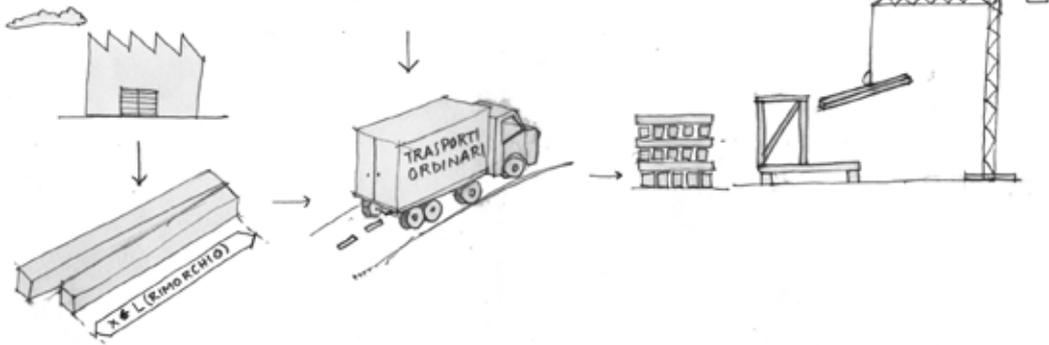


## **IV PARTE | IL SISTEMA COSTRUTTIVO**

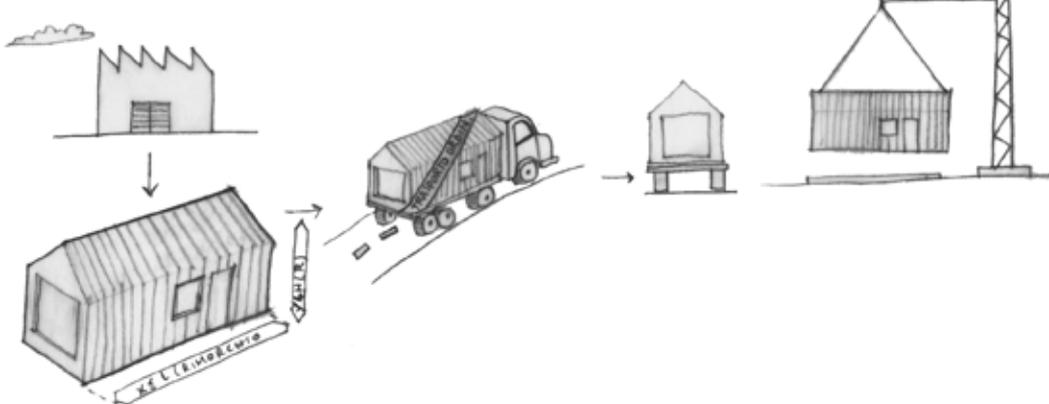
PER OGNI TRASPORTO  
 $n=26 \div 32 \text{ t}$



PER OGNI TRASPORTO  
 $n=26 \div 32 \text{ t}$



PER OGNI TRASPORTO  
 $n=1$



Peso  $\leq 26 \div 32 \text{ t}$

## IV parte | Il sistema costruttivo

### IV.1 Lineamenti generali

- le scelte tecnologiche tra produzione in fabbrica, a piè d'opera e in opera
- le scelte tecnologiche tra sistemi costruttivi in 3D, 2D e 1D
- le scelte tecnologiche tra materiali prevalenti (CLS, acciaio, legno)

Il progetto S.A.T.O.R. si propone, come detto in precedenza, come sistema in grado di accogliere e di adattarsi ai gradi di libertà e di vincoli delle tecnologie presenti all'interno del mercato produttivo per l'edilizia. Si è proceduto quindi ad una ricognizione concettuale dei repertori possibili e adeguati alla costruzione in situazioni di emergenza cui rispondere attraverso la strategia dell'alta densità residenziale.

Per trattare quindi il tema del sistema costruttivo, o anzi meglio dire dei sistemi costruttivi che meglio sono capaci di rispondere alle proprietà del sistema S.A.T.O.R., si è proceduto attraverso una rassegna delle soluzioni tecnologiche disponibili, a partire da quelle più tradizionali fino ai livelli di industrializzazione più elevati, definire le diverse modalità di assemblaggio degli elementi e quindi le diverse operazioni in fase di cantiere. Il passaggio successivo è stato quello di elencare gli indicatori a cui il sistema costruttivo avrebbe dovuto rispondere, in modo da poterli incrociare con le soluzioni tecnologiche e le modalità di assemblaggio conseguenti e valutare il grado di congruità di tutto il sistema con i risultati richiesti.

Le soluzioni tecnologiche si possono, quindi, enucleare sulla base della "forma" degli elementi:

- > 1D: componenti monodimensionali, cioè elementi lineari di un telaio, di un *balloon frame* o *steel frame*, ad esempio;
- > 2D: componenti bidimensionali, pannelli, anche con sottostruttura costituita da elementi lineari;
- > 3D: componenti tridimensionali o volumetrici già assemblati, almeno nella parte strutturale del sistema, in stabilimento, con sottostruttura costituita da elementi lineari o pannelli;

le quali fanno riferimento alle tre diverse modalità di assemblaggio dei componenti, che tradizionalmente sono:

- > in opera
- > a piè d'opera
- > in fabbrica e assemblato in opera

Ad ogni modalità consegue una minore o maggiore complessità delle operazioni di cantiere, direttamente proporzionale alla sua "pulizia", ai macchinari necessari e alla specializzazione della manodopera.

Gli indicatori di riferimento, sulla base dei quali operare delle scelte strategiche con le quali indirizzare le eventuali imprese realizzatrici, sono stati definiti sia relativamente al

“peso” che possono determinare sul contesto, sia per la reale definizione del carattere di temporaneità, e possono essere riassunti in:

- > trasportabilità
- > impatto col suolo
- > impronta del manufatto
- > rapidità costruttiva
- > flessibilità
- > dismissione
- > riciclabilità/riuso
- > anti-sismicità
- > basso costo

*trasportabilità*: cioè la capacità del componente, nelle sue varie “forme” di essere trasportato e movimentato in cantiere, attraverso procedure ordinarie;

*impatto col suolo*: tale requisito indica il livello di impatto determinato dal tipo fondale scelto, sia dal punto di vista della tipologia delle fondazioni, se puntiformi o continue, ad esempio, e sul grado di impatto relativo alla “pesantezza” del materiale con cui sono realizzate;

*impronta del manufatto*: ovvero l’impronta che il manufatto produce sul territorio, cioè il rapporto tra la forma dell’edificio e l’occupazione di suolo che si determina se, ad esempio, compatta o lineare, sghemba o disarticolata.

*rapidità costruttiva*: cioè la capacità del sistema di essere realizzato in tempi brevi e con il minimo di operazioni possibili, derivanti da una razionalizzazione e semplificazione del progetto; questo aspetto, in emergenza, assume un ruolo fondamentale, in quanto non significa solo un risparmio di risorse quanto una rapida risposta all’esigenza abitativa;

*flessibilità*: cioè la disponibilità del sistema ad adattarsi alle necessità abitative, una volta individuata l’utenza “reale”, alle necessità di contesto – climatiche, orografiche, ecc., e ad offrire una variabilità architettonica e morfologica, atta a garantire un elevato grado di qualità dei quartieri di emergenza, superando la logica della “palazzina” uguale a se stessa, dovunque e comunque.

*dismissione*: questo requisito assume un ruolo fondamentale nella definizione di sistemi abitativi temporanei, in quanto la reversibilità del sistema costruttivo dipende dall’attitudine, conferita già in fase progettuale, a poter ripercorrere a ritroso le fasi realizzative, attraverso la definizione di un sistema semplice, secondo tecnologie che prevedono l’assemblaggio a secco e sistemi di ancoraggio tra le parti che non richiedano una elevata complessità di operazioni di smontaggio, e secondo costruzioni di tipo stratificato, atte a ottenere una separazione dei materiali sulla base del loro grado di riciclabilità, riuso o destinazione in

discarica;

*riciclabilità/riuso*: la scelta delle tecnologie e dei materiali con i quali realizzare i sistemi abitativi devono tener conto del ciclo di vita a cui l'edificio è destinato e garantire la massima disponibilità al riciclaggio o al riuso del singolo componente o del materiale ritrattato;

*anti-sismicità*: questo parametro, laddove si intervenga in una situazione determinata da una calamità naturale, ricopre chiaramente un ruolo centrale, anche dal punto di vista psicologico delle persone, pensando alla presenza, in caso di terremoto, di uno sciame sismico che può durare anche dei mesi. La temporaneità degli interventi ammette che le strutture siano statisticamente sottoposte a terremoti di minore intensità rispetto a strutture non temporanee, progettate per vite utili più lunghe e quindi con più alta probabilità di essere investite da terremoti di intensità elevata. Da questa valutazione statistica deriva il "sovradimensionamento" creando, come nel progetto C.A.S.E., un'evidente incompatibilità con gli altri requisiti. Questo non significa minimizzare il problema anti-sismico, ma utilizzare quelle tecnologie e quelle strategie, progettuali e realizzative, atte a garantire una adeguata resistenza delle strutture al sisma per renderle capaci di salvaguardare la vita delle persone; come dovrebbero *comunque* garantire.

*basso costo*: questo requisito indica la disponibilità del sistema di garantire l'adeguata sicurezza oltre al massimo confort delle unità abitative, con il minimo costo; se questo parametro significa operare, come abbiamo visto, delle scelte in termini ambientali – riduzione di metri quadri – e processuali – semplificazione procedure –, per quanto riguarda il sistema costruttivo implica fare delle scelte in termini di materiali, dalla struttura alle finiture, tecnologie, razionalizzazione dei sistemi e delle operazioni di realizzazione, come abbiamo detto nei punti precedenti. È importante ribadire la necessità questo requisito, atto a garantire il minimo impatto economico della realizzazione, con il quale si dispone la fattibilità dell'intera operazione soprattutto in termini di "temporaneità", e il massimo impiego di risorse nella fase di ricostruzione delle abitazioni definitive.

