



**POLITECNICO DI MILANO**

Scuola di **Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni**

Corso di **Laurea Magistrale in Architettura - A.A. 2016/2017**

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

# LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

Relatore

**Gian Luca BRUNETTI**

Studentessa

**Marta LEGNANI** matricola **851798**

## SOMMARIO

1. ABSTRACT	3
2. LA MODULARITÀ IN ARCHITETTURA	4
2.1. La storia dell'architettura modulare prefabbricata	4
2.1.1. Il mattone	5
2.1.2. La pietra	5
2.1.3. Il legno	6
2.1.4. L'architettura militare e le scatole di montaggio	8
2.1.5. I nuovi materiali: ghisa, ferro fucinato e acciaio	10
2.1.6. Il cemento armato	12
2.1.7. La produzione in serie nell'edilizia	13
2.1.8. L'abitazione come sistema modulare completo	17
2.2. La prefabbricazione e la modularità	26
2.2.1. I sistemi chiusi	30
2.2.2. I sistemi aperti	31
2.2.3. I fondamenti della progettazione modulare	32
2.2.4. La coordinazione modulare	34
2.2.4.1. L'equilibrio tra struttura portante e Finiture	35
2.2.4.2. Il trasporto	35
2.2.4.3. Il montaggio	36
2.3. Progettare con prefabbricati già esistenti: i container	38
3. LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ DEI CONTAINER	41
3.1. I container: norme ISO e caratteristiche tecniche	41
3.2. 1CCC, 20' High Cube: caratteristiche tecniche	44
3.3. Tagliare un container per riconnetterlo a un altro	45
3.3.1. Modello A: connessione tra container tagliato e intero	48
3.3.2. Modello B: taglio della lamiera grecata, estrusione e ricostruzione della parte strutturale	49



3.3.3. Verifiche strutturali	50
4. LE ABITAZIONI CON I CONTAINER	54
4.1. Progettare nuclei abitativi per due persone	54
4.2. Progettare un edificio plurifamiliare	54
4.2.1. Analisi strutturale di un nodo del progetto	55
5. CONCLUSIONE	68
6. FONTI	70
6.1. Bibliografia	70
6.2. Sitografia	71

## 1. ABSTRACT

Ogni architetto ha affrontato almeno una volta, durante la carriera, progetti basati sulla modularità, che lo hanno portato a privilegiare ora il comfort ambientale, ora la composizione volumetrica e ora i vincoli imposti dalla struttura portante.

Negli ultimi decenni, sull'onda green e dell'innovazione, ci si è avvicinati alla progettazione di edifici realizzati con container merci. Finora i progetti sono stati caratterizzati da una forte rigidità compositiva generata dall'accostamento e dallo sfalsamento di questi blocchi. La gestione degli spazi interni e il loro comfort ne ha inevitabilmente risentito.

La proposta di tagliare e riassemblare i container in base alle esigenze del singolo permette di ovviare questo problema e di rendere flessibile un elemento modulare, rigido per definizione.

## 2. LA MODULARITÀ IN ARCHITETTURA

### 2.1. La storia dell'architettura modulare prefabbricata

I primi ritrovamenti di abitazioni costituite da elementi prefabbricati risalgono, secondo gli archeologi, al 4.000 a.C.

Le popolazioni erano nomadi e durante le loro peregrinazioni portavano con sé tutto ciò che era in loro possesso, dimore comprese. Per tale motivo era necessario che fossero facilmente smantellabili, trasportabili e ricostruibili. Erano tettoie o capanne costituite da tronchi, rami, frasche, pellicce o pelli di animali costituendosi così da un numero limitato di pezzi, leggeri e facili da maneggiare.<sup>1</sup>

Partendo dalle suddette caratteristiche, le differenti tipologie architettoniche si sono sviluppate a seconda della zona geografica, delle condizioni climatiche del luogo e delle esigenze dell'uomo.

Qui si fondano le basi per lo sviluppo di un'edilizia per sistemi, le cui tecniche vennero affinate col tempo sperimentando l'uso dei più svariati materiali.

---

<sup>1</sup> Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M., *Atlante della progettazione modulare*, Torino 2010, pag. 14. (ed. originale, *Elemente und Systeme Modulares Bauen Entwurf Konstruktion Neue Technologien*, Birkhäuser, 2008).

