,896 metri.

In relazione alle suddette dimensioni, le gamme di moduli presenti sul mercato hanno un'altezza minima di 2,20 m, alla quale seguono 2,50 m e 2,70 m. Per questi valori, il trasporto può essere effettuato su autocarri dotati di gru per il sollevamento e posizionamento dei moduli, rispettando i valori limiti imposti dal Codice della strada.

Qualora la dimensione dei moduli superi i 2,70 m, il trasporto diventa un trasporto eccezionale, così come definito all'art. 61, comma 6 del Codice della strada. Questo è il caso delle unità base aventi una destinazione d'uso scolastica, per i quali l'altezza minima interna è fissata a 3,00 m, ai sensi del decreto ministeriale 18 dicembre 1975, salvo deroghe. L'effettuazione di un trasporto eccezionale comporta un maggiore onere che incide sul costo complessivo della realizzazione; per tale ragione le aziende possono ricorrere alla modalità *flat pack*.

La struttura del modulo

Per sua natura, la costruzione stratificata a secco, detta anche struttura e rivestimento (S/R), è frutto della prefabbricazione che, come abbiamo delineato precedentemente, porta alla realizzazione di tutte le parti di cui si compone il sistema stratificato.

Il sistema più diffuso è il sistema a secco a matrice metallica ove la struttura tipica è costituita da profili in lamiera metallica a sezione sottile (3-4 mm), a forma di C o Z. Questi, detti "profilati a freddo", in quanto la loro forma è ottenuta mediante piegatura a temperatura ambiente, sono zincati o trattati con una soluzione a base di zinco e alluminio per proteggerli dalla corrosione. La loro collocazione avviene a passo regolare in base alla dimensione del modulo scelto.

La struttura basamentale è costituita principalmente da profili UPN, tubolari trasversali e omega, mentre la copertura è, nella maggior parte dei casi, costituita da profili pressopiegati tubolari trasversali ed una lamiera grecata.

La connessione tra gli elementi viene eseguita mediante incastri, placche e viti. A completamento del modulo prefabbricato con matrice metallica vi sono gli elementi non strutturali come pannelli, serramenti che, per motivi energetici ed antincendio, sono costituiti per lo più da materiale isolante ed elementi in cartongesso.

Dal modulo alla destinazione d'uso

In virtù dei caratteri intrinseci di flessibilità e aggregabilità del modulo, esso si adatta alle esigenze della committenza garantendo la possibilità di creare spazi dinamici che nel tempo possano ospitare diverse funzioni e assumere differenti configurazioni. Volgendo lo sguardo sul panorama edilizio italiano ed internazionale, la fornitura di moduli prefabbricati assume il connotato di temporaneo o permanente a seconda delle necessità. Sempre più spesso i privati hanno bisogno di ampliare i propri spazi, in tempi brevi, in attesa della conclusione degli interventi di ristrutturazione degli edifici esistenti, al fine di poter garantire una continuità delle funzioni lavorative, ed è per questo che richiedono moduli con destinazione d'uso di ufficio, spogliatoio o mense.

Nel settore pubblico le destinazioni d'uso richieste sono di tipo direzionale e scolastico. In tal senso, in diversi paesi, come in Australia e non solo, i più

grandi dipartimenti dell'istruzione si stanno impegnando in programmi di prefabbricazione per infrastrutture scolastiche permanenti. Il risultato finora raggiunto è stata la realizzazione di scuole che promuovono il maggior valore di sostenibilità e di qualità architettonica-funzionale, divenendo spazi accoglienti non solo per i ragazzi ma anche per la comunità. A tal proposito, si annovera come *best practice* il liceo 4Het Gymnasium, progettato dallo studio HVDN Architecten nel 2008 e realizzato nel quartiere di Houthavens di Amsterdam. L'edificio si sviluppa attorno ad una corte, cuore della scuola e luogo di aggregazione e socializzazione, ideale per poter svolgere attività all'aperto. Grazie alle diverse configurazioni dei moduli, articolate su tre livelli, questo liceo ospita, oltre alle aule didattiche, aule per la musica, biblioteca e mediateca.

In relazione al contesto italiano, l'analisi porta alla luce una limitata rispondenza ai modelli e requisiti

richiesti per gli edifici scolastici. In particolare, si tratta di scuole realizzate per rispondere a situazioni emergenziali. In generale, il termine "emergenziale" è sempre stato associato a condizioni post-sisma nelle quali edifici pubblici e privati erano stati gravemente danneggiati e pertanto era necessaria una ricostruzione celere di nuovi punti di riferimento collettivi e sociali.

Oggi, questo termine assume ulteriori accezioni come "emergenza Covid" e "emergenza strutturale". In riferimento alla prima, numerosi sono i moduli aula richiesti per poter ampliare gli spazi insufficienti degli edifici scolastici esistenti, al fine di garantire il rispetto delle normative di distanziamento per far fronte alla diffusione della pandemia. Le sei aule con annessi servizi igienici richiesti dal Comune di Andria (BAT), fornite ed installate nell'area pertinenziale della Scuola Primaria "Aldo Moro", sono un modello di riferimento.



Figura 4 – Scuola modulare prefabbricata temporanea, Comune di Andria, 2022



Figura 5 – Scuola modulare prefabbricata temporanea, Comune di Rosignano Marittimo, 2021

Per quanto attiene alla seconda, la richiesta da parte delle amministrazioni di garantire la sicurezza sismica degli edifici scolastici ha portato le stesse a richiedere la fornitura temporanea di moduli prefabbricati ad uso scolastico, nelle more dell'avvenuta esecuzione dei lavori di miglioramento e adeguamento sismico; ne è un esempio la scuola secondaria di I grado "G. Fattori", realizzata nel Comune di Rosignano Marittimo nel 2021. La scuola modulare realizzata con l'assemblaggio di circa 90 moduli, in soli quaranta giorni, presenta: 16 aule, 6 ambienti destinati ad amministrativi e docenti oltre a servizi igienici per studenti e per personale ATA.

Conclusioni

In conclusione, la tecnologia dell'acciaio stratificato a secco caratterizzata da modularità, leggerezza, adattabilità e dalla possibilità di essere facilmente smontata, montata e trasportata permette di realizzare strutture con diverse destinazioni d'uso, aventi un impatto limitato sull'ambiente.

La corretta scelta del grado di prefabbricazione non-

ché del modulo atto a rispondere alle diverse esigenze è fondamentale al fine di migliorare sia le condizioni di comfort interno sia di ridurre i consumi, nel rispetto delle prestazioni richieste per un edificio.

In particolare, le finalità principali da dover raggiungere nella progettazione di una architettura modulare sono relative al consumo limitato delle risorse energetiche non rinnovabili, al soddisfacimento delle esigenze di benessere dell'utente (comfort termoisolante) e al risparmio energetico con conseguente riduzione delle emissioni nell'ambiente circostante.

Al fine di massimizzare tali obiettivi, le ricerche di settore hanno individuato delle strategie progettuali qualitative che, interagendo tra loro, influenzano in maniera sostanziale l'efficienza energetica di un edificio rendendolo ad energia quasi zero, meglio noto come edificio nZEB: il fattore di forma (S/V), l'orientamento, la distribuzione interna, le caratteristiche dell'involucro edilizio e i sistemi impiantistici. Tali temi saranno affrontati nel dettaglio nella seconda parte della seguente trattazione.