Per la definizione del sistema costruttivo si è proceduto, infine, con l'analisi dei diversi modelli costruttivi, immaginando cosa avrebbe comportato la realizzazione attraverso componenti e semi-lavorati puntuali o mono-dimensionali trasportati in opera singolarmente, secondo modelli costruttivi "a piè d'opera" con la fornitura di pannelli o componenti bidimensionali da assemblare, o, infine, attraverso la realizzazione di moduli tridimensionali finiti, completi delle finiture interne, realizzati in fabbrica e trasportati in cantiere per essere montati a formare il sistema residenziale.

Come visto nel capitolo delle procedure, questo ventaglio di opportunità serve a garantire la massima partecipazione da parte delle aziende del campo edilizio, le quali non sempre possono essere in grado di rispondere, ad esempio, al vincolo di realizzazione attraverso moduli tridimensionali finiti, ma che comunque presentano i requisiti necessari per

partecipare alle procedure di selezione e per assicurare un'ideale risposta al problema.

I tre modelli costruttivi presentano, comunque, vantaggi e criticità diverse:

- per i modelli costruttivi in opera, il vantaggio principale è la trasportabilità di elementi di dimensioni contenute, con un evidente risparmio in termini di risorse e costi per le operazioni di trasporto tra lo stabilimento e il cantiere, e di movimentazione in fase realizzativa; al contrario, però, richiede una maggior specializzazione e un maggior tempo delle operazioni di montaggio in cantiere, cui sono demandate la maggior parte delle lavorazioni;

- in caso invece di lavorazioni a piè d'opera, si permette di diminuire le lavorazioni di cantiere al sollevamento e all'assemblaggio dei sistemi tridimensionali, mantenendo ancora una facilità di trasporto, chiaramente con il vincolo di produrre elementi bidimensionali delle dimensioni ordinarie;

- nel caso degli elementi tridimensionali, il vantaggio è sicuramente quello di semplificare massimamente le operazioni di cantiere, limitate alle opere relative ai sistemi di fondazioni, oltre alle opere di infrastrutturazione delle aree, e allo stoccaggio dei moduli in arrivo. Le operazioni di montaggio consisteranno essenzialmente nel sollevamento dei moduli e nella loro disposizione l'uno sull'altro (a catasta) quando i moduli siano autoportanti, oppure all'interno di un telaio strutturale, limitando le operazioni a una gru e a pochi operai. Lo svantaggio, in questo caso, è per la condizione di trasporto: per trasportare infatti secondo modalità ordinarie, i moduli dovranno rispettare quanto stabilito dal codice della strada relativamente al peso e alle misure dei carichi, sulla base dei diversi mezzi di trasporto, e quindi avere le dimensioni dei rimorchi, ovvero analoghe a quelle del modulo containerizzato, cioè 2,5m di larghezza e secondo le lunghezze standard di 6,1m o 12,2m. In più, una delle critiche principali mosse a questa tipologia di modello, è che trasporta il "vuoto". Tale approccio, se da una parte richiede tempi maggiori di predisposizione in stabilimento, permette tempi più rapidi in cantiere.

Si può quindi dire che probabilmente la soluzione che, nella maggior parte dei casi, meglio risponde alle necessità di un cantiere con la massima pulizia e semplicità di lavorazioni, e il massimo risparmio in termini di trasporti, sia il modello costruttivo per assemblaggio di elementi bidimensionali. Vero è che, però, tutto può dipendere dal contesto e dalla condizione in cui suddette lavorazioni devono realizzarsi, per cui sarà necessario propendere, volta per volta, per l'una o per l'altra soluzione.

Per questo il sistema S.A.T.O.R. prevede di poter essere realizzato attraverso tutte le soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato, senza che questo richieda una modifica delle regole di base, e mantenendo quindi una modularità in grado di adattarsi alle diverse condizioni di trasporto e realizzazione.

#### IV.1.1 Il sistema costruttivo di S.A.T.O.R.

Il progetto S.A.T.O.R. si configura come un sistema costruttivo che può essere, nel massimo della semplificazione delle operazioni di cantiere, costituito da elementi prodotti completamente in fabbrica, come ad esempio nel caso del *core* strutturale, che può essere trasportato già completo delle parti bagnate dell'alloggio – bagno e cucina –, e le restanti parti definite attraverso componenti bidimensionali, per quanto riguarda i sistemi di partizioni, esterne e interne, orizzontali e verticali, che costituiscono l'unità ambientale. I *core*, avendo funzione strutturale, sono assemblati per accatastamento, l'uno sull'altro, e servono da appoggio per i solai delle unità ambientali.

Un modo per evitare il raddoppio strutturale delle partizioni orizzontali dovuto all'accatastamento, è di fare arrivare i moduli tridimensionali in cantiere completi di solaio di base e senza solaio superiore, in modo che il sistema risulti completo dall'accatastamento dei moduli. Per quanto riguarda l'ultimo modulo in altezza si provvederà attraverso un pezzo speciale, come un pannello bidimensionale di copertura.

Nel caso di realizzazione per soluzioni tecnologiche 2D, si potrà avere la situazione in cui il modulo venga assemblato a terra e sollevato in una seconda fase, oppure assemblato direttamente in opera, un pannello dopo l'altro. Allo stesso modo nulla vieta che venga realizzata la struttura per elementi lineari (1D) per procedere, successivamente al tamponamento delle varie parti e alla loro finitura.

Il sistema sarà completato quindi con elementi extra-sistema in grado di definire il grado di variabilità necessario all'adeguamento nel contesto specifico, quali sistemi di copertura, che potrà essere piana o a falde, potrà essere corredata di sistemi di approvvigionamento energetico (pannelli solari e/o fotovoltaici), oppure costituire uno *shell*, ovvero un sistema di involucro indipendente dalla chiusura esterna del sistema in grado di offrire la possibilità di creare degli spazi esterni/interni o fasce di espansione dell'alloggio, come *bow-window*, ad esempio.

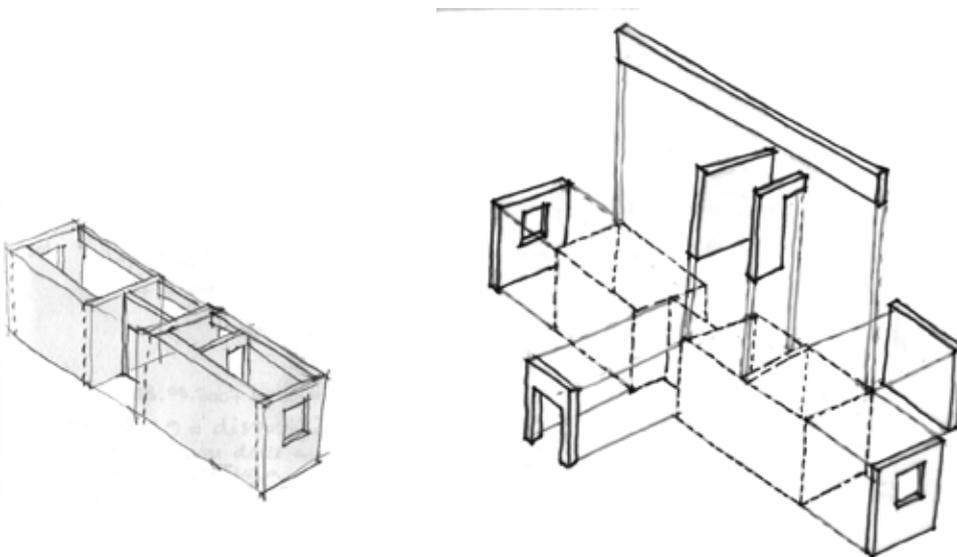
Dal punto di vista strutturale, il *core* può essere composto da elementi lineari, bi- o tri-dimensionali, e contiene tutti gli elementi impiantistici necessari all'alloggio, per cui si costituisce anche luogo delle interfacce per le reti di adduzione e scarico. Le partizioni che lo costituiscono hanno quindi proprietà strutturali, e svolgono il ruolo di isolamento termico e acustico con le zone di connessione e gli spazi interni all'alloggio. Le partizioni esterne costituenti la chiusura dell'unità ambientale sono, in questo modo, svincolate da funzioni strutturali, se non quelle necessarie al peso proprio e alle esigenze di resistenza agli urti e alle azioni del vento e di possibili scosse sismiche. Coprono una funzione di isolamento termico ed acustico e devono provvedere alle esigenze di schermatura dal sole, nelle stagioni calde, e di massimo irraggiamento in quelle fredde. In caso di presenza di *shell*, queste funzioni possono essere risolte sull'involucro esterno.

Il sistema di chiusura è modulato secondo un passo di 90cm, in modo da garantire l'intercambiabilità delle soluzioni di facciata, sia che si tratti di infissi, finestra o porta-

finestra, sia invece di pannelli opachi. Sono stati studiati poi degli elementi di espansione puntuale della facciata, per realizzare delle unità spaziali integrative, come camere per bambini sotto i 3 anni e studioli, in quanto possono stare in diretto affaccio su altri ambienti, quali la camera da letto dei genitori e la zona giorno o la camera per l'unità spaziale studio. Tali moduli seguono il passo della campata per permettere la massima integrabilità al sistema.