### 2.1.1. Il mattone

Nel Vicino Oriente, ricco di argilla grazie alle fertili terre alluvionali, il *mattone* diventò l'elemento fondamentale nelle costruzioni di Egitto e Mesopotamia e dal 3500 a. C. le ziqqurat sumere erano realizzate interamente con questi blocchi.<sup>2</sup> Forma e dimensioni dipendevano dal comportamento del materiale all'essiccazione e alla cottura, ma la maneggevolezza era correlata alla connessione e la stabilità della muratura alla disposizione dei blocchi. Questo metodo costruttivo ha avuto un'importanza fondamentale fino ad oggi con le costruzioni preindustriali.

### 2.1.2. La pietra

Nella realizzazione dei templi greci la lavorazione della *pietra naturale* fu perfezionata a tal punto che i singoli componenti potevano essere assemblati con tolleranze minime. Le unioni venivano realizzate in bronzo o ferro. La progettazione si doveva basare su tracciati regolatori ben precisi definiti da rapporti matematici rigorosi.

Gli antichi Romani ebbero il merito di aver saputo assorbire e sistematizzare tutte le tecniche e le innovazioni riscontrate nelle diverse aree dell'Impero per poi diffonderle. Vitruvio le raccolse nel suo *De Architectura* già nel I secolo a.C., realizzando il primo trattato sull'arte del costruire. Vi sono riportate anche le indicazioni sulla realizzazione di templi attraverso un sistema

---

<sup>2</sup> *Ibidem.*

standardizzato basato su elementi costruttivi in pietra che potevano essere spediti via nave.

### 2.1.3. Il legno

Le costruzioni in *legno* iniziarono con sistemi estremamente semplici basati sull'inclinazione dei pezzi poi appoggiati l'uno all'altro, legandoli insieme e ricoprendoli di paglia. Talvolta venivano conficcati dei montanti nel terreno, riempiendo gli spazi interposti con rami intrecciati rivestiti di argilla e appoggiandovi sopra una semplice struttura di copertura. Nasce così il sistema costruttivo a montanti, che porrà poi le basi per le strutture a telaio. Dopo le prime sperimentazioni, i montanti vengono appoggiati su grandi pietre o su soglie per evitarne lo sprofondamento nel terreno e il degrado che ne consegue. La struttura a montanti in legno era quindi composta da soglia, montanti, telai o architravi e tamponamenti. La ripetizione di questo scheletro dava origine ai sistemi a graticcio, in cui i montanti risultavano essere più fitti rispetto alle costruzioni a montanti semplici.<sup>3</sup>

Questo sistema costruttivo ebbe un'importante evoluzione nel 1832 con il George W. Snow, il quale ideò il *balloon frame*, sostituendo al posto di montanti e travi, delle tavole allineate e collegate con chiodi di fabbricazione industriale. Le tavole usate, standardizzate e ottenute attraverso il taglio tramite seghe circolari o alternative, dopo un primo periodo di essiccazione

---

<sup>3</sup> Ivi, pag. 15.

potivano essere immagazzinate e trasportate. Grazie a questo metodo gli elementi verticali potevano essere alti quanto tutto l'intero edificio. Le pareti esterne erano costituite da pannelli inchiodati da entrambi i lati, mentre i solai tra i piani sono rivestiti solo sulla faccia superiore. Le pareti, staticamente, funzionano come una lastra nella quale si possono creare aperture. Il balloon frame, messo a confronto con il sistema tradizionale, permette, a parità di prestazioni, costi notevolmente ridotti e un dispendio di risorse inferiore e per questo motivo viene tuttora utilizzato nell'edilizia abitativa nordamericana.

Il *platform frame* è un altro metodo costruttivo successivo che si differenzia dal precedente nella caratteristica di avere i montanti che si fermano al primo piano e per questo motivo la sua composizione risulta più flessibile e agevole. In una costruzione multipiano il telaio del primo piano viene fissato al basamento e i successivi sfruttano il precedente come piattaforma. Su queste basi di fonda la nascita della casa a telaio in legno, i cui montanti, ad oggi in Europa, presentano un interasse di 62,5 cm, ma che per decenni hanno avuto nell'America del nord un interasse di circa 40 cm. La combinazione di più profili specifici dà luogo a elementi costruttivi differenti quali montanti, soglie, travetti e architravi. Le pareti sono costituite da pannelli prefabbricati a piè d'opera e rivestiti da un solo lato per poi essere facilmente e velocemente assemblati. I sistemi costruttivi a telaio leggero in legno consentono di sfruttare il più efficientemente possibile i tronchi degli alberi e di velocizzare il processo costruttivo. Il dimensionamento degli spazi viene standardizzato e i collegamenti non sono più piccoli capolavori di carpenteria, ma sistemi razionalizzati in seguito all'introduzione del ferro.

La casa tradizionale giapponese rappresenta la tipica costruzione con scheletro in legno a un solo piano, che grazie alla distribuzione organizzativa della pianta e alla forma degli elementi costruttivi è diventata un modello per molti architetti appartenenti al Movimento Moderno. Il modulo che sta alla base di questa tipologia edilizia è lo *shaku*, un'unità di misura cinese che corrisponde grossomodo al piede inglese. Tutti gli elementi si combinano perfettamente sulla base di questa misura, che comporta dei vincoli per la struttura portante, per le dimensioni degli ambienti e per la relazione reciproca degli elementi. Durante il Medioevo fu introdotto il Ken, la misura che definisce la distanza tra i montanti, che varia da paese in paese. I tamponamenti sono molto liberi e variano in base alle esigenze degli abitanti. La casa giapponese risulta dunque essere il primo esempio nelle costruzioni in legno di coordinazione modulare, standardizzazione e suddivisione in componenti elementari.<sup>4</sup>

#### 2.1.4. L'architettura militare e le scatole di montaggio

Nell'architettura militare e nell'espansione coloniale i sistemi costruttivi prefabbricati si sono rivelati indispensabili. Se dapprima la tenda si rivelò in linea con le esigenze di continuo spostamento degli eserciti, a partire dal XVIII secolo in Europa le vie di comunicazione migliorarono notevolmente, con un conseguente sviluppo dei trasporti, e ciò, contemporaneamente alle esigenze

---

<sup>4</sup> Ivi, pag. 17.

militari in netta crescita, rese necessario l'uso di costruzioni scomponibili sempre più ampie realizzate con graticci di legno.

Nella guerra russo-turca del 1788-1791 furono spedite in nave, fino alle zone della battaglia, questo tipo di strutture. Il metodo risultò però essere troppo dispendioso e a partire dal 1837, con l'invenzione della lamiera ondulata, si facilitò lo sviluppo di questi sistemi costruttivi.<sup>5</sup> Una struttura che in pianta presentava come un rettangolo dalle dimensioni di 4,1 x 6,1 m poteva essere smontata e riposta in soli due colli di 31 x 62 x 275 cm. Per quanto concerne il montaggio, i profili di lamiera grecata, zincati sul lato esterno per riflettere i raggi solari, erano fissati tramite viti a sottostrutture in ghisa.

Il primo a fornire vere e proprie scatole di montaggio fu il produttore di caldaie tedesco Christoph, con la ditta fondata a Niesky nel 1892. Nel 1882 acquisì dal danese Doecker il brevetto per la costruzione di ospedali da campo con scheletro in legno e tamponamenti in cartonfeltro e tela nautica. Dopo qualche perfezionamento lo rese adatto all'esportazione nei paesi tropicali aggiungendo una copertura a doppio involucro.<sup>6</sup> I kit, piccoli e leggeri, venivano spediti oltre oceano completi di tutto, arredo compreso. Uno dei primi fu spedito nel 1888 dall'Inghilterra e assemblato in Australia nell'arco di una settimana. Verso la fine del XVIII secolo a Sydney giunsero un ospedale, un grande magazzino e delle case unifamiliari. Inizialmente i *portable cottages* erano prodotti e spesso anche decorati a mano. L'innalzamento dei premi assicurativi per le abitazioni in legno e il continuo miglioramento delle prestazioni del ferro fece sì che, a

---

<sup>5</sup> *Ibidem.*

<sup>6</sup> *Ibidem.*



partire dagli anni '40 del XIX secolo, questo materiale si rese il protagonista delle strutture portanti.<sup>7</sup>

#### 2.1.5. I nuovi materiali: ghisa, ferro fucinato e acciaio

Con l'avvento della Rivoluzione industriale e con l'utilizzo del carbon coke al posto del carbone di legna, la disponibilità di ferro fu sempre maggiore, riuscendo anche ad ottenerlo con prestazioni e caratteristiche migliori. Il settore delle costruzioni raggiunse punti innovativi sempre più alti con la scoperta di nuovi materiali quali ghisa, ferro fucinato e acciaio. Il ferro sancì indubbiamente nuovi profili qualitativi sia dal punto di vista strutturale che estetico. Mentre le dimensioni dei fabbricati crescevano, i volumi delle parti strutturali diminuivano. Gli elementi del manufatto architettonico erano dimensionati secondo le esigenze e assemblati il più possibile in officina.<sup>8</sup>

Nel 1855 Henry Bessemer e nel 1879 Sidney Gilchrist Thomas, posero le basi per la produzione di acciaio a basso tenore di carbonio partendo dal ferro grezzo, il quale rappresenta tuttora l'elemento principale dei sistemi a scheletro.