Le partizioni interne sono di due tipologie: quella divisoria tra i due appartamenti, con funzione primariamente di isolamento acustico e secondariamente di isolamento termoigrometrico. In caso invece delle partizioni interne, l'isolamento termoigrometrico non sarà necessario. In entrambi i casi dovranno presentare sistemi di facile disassemblabilità ed essere resistenti agli urti di cose e persone, secondo i requisiti di sicurezza tipici degli edifici residenziali. Le pareti interne dovranno essere munite di sistemi di contenimento integrato, o direttamente sostituite da pareti attrezzate ad armadio, in modo da razionalizzare quanto più possibile lo spazio, soprattutto trattandosi di superfici minime. La volontà è quella, infatti, di creare il minor ingombro possibile all'interno dell'alloggio, partendo dal "vantaggio", se così si può dire, che gli utenti non hanno mobilio e in modo da evitare impedimenti visivi che, in caso di dimensioni ridotte, possono creare disturbo all'utente. Questo ha fatto tendere la progettazione degli interni verso una minimizzazione degli arredi e verso la definizione di ambienti unitari, salvaguardando la privacy necessaria, e risolvendo, fin dove possibile, i sistemi di chiusura degli ambienti che li necessitano, attraverso porte scorrevoli o a scomparsa, oppure sistemi leggeri, come tende, ad esempio.

Le finiture dovranno essere, invece, caratterizzate dalla massima pulibilità e in grado di garantire, al minimo dei costi, il massimo grado di confort e di qualità interna degli ambienti.



ipotesi di scomposizione  
del core in elementi  
bidimensionali  
schema dell'autrice

#### IV.1.2 Le parti del sistema e la coordinazione dimensionale

Il sistema S.A.T.O.R. è concepito, come abbiamo detto, per essere realizzato con qualsiasi tecnologia disponibile sul mercato, secondo i modelli costruttivi disponibili che adottino le modalità di assemblaggio a secco, per poter assicurare anche una reale disassemblabilità dei sistemi edilizi una volta esaurita la fase d'uso. Inoltre, è per la particolarità di un cantiere di emergenza oltre che per la necessità di rispondere rapidamente alla domanda di abitazioni, che si prediligono le tecniche che permettono il mantenimento di un cantiere pulito, vale a dire quelle che ammettono un maggior livello di industrializzazione.

In questo senso il sistema è stato concepito per essere trasportato in cantiere con mezzi ordinari, sia in caso di montaggio a piè d'opera che nel caso dell'assemblaggio di pezzi 2D (pannelli) o 3D (volumi) prefabbricati in stabilimento e trasportati in cantiere.

Il progetto S.A.T.O.R., dal punto di vista costruttivo, si compone delle seguenti parti:

- > l'attacco a terra
- > il fusto composto dal *core* strutturale contenente le parti tecnologiche e bagnate dell'alloggio e la campata delle unità ambientali non di servizio;

La scomposizione del sistema consente di valutare individualmente le diverse problematiche, e quindi di fornire le risposte opportune al problema prima singolarmente e poi nella messa a sistema con il tutto.

Se una delle prerogative è appunto quella di rendere totalmente reversibile il processo realizzativo dei manufatti edilizi, parte sensibile diventa proprio l'attacco a terra, ovvero la parte che ha maggior impatto con il terreno sul quale il manufatto insiste.

L'attacco a terra si compone, sostanzialmente, del sistema delle fondazioni su cui poggia il primo livello di unità abitative. Questo è stato concepito, come abbiamo detto, attraverso tecnologie a secco, e si costituirà, nell'ottica del progetto S.A.T.O.R., come parte scorporata dall'appalto di realizzazione degli alloggi, di cui sarà disposto un appalto di lavori separato sulla base di un progetto esecutivo fornito dalla stazione appaltante, in questo caso dalla Struttura Tecnica che presiede il processo.

Per quanto riguarda, invece, il fusto si sono considerati separatamente le componenti del *core* e della campata. Il *core* è stato progettato secondo i principi sopra esposti. Le sue dimensioni interne sono state definite per permettere un uso confortevole delle unità spaziali in esso contenute – i servizi igienici, un rispostiglio/lavanderia e la cucina –, mentre le misure esterne sono state tarate perché, anche nel caso di una totale prefabbricazione del volume, quindi costruito e finito in fabbrica, possa essere trasportato senza ricorrere alle procedure del trasporto eccezionale, ovvero con una larghezza massima di 2,5m e costituito da blocchi di lunghezza inferiore ai 6m, e quindi del pianale di un tir.

Il solaio della campata compresa tra i due *core* è stato, invece, studiato per accogliere due unità alloggio, e si configura in due principali dimensioni. Nel caso in cui si dispongano



due alloggi definiti per due persone o due persone con un bambino al di sotto dei 4 anni, la luce netta da coprire è di circa 7,20m dovuta all'ampiezza di 3,60m dei singoli alloggi, così come, in caso di accoppiamento di un'unità alloggio da due persone con una da tre/quattro persone, invece, l'ampiezza arriva a coprire i 9,00m.

In generale, il sistema residenziale tipo è definito attraverso una coordinazione dimensionale strutturata su di una maglia il cui modulo di base 1M è pari a 10cm, sia in pianta che in alzato. Il dimensionamento degli spazi avviene, invece, attraverso una maglia "tartanica", per cui gli assi di coordinazione vengono posti non in asse agli elementi strutturali, di chiusura o partizione, ma al netto degli stessi, in modo da poter prescindere dal materiale e dal sistema tecnologico e garantire la massima fruibilità degli spazi interni. La maglia "tartanica" è, infatti, il modo con cui si rende possibile gestire le alternative tecnologiche del sistema, rendendolo adattabile alle diverse tecnologie disponibili sul mercato, quali, tra le maggiormente diffuse:

- > calcestruzzo prefabbricato
- > acciaio (telaio o steel-frame)
- > legno (pannelli in legno a strati incrociati, balloon-frame, ...)

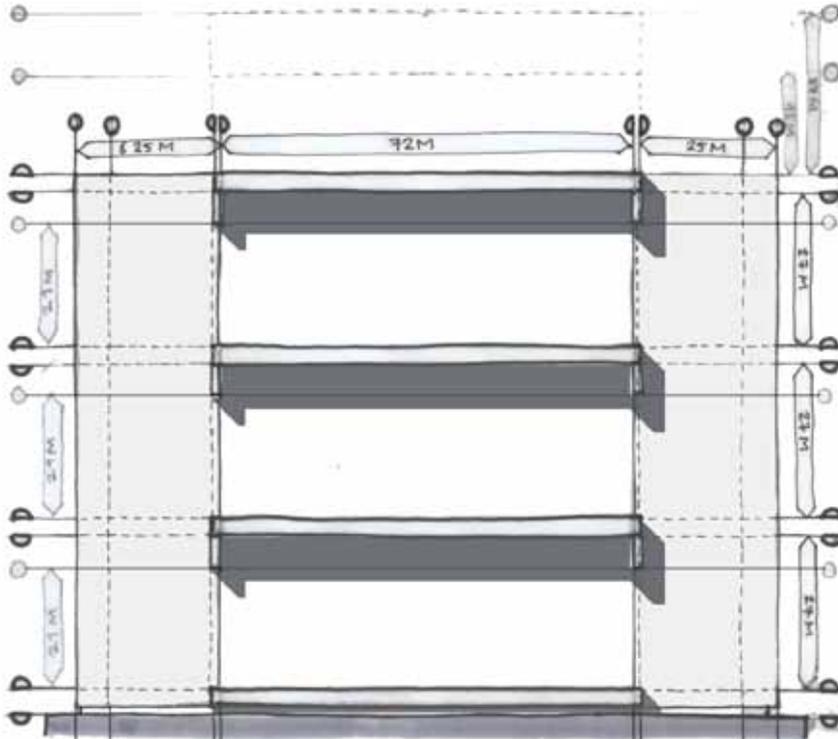
La coordinazione dimensionale è stata trattata in modo differente a seconda della componente del sistema, cioè sono stati disposti dei multipli del modulo di base diversi per il *core* e per le unità ambientali non di servizio.

Per il *core*, infatti, è stata utilizzata una maglia di 30cm, sia in larghezza che in profondità, mentre per l'ampiezza dell'unità ambientale ci si è basati su di un modulo di 90cm. Quest'ultimo perché tale dimensione garantisce una completa intercambiabilità delle componenti che possono andare a costituire il sistema di facciata, sia come pannello di chiusura opaco, sia come infisso, apribile come finestra o come porta-finestra, o fisso.

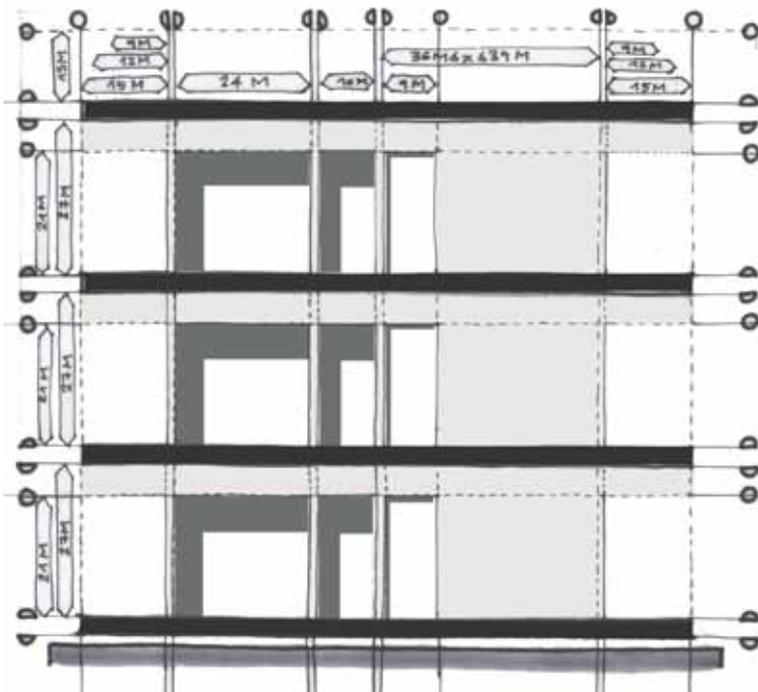
Inoltre, la larghezza di due moduli di facciata corrisponde alla dimensione adeguata per la collocazione delle unità spaziali integrative (stanza per bebè 0-3 anni o studio) senza creare particolari variazioni.