Secondo Schädlich "le costruzioni in ferro [...] hanno fatto da battistrada più in generale per l'industrializzazione dell'edilizia. Esse hanno [...] sviluppato gli aspetti della tecnologia industriale più adeguati per il settore delle costruzioni: della suddivisione del prodotto in componenti di grande formato alla loro

---

<sup>7</sup> Ivi, pag. 18.

<sup>8</sup> Ibidem.

prefabbricazione in officina e all'assemblaggio meccanizzato, passando per l'unificazione di forme e dimensioni con l'obiettivo della produzione in serie per arrivare al mutamento dell'organizzazione del cantiere."<sup>9</sup>

Le possibilità di prefabbricazione, inizialmente, furono maggiormente usate nella realizzazione di ponti e quello ad arco realizzato tra il 1775 e il 1779 dai fratelli Darby sul fiume Severn a Coalbrookdale segnò il primo passo verso l'edilizia industrializzata.<sup>10</sup>

Il primo edificio realizzato con scheletro strutturale realizzato con travi e pilastri in ghisa prefabbricate e pareti esterne e solai in muratura massiccia fu il linificio progettato da Charles Bage per la ditta Benyon, Bage & Marshal a Castle Forgate, Shrewsbury nel 1796-97. Le colonne risultavano facili da montare e potevano essere decorate secondo lo stile architettonico dell'epoca. Il progresso però non fu omogeneo.<sup>11</sup>

I primi edifici che si proiettarono verso un'ossatura interamente in acciaio furono delle serre.

Il Palazzo di Cristallo realizzato per l'Esposizione Universale di Londra del 1851 ne è l'emblema. Il progetto ebbe luogo dalla stretta collaborazione tra il giardiniere Joseph Paxton e gli ingegneri Fox e Henderson, i quali assemblarono un'ossatura portante impostata su pianta modulare. Paxton evidenziò che "la

---

<sup>9</sup> Ivi, pag. 19.

<sup>10</sup> *Ibidem.*

<sup>11</sup> *Ibidem.*

produzione e l'assemblaggio degli elementi prefabbricati dovevano funzionare allo stesso modo di una macchina"<sup>12</sup>. Il fabbricato era lungo 564 m, largo 124 m e alto 40 m, presentando solo due tipologie di pilastri per il piano terra e per quello superiore. L'intera struttura a telaio si basava sul modulo derivato dalla dimensione massima delle lastre di vetro che all'epoca potevano essere prodotte in serie. Il Palazzo fu definito dall'architetto e costruttore Konrad Wachsmann "un punto di svolta evidente [...] , grazie al quale l'intero corso della storia dell'architettura cambiò radicalmente direzione"<sup>13</sup>. Questo edificio dimostrò che un'edilizia industrializzata e razionalizzata poteva sviluppare elementi e processi costruttivi a ciclo continuo e che la stretta collaborazione tra ingegnere e produttore era possibile e, anzi, di grande importanza.

L'imprenditore e costruttore James Bogardus nel 1848 costruì a New York un opificio di quattro piani, la cui facciata era formata da elementi in ghisa, tanto da essere considerata un'anticipazione del concetto di *curtain wall*. A metà del XIX secolo questo genere di architettura raggiunge il suo apice.

#### 2.1.6. Il cemento armato

Anche il calcestruzzo rientra nell'ambito delle costruzioni realizzate per elementi prefabbricati.

---

<sup>12</sup> *Ibidem.*

<sup>13</sup> *Ibidem.*

Il giardiniere francese Joseph Monier, partendo dalle fioriere realizzate in cemento con l'inserimento di un filo metallico nel 1849, sviluppò i primi componenti per un'edilizia in cemento armato che consentiva la realizzazione di strutture monolitiche ad elevata stabilità.

Il francese F. Coignet, produttore di cemento, nel 1891 utilizzò per la prima volta dei componenti prefabbricati in cemento per la realizzazione del Casinò di Biarritz.

Nel 1896 François Hennebique, ingegnere e imprenditore, progettò per le ferrovie francesi un casello ferroviario costituito da una sola cellula spaziale in calcestruzzo.

#### 2.1.7. La produzione in serie nell'edilizia

La forte industrializzazione indirizzò l'edilizia verso lo sviluppo di nuovi parametri qualitativi relativi alla struttura, allo spazio e alla forma. Veniva così eliminato il lavoro artigianale grazie alla possibilità di produrre con nuovi metodi e più velocemente componenti industriali su grande scala. L'architettura fu destinata a rinnovarsi completamente sotto il punto di vista formale, sociale ed economico. Bisognava produrre in serie in fabbrica attraverso elementi standardizzati da poi assemblare in cantiere secondo i principi della progettazione modulare. La tipologia abitativa prodotta attraverso queste modalità, essendo veloce da realizzare ed economica, si trovò in perfetta sintonia con le esigenze della

classe operaia e come rimedio al degrado dei quartieri popolari. La richiesta predominante era un alloggio ben organizzato, areato e illuminato, ad un prezzo accessibile.

Gli architetti si orientarono verso una progettazione razionalizzata, standardizzata e tipizzata anche per l'effetto dell'influenza del taylorismo e del fordismo.

Nel 1918 l'architetto Peter Behrens promosse la *meccanizzazione dei processi edilizi*. "Questa industrializzazione dei componenti costruttivi [nel senso di finestre, porte, ecc.] doveva essere affrontata in maniera ancora più intensa e approfondita"<sup>14</sup>. Il ricorso a dimensioni e forme standard per i prodotti prefabbricati destinati all'edilizia abitativa unifamiliare avrebbe posto le basi per una produzione industriale di massa in grado di spianare la strada a una riduzione dei costi delle case unifamiliari<sup>15</sup>.

Nel 1928 il CIAM si dichiarò a favore di una *razionalizzazione e standardizzazione*, considerandoli metodi di produzione economici e indispensabili.

Uno dei progettisti che primo colse le potenzialità delle innovazioni architettoniche originate dallo sviluppo industriale fu Le Corbusier.

"Una grande epoca è cominciata. Esiste uno spirito nuovo. L'industria, irrompente come un fiume che scorre verso il proprio destino, ci porta gli strumenti nuovi adatti a quest'epoca animata da un nuovo spirito. La legge dell'Economia amministra in modo operativo i nostri atti, e le nostre concezioni non sono realizzabili

---

<sup>14</sup> Ivi, pag. 23.

<sup>15</sup> *Ibidem*.

che per il suo tramite. Il problema della casa è un problema del nostro tempo. L'equilibrio della società che oggi dipende da questo. L'architettura ha come primo compito, in un'epoca di rinnovamento, quello di operare la revisione dei valori, la revisione degli elementi costitutivi della casa. La serie è basata sull'analisi e la sperimentazione. La grande industria deve occuparsi della costruzione e produrre in serie gli elementi della casa. Occorre creare lo spirito della produzione in serie"<sup>16</sup>.

Il maestro nel 1914 concepì un sistema di pilastri e solai in calcestruzzo nel quale era possibile inserire in maniera personalizzata finestre, porte e armadi a muro prefabbricati in serie: la Maison Dom-ino. Questo modello cambiò radicalmente il mondo dell'edilizia. Nel 1921 progettò la Maison Citrohan "una casa come un'automobile, concepita e disposta come un omnibus o come una cabina di nave"<sup>17</sup>.

Martin Wagner, consigliere all'urbanistica a Berlino, dal 1918 sostenne vivamente la razionalizzazione del costruire e la tipizzazione degli alloggi. Per rendere economicamente accessibili gli alloggi era necessario abbattere i costi di costruzione. Bisognava dunque riorganizzare l'edilizia tradizionale concependo i cantieri in modo razionale in un contesto industriale sostituendo il lavoro manuale con quello meccanico.

Con le Siedlungen Britz e Onkel Toms Hütte a Berlino progettate da Bruno Taut il processo di cantiere venne migliorato con

---

<sup>16</sup> Le Corbusier, *Verso una architettura*, a cura di Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolini, Milano 1984, pag. 187 (ed. originale, *Vers une architecture*, Paris, 1925).