L'autonomia del sistema ambientale dalle istanze tecnologiche, permette una elevata libertà di scelta delle soluzioni più adeguate per ogni parte, vista la diversità di dimensioni e di funzione che le specializzano. Per cui diventa "facile" immaginare di poter realizzare le singole componenti con soluzioni diverse, o con un mix tecnologico, atto a garantire la massima compatibilità tra necessità ambientali, tecnologiche, strutturali ed impiantistiche.

Se infatti il *core*, per come è stato studiato in dimensioni e morfologia, ammette un ventaglio ampio di tecnologie, contemplino esse elementi 1D, 2D o 3D, con qualsiasi materiale, tenendo fermo il concetto della sua disassemblabilità, il solaio della campata centrale acquista, per necessità funzionali, strutturali e architettoniche, una maggiore complessità, che riduce questo ventaglio e ammette, in virtù del basso costo, solo alcune delle tecnologie disponibili. Quindi la maglia "tartanica" diventa un sistema di controllo



prospetto tipo del  
modulo elementare



sezione longitudinale  
del modulo elementare

capace di individuare le interfacce del sistema, sulle quali si concentrerà la complessità tecnologica, evitando costosi sovradimensionamenti laddove non necessari, e garantendo la disponibilità del sistema ad aggiornarsi continuamente sulla base dei continui avanzamenti in campo tecnologico ed edilizio.

Quindi un'interfaccia di dimensioni variabili, adattabile alle diverse esigenze, produttive, realizzative, contestuali.

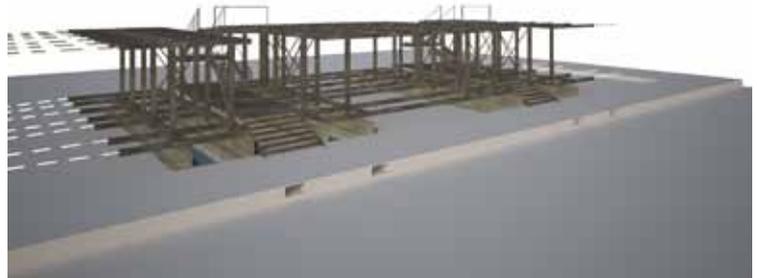
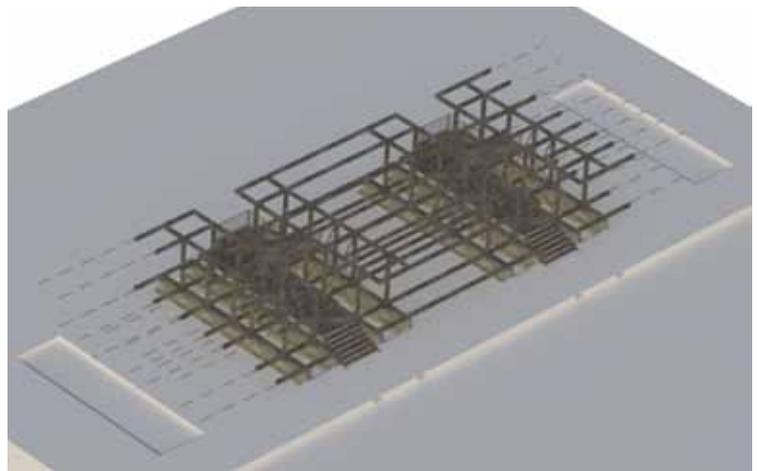
### Le alternative tecnologiche del sistema S.A.T.O.R.

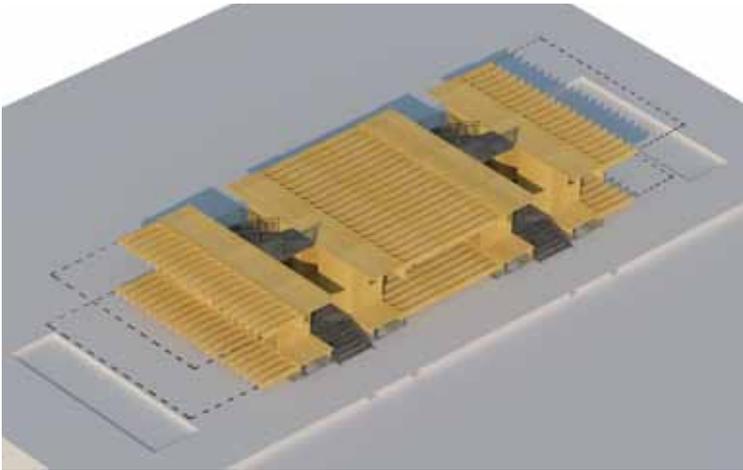


schemi assometrici  
e prospettici di un  
sistema costruttivo in  
pannelli di calcestruzzo  
prefabbricato;  
il solaio è realizzato  
elementi tipo Spiroll, ma  
da studiarsi sistemi di  
connessione a secco



schemi assonometrici e prospettici di un sistema costruttivo a telaio in acciaio; tale tecnologia prevede il posizionamento dei pilastri e delle travi in corrispondenza degli assi strutturali del core, e presenta dei controventamenti in alcune campate cieche per definire la staticità del sistema





schemi assometrici e prospettici di un sistema costruttivo in pannelli di legno multistrato incrociati, mentre il solaio della campata centrale si ipotizza realizzabile in travi lamellari appoggiate sulla parete strutturale del core



### IV.1.3 Lineamenti strutturali

Dal punto di vista strutturale, abbiamo detto come il progetto S.A.T.O.R. risolve la struttura portante attraverso i *core*, che costituiscono le spalle su cui si appoggiano i solai che coprono le luci della campata centrale.

Le fondazioni si costituiscono di una doppia gerarchia di travi, la prima, l'orditura primaria, è realizzata in forma di travi rovesce in calcestruzzo di base 100cm e altezza del piede di circa 25cm, poste in corrispondenza delle pareti longitudinali del core, la seconda, di sezione ridotta, posta ad interasse regolare sotto il solaio del primo livello, riducendone la luce libera, in modo che possa costituirsi con una struttura più leggera e spessori ridotti.

Il sistema verrà unito attraverso un terzo sistema di travi, che potranno avere una sezione a "L" e munite di fori di aerazione.

Per rispondere alla rapidità costruttiva, le suddette travi saranno prefabbricate e trasportate in opera. Le travi, di lunghezza pari a quella del corpo di fabbrica, cioè circa 8,40m, saranno suddivise in conci delle dimensioni e del peso adatti al trasporto e quindi ricucite attraverso cavi di precompressione scorrevoli passati in fori precostituiti.

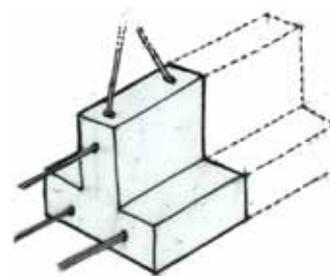
Per necessità di dismissione, le connessioni con gli elementi strutturali costituenti lo scheletro del sistema superiore saranno a secco, attraverso graffe, fazzoletti o sistemi diversi in acciaio e imbullonatura.

I core sono concepiti o come sistemi autoportanti, accatastati secondo il numero di livelli che si vogliono realizzare, o come elementi portati da una struttura terza, secondo il modello "porta-bottiglie". In ogni caso è ai core che è affidata la funzione di supporto del sistema strutturale con il quale si realizzeranno le campate centrali, e più precisamente di interfaccia tra le due componenti.

Infatti, per evitare un sovradimensionamento della struttura costituente il *core*, si è proceduto con la definizione di due schemi differenti, sulla base delle caratteristiche morfologiche e tecnologiche delle diverse componenti, che trovano il loro congiungimento sulla parete del *core* posta in connessione con la parte interna dell'alloggio.

Essa è costituita da una parete, che può essere realizzata attraverso elementi continui o puntuali, sulla quale è appoggiata una trave di altezza di circa 60cm che risolve l'appoggio del solaio per tutta la profondità dell'alloggio e delle parti esterne di espansione interna/esterna.

Il solaio, delle dimensioni di 8,40m di profondità per una luce che varia dai 7,20m ai 9,00m, è stato ipotizzato sia attraverso soluzioni strutturali continue (come ad esempio pannelli di legno) che puntiformi, ad orditura mono o bi-direzionale, da verificarsi sulla base della quantità di materiale necessario e della semplicità costruttiva richiesta.



disegno raffigurante  
il concio di trave con i  
cavi di precompressione  
scorrevoli muniti  
di sistemi per il  
sollevamento e trasporto

In questo senso è stata fatta una simulazione di solaio in legno, secondo le tecnologie disponibili sul mercato, con relativo dimensionamento degli elementi, comparati poi nella tabella allegata.

<b>Solaio campata centrale   tecnologia del legno</b>				
	<b>soluzione 1</b>	<b>soluzione 2</b>	<b>soluzione 3</b>	<b>soluzione 4</b>
<b>tecnologia</b>	<b>X-LAM</b>	<b>travi + X-LAM</b>	<b>travi + X-LAM</b>	<b>balloon-frame</b>
<b>profondità corpo di fabbrica (m)</b>	8,40	8,40	8,40	8,40
<b>luce solaio (m)</b>	9,20	9,20	9,20	9,20
<b>interasse (mm)</b>	–	2100	1400	600
<b>spessore quota resistente (mm)</b>	315	80	80	20
<b>spessore quota resistente sbalzo (mm)</b>	–	120	120	–
<b>sezione travi (cm)</b>	–	22 x 65	22 x 55	16 x 40
<b>spessore solaio (mm)</b>	<b>450</b>	<b>920</b>	<b>820</b>	<b>550</b>
<b>quantità di legno solaio (mc/mq)</b>	0,30	0,12	0,12	0,02
<b>quantità legno travi (mc/mq)</b>	–	0,07	0,09	0,11
<b>quantità di legno totale (mc/mq)</b>	<b>0,30</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>0,13</b>

tabella comparativa delle diverse soluzioni tecnologiche del legno adatte al sistema S.A.T.O.R.

La soluzione continua è stata ipotizzata realizzata attraverso pannelli di legno tipo X-LAM, e presenta una quota resistente di circa 300/320mm per la massima luce, ovvero i 9,00m, per una quantità di materiale di circa 0,30mc/mq.



schema solaio soluzione 1

A parità di dimensioni del solaio, è stata ipotizzata una struttura a travi lignee con diverso interasse.

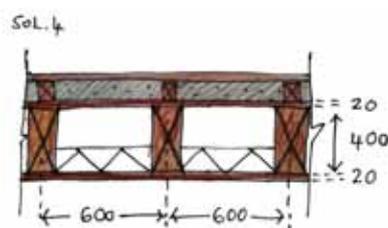
Per un interasse di 210mm sono state ipotizzate delle dimensioni della singola trave pari a 22cm x 65cm, con uno strato superiore di X-LAM di spessore di 12cm. In questo caso il materiale complessivo è di 0,19mc/mq.



schema solaio soluzione 2-3  
lo schema non ipotizza un tamponamento inferiore delle travi, che risulterebbero quindi a vista

Nel caso di una riduzione dell'interasse e moltiplicazione quindi delle travi, paradossalmente, ad una diminuzione della dimensione del singolo elemento a 22cm x 45cm corrisponde un aumento del materiale a 0,20mc/mq.

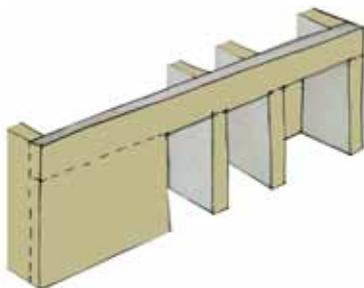
schema solaio  
soluzione 4  
in questa ipotesi le travi  
sono rivestite da un  
tavolato di compensato,  
altrimenti si può  
ipotizzare una soluzione  
di travi a vista



Si è infine optato per una soluzione a balloon-frame, ovvero ad un sistema di travetti di dimensione 14cm x 40cm ad interasse di 0,60 cm, con un sensibile risparmio di materiale, tenuto anche conto del tavolato di compensato superiore, di spessore pari a 2cm necessario per la distribuzione dei carichi, pari a 0,13mc/mq.

Dalla tabella riportata si evince che la soluzione continua in pannelli di legno a strati incrociati tipo X-LAM, ammette spessori ridotti, proprio per la compattezza dell'elemento strutturale, ai quali però non consegue un risparmio in termini di materiale, che invece è presente nelle altre soluzioni, a fronte però di un notevole incremento dello spessore del solaio. Nella comparazione risulta una soluzione conveniente, in termini di spessori, dimensioni degli elementi e risparmio di materiale, la soluzione n.4, cosiddetta a balloon frame. Questa verifica è stata fatta per capire le conseguenze che può determinare la scelta di un sistema rispetto ad un altro, senza per questo andare a prediligere una soluzione, sia dal punto di vista dello schema strutturale che del materiale, ma lasciando alle diverse imprese di poter fornire il proprio know-how, da valutarsi in sede di gara sulla base dei parametri di costo e delle verifiche di sicurezza e stabilità richiesti.

schema della trave-  
parete del core



L'appoggio, abbiamo detto, sarà costituito dalla trave-parete del core di interfaccia con le unità ambientali non di servizio dell'alloggio, e sarà assicurato attraverso sistemi differenti e dipendenti dalla natura del solaio. La trave-parete potrà essere dentata e sagomata per accogliere le componenti, lineari o continue, costituenti il solaio, oppure l'appoggio potrà essere assicurato tramite fazzoletti in acciaio imbullonati.

Il corpo scale, come abbiamo visto precedentemente, assume il ruolo di interfaccia della variabilità morfologica del sistema, sia in pianta che in alzato, e si configura come elemento caratterizzato da una certa leggerezza.

A seconda della tipologia aggregativa di volta in volta realizzata, il corpo scale assumerà forme e collocazioni diverse, e viene ipotizzato come un elemento strutturalmente dipendente dal corpo degli alloggi, in appoggio ad esso attraverso sistemi di ancoraggio, come profilati in acciaio imbullonati o sistemi puntuali lignei o di calcestruzzo prefabbricato, oppure con un sistema indipendente di appoggio al terreno, laddove particolari condizioni contestuali lo richiedessero.

#### IV.1.4 Lineamenti impiantistici

Dal punto di vista impiantistico, il sistema tenta di risolvere la complessità delle adduzioni e degli scarichi della rete idraulica, lo sfiato dei servizi igienici e delle cucine e l'allacciamento alla rete elettrica attraverso il core, al fine di garantire la totale eliminazione di qualsiasi vincolo all'interno delle unità ambientali non di servizio. Il core infatti, oltre a concentrare tutti i servizi dell'alloggio (bagno, cucina, lavanderia) è costituito di un'intercapedine per il passaggio di tutti gli impianti sulla parete esterna e di cavedi orizzontali, realizzati nella differenza di altezza esistente con le unità ambientali non di servizio (variabile da un massimo di 2,70m, riferito al minimo di legge, ad un minimo di 2,50m, definito in base ai contesti e in deroga agli standard definiti dal DM/1975).

E' importante poi ricordare che uno degli aspetti necessari è il soddisfacimento del requisito di disassemblabilità dei manufatti, andando quindi a cercare le soluzioni idonee a garantire una facile reversibilità degli impianti.

Questo riguarda soprattutto l'impianto elettrico e di riscaldamento, per cui si ipotizza l'esclusione di soluzioni di integrazione impiantistica spinta, per protendere verso impianti a vista, dotati delle dovute protezioni prescritte per la sicurezza degli utenti.

Gli impianti previsti riguardano appunto:

- > impianto idrico
- > impianto elettrico
- > impianto di riscaldamento
- > impianto di scarico acque bianche
- > impianto di scarico acque nere
- > impianto per l'evacuazione dell'acqua piovana.

Per semplicità, si è preferito non contemplare l'impianto a gas, almeno per quanto riguarda le aree laddove non vi fosse una preesistente rete di distribuzione, per cui il riscaldamento è predisposto con impianto ad aria tramite pompa di calore (split), il riscaldamento dell'acqua tramite caldaia elettrica e la cucina sarà dotata di sistemi di cottura, anch'essi elettrici.

Gli allacciamenti, nel caso le aree di insediamento non siano urbanizzate, verranno portati con sistemi interrati o aerei, e comunque nel pieno rispetto delle norme di sicurezza relative. Nel caso di pre-esistente urbanizzazione dell'area si predisporrà il solo raccordo tra le reti e le singole unità alloggio.

E' forse utile ricordare che la gestione dei consumi in abitazioni di emergenza è a carico dello Stato, per cui non sarà necessario disporre di impianti autonomi, ma solo di sistemi di regolazione per ogni unità abitativa, in modo da garantire il massimo confort ambientale. Gli impianti di scarico verticali troveranno una connessione con il raccordo con la rete di evacuazione al di sotto dei core.

Anche l'impianto di evacuazione delle acque piovane dovrà essere predisposto, con le

dovute pendenze in copertura, in corrispondenza dei core, dai quali passerà nelle reti di scarico o in sistemi di raccolta delle acque piovane per uso sanitario, laddove predisposti. I valori di riferimento per la progettazione impiantistica sono analoghi a quelli elaborati dal Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini" in sede di progettazione del modulo abitativo temporaneo MIA<sup>1</sup> (Modulo Infrastrutturale Abitativo), e che definiscono degli standard adeguati a situazioni provvisorie, come appunto quelle legate all'emergenza, dal punto di vista del benessere ambientale, del benessere visivo e acustico, come riportato nella tabella seguente:

#### Tabella dei valori di riferimento per requisiti di benessere ambientale

1   Termoisolamento	<b>Isolamento termico</b>	
	U pareti verticali	0.40 W/m <sup>2</sup> K
	U coperture	0.35 W/m <sup>2</sup> K
	U solai	0.40 W/m <sup>2</sup> K
	U chiusure trasparenti	3.30 W/m <sup>2</sup> K
	<b>Temperatura aria interna</b>	
	Infissi di classe di permeabilità all'aria	≥2
	Temperatura interna	17°C < T <sub>i</sub> < 19°C
	<b>Controllo inerzia termica</b>	
	Fattore di attenuazione	> 0.5
	Fattore di sfasamento	> 3 ore
	<b>Ventilazione naturale</b>	
	Ventilazione naturale	1/8 della sup. pav.
	<b>Estrazione aria</b>	
	Servizio igienico	≥ 5 vol/ora
	Angolo cottura	≥ 2 vol/ora
	Prese aria esterna	≥ 100 cm <sup>2</sup>
<b>Controllo irraggiamento solare</b>		
<i>Estate</i>		
Fattore Schermatura vetrate verticali (scherm. mobile)	>70%	
Strato ventilazione (in caso di parete o copertura ventilata)	5 cm ≤ x ≤ 10 cm	

1 Progetto vincitore del concorso "Un'idea per la ricostruzione: proposte per l'emergenza", Roberto Bologna (capogruppo), Sabrina Borgianni, Claudia Massaccesi, Virginia Serrani e Lorenzo Boddi; il progetto MIA è attualmente inserito nelle sperimentazioni del progetto di ricerca Abitare Mediterraneo (Responsabile Scientifico prof. Marco Sala) e ne è stato realizzato un prototipo presso la sede del Settore di Protezione Civile della provincia di Massa Carrara. gruppo operativo formato da: Roberto Bologna, Sabrina Borgianni, Claudia Massaccesi, Virginia Serrani (sviluppo progettuale esecutivo); Gianfranco Cellai, Cristina Carletti, Fabio Scurpi, Simone Secchi, Elisa Nannipieri, Leone Pierangioli (verifiche delle prestazioni energetiche, termoisolometriche ed acustiche); Maria Chiara Torricelli, Caterina Gargari, Elisa Innocenti, Elisabetta Palumbo, Angelo Sabella (LCA)

2   Visivo	<b>Illuminazione naturale e oscurabilità</b>	
	Superficie pavimentata / superficie trasparente	1/8
	<b>Illuminazione artificiale (lux)</b>	
	Attività principale	$100 \leq E \leq 150$
	Attività secondaria	$40 \leq E \leq 60$
	Spazi esterni	$60 \leq E \leq 100$
3   Acustico	<b>Isolamento acustico di facciata</b>	
	Pareti perimetrali	$D_{2m,nT,W} \geq 30$
	Copertura su vano abitabile	$D_{2m,nT,W} \geq 30$
	Pareti tra unità immobiliari distinte	$R^1_W \geq 30$
	Infissi esterni verticali	$R^1_W \geq 30$

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, le soluzioni possibili che non contemplino l'uso del gas e che permettano una facile dismissione, sono essenzialmente 2:

1. PDC idronica, per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo;
2. PDC per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo ad espansione diretta, mentre l'acqua calda è prodotta con un boiler elettrico

Nella prima soluzione, lo schema rappresentato in figura 1 è quello di una pompa di calore aria – acqua modello *Belaria R* con le funzioni di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. L'accumulatore di energia è unico per l'acqua calda e l'acqua refrigerata, e dovrà essere correttamente dimensionato in base alla potenzialità della pompa di calore e dal contenuto di acqua dell'impianto.

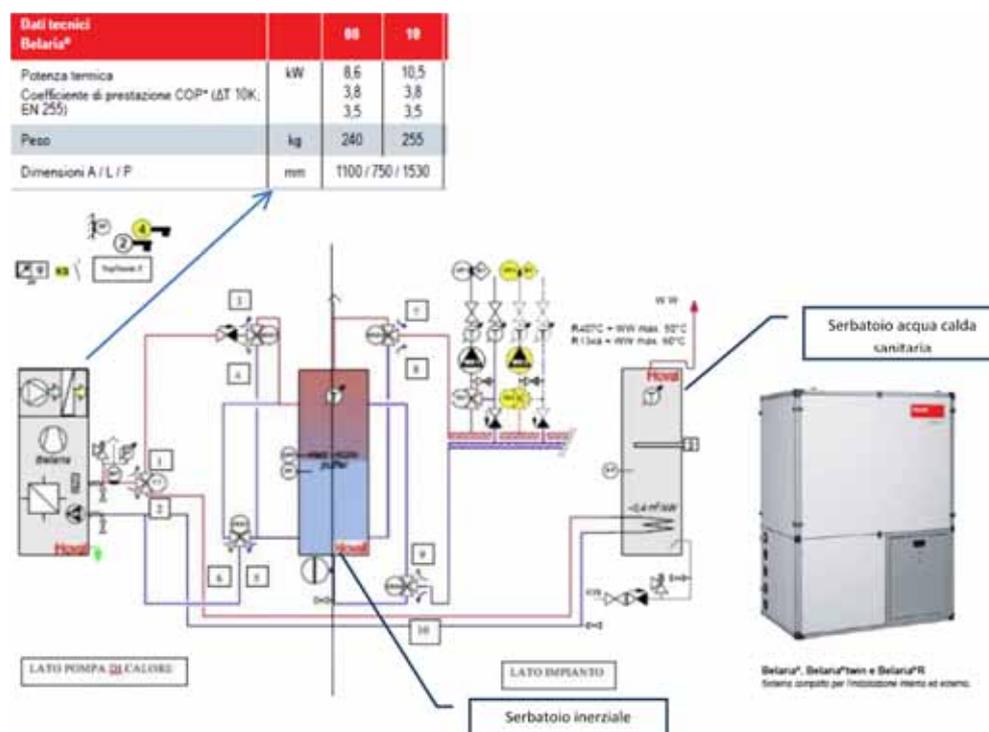
Il boiler per l'acqua calda sanitaria è corredato inoltre di resistenze elettriche di emergenza. La termoregolazione dell'unità gestisce tutte le funzioni, compreso il funzionamento in commutazione delle valvole deviatrici e del funzionamento climatico di circuiti dell'impianto. Il funzionamento dell'impianto schematizzato è il seguente :

#### Ciclo invernale

**Lato pompa di calore:** La valvola Y7 in commutazione 1 produce acqua calda , verso la 2a valvola , questa in commutazione 3 verso la parte alta dell'accumulatore. L'uscita dell'accumulatore entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 5 chiudendo il circuito , la temperatura nell'accumulatore di energia è gestita dalla sonda PF.

**Lato impianto:** L'uscita dell'accumulatore entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 7 andando verso l'impianto , il ritorno entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 10 ritornando all'accumulatore chiudendo così il circuito.

**Lato acqua calda sanitaria:** La valvola Y7 in commutazione 2 produce acqua calda , verso il boiler per l'acs dedicato. L'uscita del boiler ritorna alla pompa di calore chiudendo il circuito , la temperatura del boiler per l'acs è gestita dalla sonda SF.

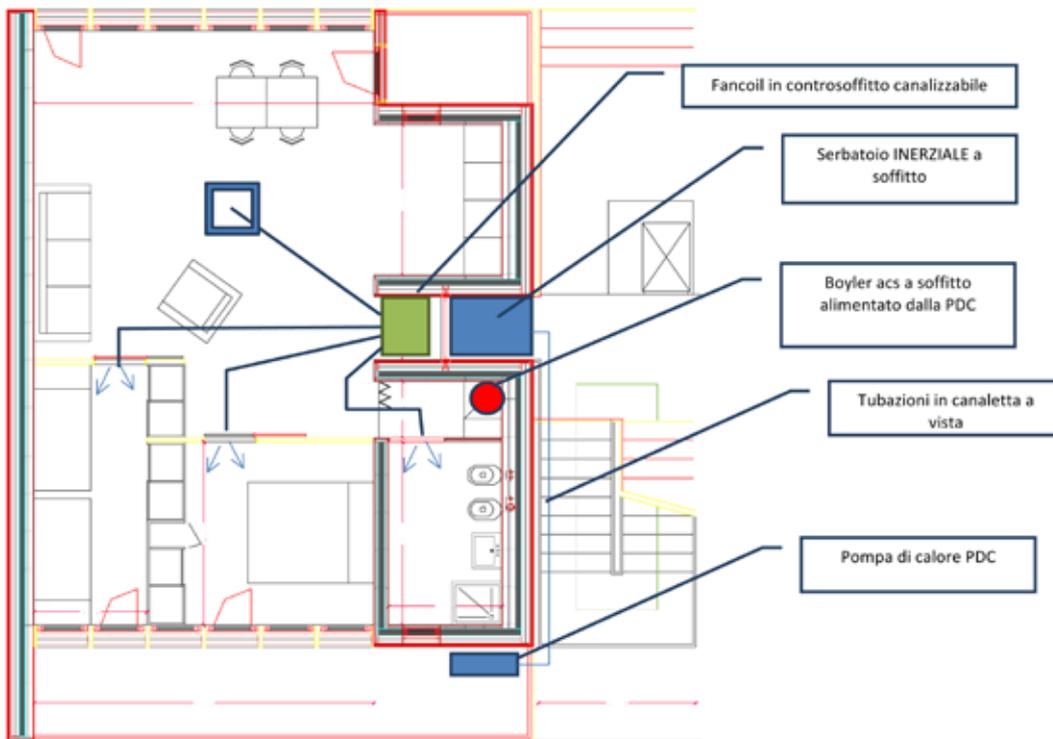


### Ciclo estivo

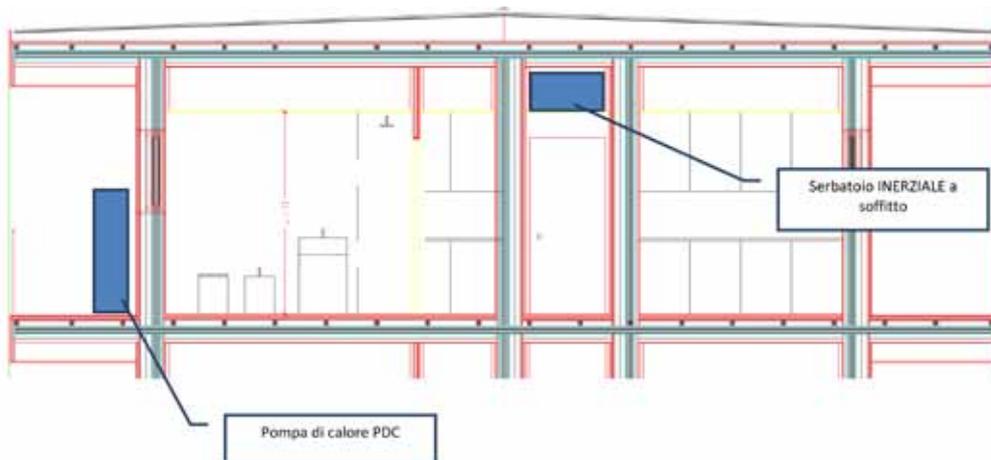
**Lato pompa di calore:** La valvola Y7 in commutazione 1 produce acqua refrigerata, verso la 2<sup>a</sup> valvola, questa in commutazione 4 verso la parte bassa dell'accumulatore. L'uscita alta dell'accumulatore entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 6 chiudendo il circuito, la temperatura nell'accumulatore di energia è gestita dalla sonda KPF.

**Lato impianto:** L'uscita dell'accumulatore nella parte bassa entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 8 andando verso l'impianto, il ritorno entra nella valvola deviatrice in commutazione verso 9 ritornando all'accumulatore chiudendo così il circuito.

**Lato acqua calda sanitaria:** La valvola Y7 in commutazione 2 produce acqua calda, verso il boiler per l'acs dedicato. L'uscita del boiler ritorna alla pompa di calore chiudendo il circuito, la temperatura del boiler per l'acs è gestita dalla sonda SF.

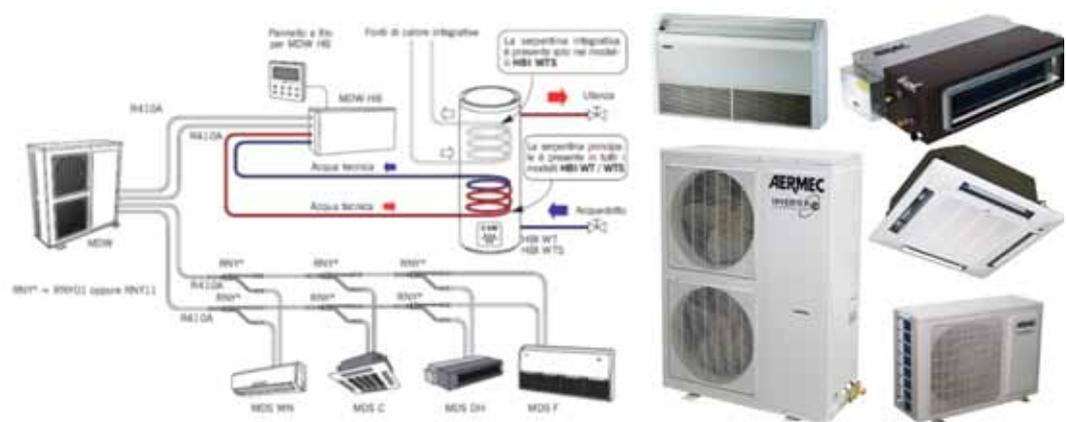


schema per il sistema impiantistico a PDC per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda in un alloggio tipo del progetto S.A.T.O.R. pianta



schema per il sistema impiantistico a PDC per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda in un alloggio tipo del progetto S.A.T.O.R. sezione

Per quanto riguarda i terminali di impianto, essi sono costituiti da ventilconvettori, i quali possono essere utilizzati sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo, attraverso un semplice commutatore estate/inverno. Il circuito idraulico più diffuso è quello “a due tubi” dove l’acqua che circola nell’impianto viene o riscaldata da un generatore, oppure raffreddata da un refrigeratore. Una modalità esclude l’altra.



schema con esempio di collegamento tra la PDC e i terminali di impianto

La fornitura delle reti avverrà attraverso allaccio alle reti infrastrutturali primarie: rete acquedotto, rete fognaria e rete elettrica.

In caso di assenza di acquedotto deve essere garantita l’integrabilità dell’impianto idrico alle tipologie impiantistiche e alle apparecchiature adeguate, quali pompe, autoclave o sistemi unidirezionali di non ritorno.

L’alimentazione di energia elettrica è disposta con cabina di trasformazione per il singolo quartiere, così come i contatori per la distribuzione di acqua e energia elettrica saranno unici, in quanto la gestione è centralizzata e a carico dello Stato.

Ogni unità immobiliare sarà poi provvista di quadro elettrico e di valvola di intercettazione sull’alimentazione idrica per isolare l’impianto.

## IV.2 Le fasi costruttive del sistema S.A.T.O.R.

Una volta definita l'area su cui deve essere realizzato il sistema abitativo, vengono disposte le operazioni di predisposizione dell'allaccio alle reti di adduzione e scarico e la successiva posa del sistema di fondazione. Quest'ultimo viene concepito come un sistema superficiale composto da travi rovesce in calcestruzzo di due dimensioni, quelle primarie poste in continuità con le pareti longitudinali del *core*, quelle secondarie, più piccole, a intervalli regolari a rompere la lunghezza del solaio del piano terra. Perché sia più facile il trasporto, le travi rovesce sono concepite in conci prefabbricati della dimensione e del peso conveniente, munite di sistemi di aggancio integrati per il sollevamento e la movimentazione in cantiere, e sono poi cucite l'una all'altra attraverso cavi di acciaio di precompressione inseriti in fori precostituiti in fase di prefabbricazione. Tale soluzione, completamente a secco, garantisce la totale disassemblabilità delle stesse.

L'alloggiamento delle travi di fondazione dipenderà dal tipo di terreno su cui verranno poste:

- terreno a verde (verde attrezzato pubblico, terreno agricolo privato, aree senza destinazione): in tal caso si deve predisporre uno scavo di circa 1m di profondità atto a eliminare il primo strato di terreno e a compattare il piano su cui verranno collocate le travi;
- area asfaltata o pavimentata (area parcheggio di un centro commerciale, aree parcheggio per camper, ...): le fondazioni possono essere direttamente appoggiate sull'asfalto e ancorate a terra tramite piastre di acciaio imbullonate su plinti puntuali che verranno di seguito abbandonati nel terreno.

Anche le reti potranno essere portate in sede di allaccio attraverso uno scavo del terreno, oppure attraverso sistemi aerei, a seconda delle necessità imposte dall'area su cui insistono gli interventi e comunque dalla modalità scelta per rendere "fisicamente" temporaneo anche il sistema di infrastrutturazione dell'area, laddove non fosse già predisposto.

Una volta posizionate le fondazioni si procede con la realizzazione, assemblaggio o collocazione dei due *core* strutturali contrapposti, ovvero le spalle del sistema strutturale, su cui poggia la campata delle unità ambientali non di servizio. I *core* sono costituiti da elementi portanti (pannelli, telaio, *balloon/steel-frame*) che ne costituiscono il perimetro e da una trave che corre lungo tutto il lato "interno" sulla quale poggerà l'orditura principale o comunque il sistema portante del solaio. La suddetta trave sposterà dal perimetro del *core* di 1,50m, in modo da sostenere anche le fasce di espansione o aree funzionali esterne dell'alloggio, che verranno realizzate della stessa struttura e consistenza del solaio centrale proprio per permettere la massima variabilità del sistema.

Una volta poste le pareti perimetrali del *core* e la trave di bordo si dispone il solaio del piano terra, attraverso la posa e fissaggio delle travi o dei pannelli che lo compongono, e quindi di quello del primo piano.

Se il *core* è già predisposto dei servizi (bagno e cucina), si provvede al posizionamento

del *core* superiore, nel caso, invece, in cui si prevedono servizi igienici prefabbricati e collocati in opera, prima di procedere con la copertura del primo livello si trasportano e inseriscono dall'alto i blocchi servizio, oppure saranno realizzati in una seconda fase, secondo procedure standard.

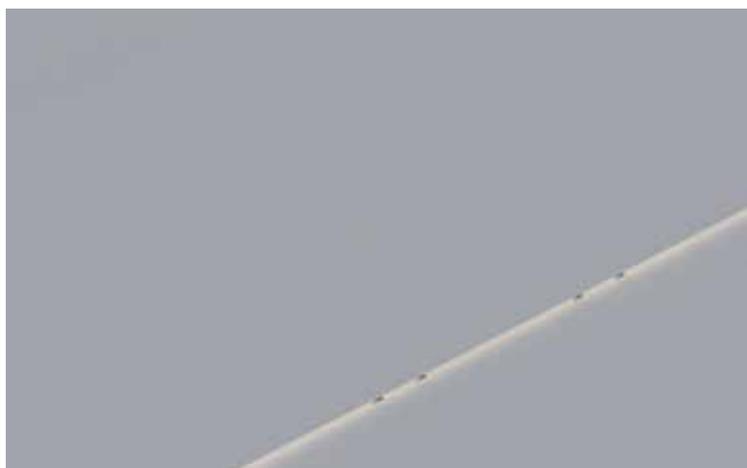
Quindi si procede con il secondo livello di *core*, il secondo solaio della campata centrale, e così fino a realizzare i tre o i cinque livelli dello scheletro del sistema.

La fase successiva comprende la realizzazione del corpo scale e servizi, da porsi tra le due unità alloggio che dovrà servire. La scala sarà leggera preferibilmente prefabbricata e trasportata in cantiere in pezzi (rampe e pianerottoli), e sarà ancorata attraverso fazzoletti e profili a C sulle pareti esterne dei *core*.

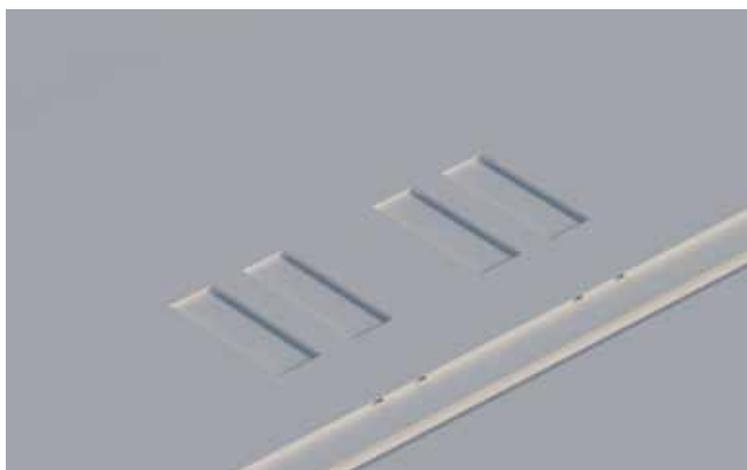
È quindi la volta delle partizioni interne ed esterne, e quindi delle finiture, atte a conferire il grado di variabilità morfologica al manufatto, attraverso meccanismi di oscuramento inseriti, semi-inseriti, passanti o esterni alla struttura del sistema, fino a configurarsi come *shell* indipendente.

La copertura può essere anch'essa integrata, oppure realizzata attraverso un sistema leggero che configuri un aspetto diverso all'edificio a seconda dei contesti o delle necessità (copertura piana, a falde, calpestabile, ...).

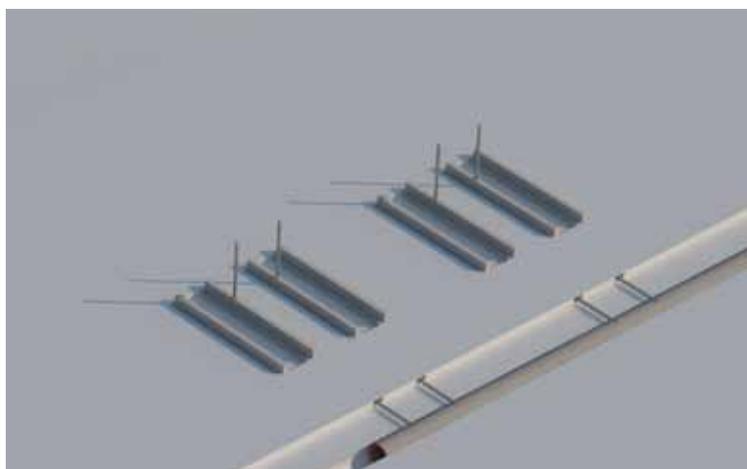
La necessità è, chiaramente, quella di poter percorrere a ritroso le suddette fasi per tornare al "grado zero della costruzione" e restituire le aree, siano esse pubbliche o private o senza destinazione, alla loro funzione originaria o a quella precedentemente prestabilita.



fase 1  
il terreno dove saranno  
realizzati gli interventi

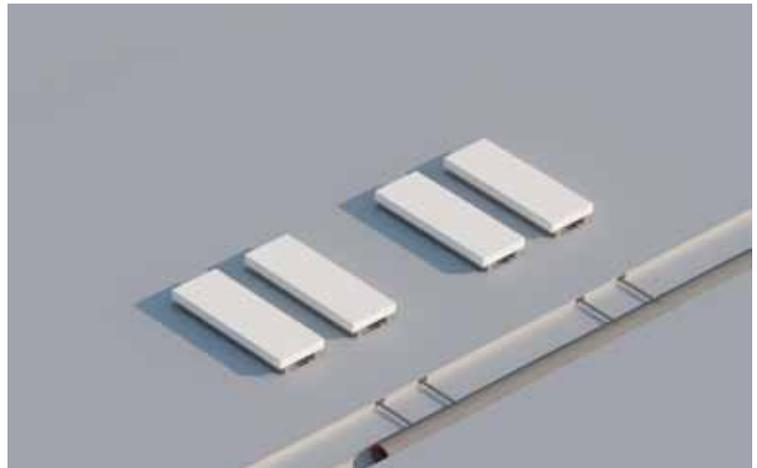


fase 2  
lo scavo del terreno per  
la posa delle fondazioni

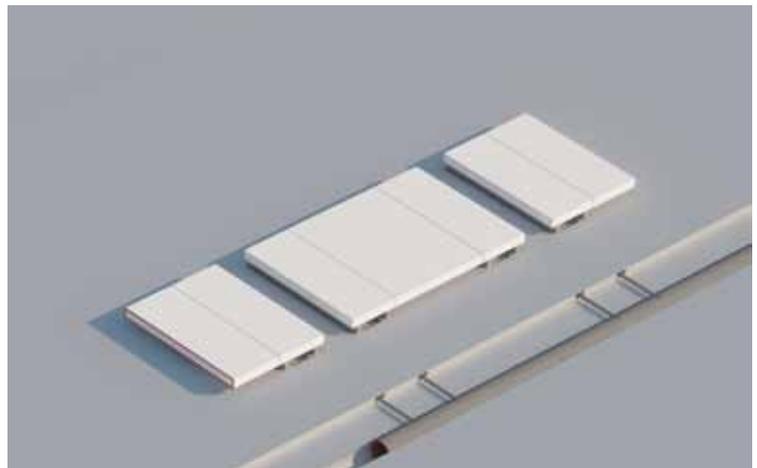


fase 3  
la posa delle fondazioni  
e l'allacciamento alle reti  
infrastrutturali

fase 4  
la posa del solaio del  
core strutturale



fase 5  
la posa del solaio della  
campata centrale

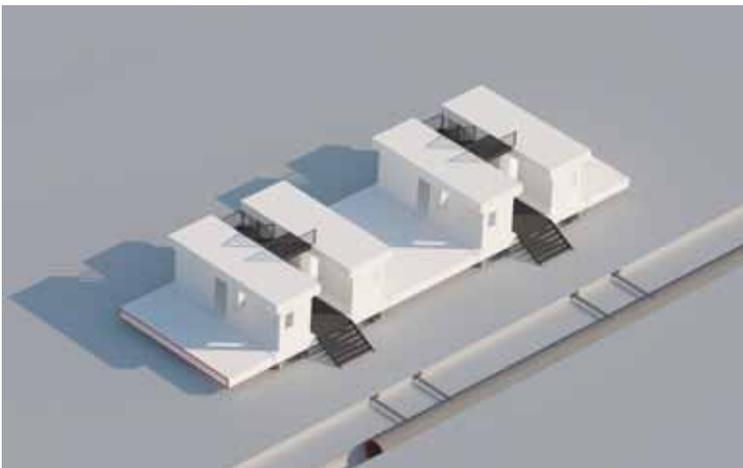


fase 6  
la posa dei core  
strutturali

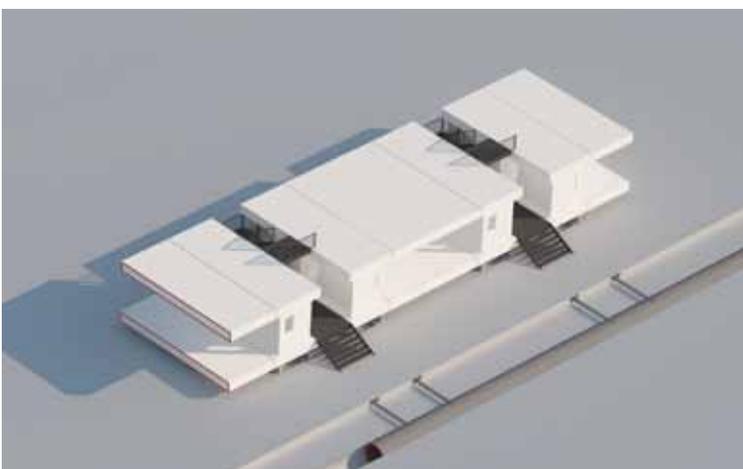




fase 7  
la realizzazione della  
prima rampa di scale

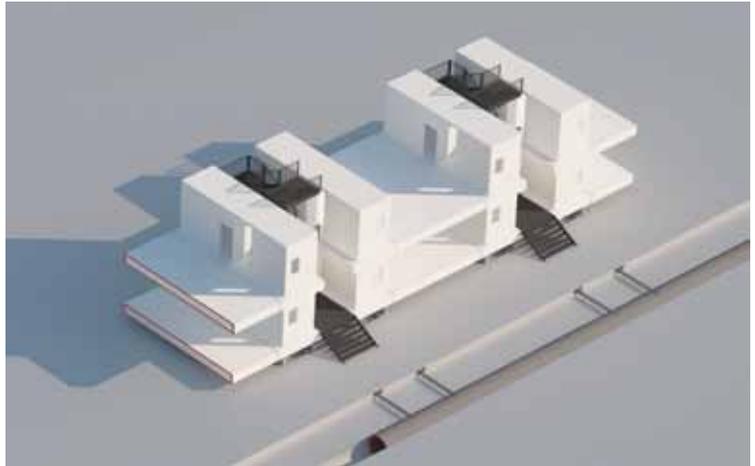


fase 8  
posa del secondo livello  
di solaio del *core*

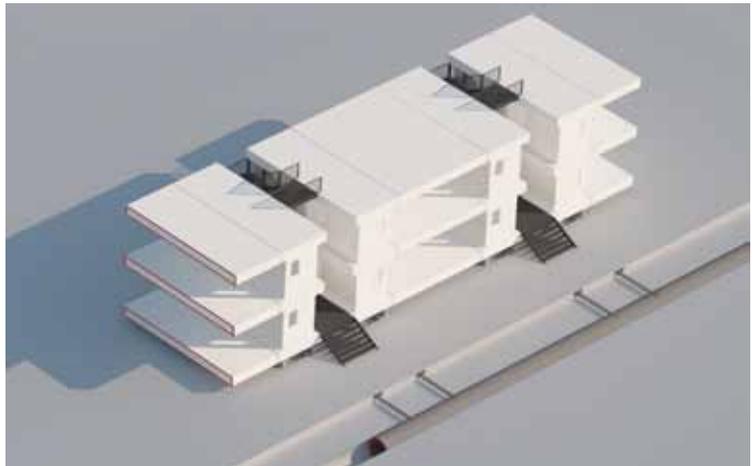


fase 9  
posa del solaio della  
campata centrale,  
secondo livello

fase 10  
posa del secondo livello  
di core e scale



fase 11  
il terzo livello di solai



fase 12  
vista di un modulo di tre  
livelli completato