<sup>17</sup> Ivi, pag. 60.

l'introduzione dei nastri trasportatori ed escavatori meccanici e la riduzione delle tipologie abitative a quattro permisero di abbattere notevolmente i costi. Nel caso delle Siedlungen le tecniche costruttive erano ancora per lo più tradizionali, ma vi erano eccezioni, come per esempio quella della Siedlung Friedrichsfelde, che presentava una modularità nei pannelli che costituivano la facciata, ma che risultò essere di costo troppo elevato e interessata da difetti che si rivelarono nel tempo.

Francoforte sul Meno risultò essere la città pioniera di un'architettura industrializzata e razionalizzata. Ernst May sosteneva che "è necessario costruire un numero sufficiente di alloggi, i cui canoni di affitto [...] non siano superiori allo stipendio settimanale di un lavoratore"<sup>18</sup>. "La produzione degli alloggi dovrebbe essere organizzata come la produzione di tutti gli oggetti di massa nel sistema economico, vale a dire che i modelli progettati in modo esemplare (tipi) dovrebbero essere fabbricati in serie, possibilmente in pochi luoghi concentrati. In particolare si dovrebbe procedere anche alla meccanizzazione della costruzione degli alloggi. L'obiettivo deve essere l'alloggio realizzato in fabbrica completo di arredi, fornito già pronto e da montare in pochi giorni"<sup>19</sup>.

A partire dal 1926, nella fabbrica di abitazioni da lui fondata a Francoforte, nacquero i primi pannelli prodotti industrialmente in Germania con il marchio System Stadtrat Ernst May. Venivano posati tramite gru su un letto di malta di pietra pomice e

---

<sup>18</sup> Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M., *Atlante della progettazione modulare*, Torino 2010, pag. 24 (ed. originale, *Elemente und Systeme Modulares Bauen Entwurf Konstruktion Neue Technologien*, Birkhäuser, 2008).

<sup>19</sup> Ibidem.

successivamente i giunti venivano riempiti per colatura. I solai si realizzavano attraverso l'assemblaggio in parallelo di travi in calcestruzzo armate prodotte in fabbrica. Dall'apertura del cantiere all'ultimazione dell'edificio servivano 26 giorni. I nuovi sistemi di costruzione e produzione dovevano trasparire anche dall'esterno dell'edificio.

#### 2.1.8. L'abitazione come sistema modulare completo

Walter Gropius, stimolato dagli scritti di Le Corbusier, iniziò a sostenere un "sistema costruttivo modulare in grande stile, che permette di assemblare diverse macchine per abitare a seconda del numero di abitanti e delle loro necessità", e "una casa che sia composta da elementi mobili diversi, da produrre a richiesta e che possano essere assemblati in modo combinatorio [...] come un gioco delle costruzioni a scala reale"<sup>20</sup>.

Questo sistema costruttivo modulare venne sviluppato nel 1922 per una Siedlung prevista per il Bauhaus. L'aspirazione espressa da Gropius nel 1923 che in cantiere si potesse "assemblare i singoli elementi come macchine secondo un sistema di montaggio a secco" si realizzò solo in seguito<sup>21</sup>. Sembrava che Gropius volesse diventare il "Ford dell'abitazione"<sup>22</sup>.

Anche l'edilizia per abitazioni unifamiliari si affacciò verso i nuovi orizzonti. Si apriva così per gli architetti un'ottima prospettiva di

---

<sup>20</sup> Ivi, pag. 25.

<sup>21</sup> *Ibidem*.

<sup>22</sup> *Ibidem*.



sperimentazione che aveva come obiettivo la fornitura di case unifamiliari come "sistemi modulari completi" a catalogo. Con il boom economico degli anni '20 anche l'industria dell'acciaio si dedicò alla costruzione di abitazioni. Nel 1927 Gropius presentò le sue "nuove soluzioni per l'edilizia prefabbricata": Casa n. 16, molto simile ad un edificio in muratura massiccia tradizionale, e Casa n. 17 realizzata tramite l'assemblaggio a secco di componenti di fabbricazione industriale.

Dopo la prima Guerra Mondiale vi fu una forte richiesta di case prefabbricate in legno, da un lato per la scarsità di materiali quali acciaio, mattoni e cemento e dall'altro per il desiderio di abitare nel verde. La ditta leader in Europa in questo settore, aveva come architetto capo Konrad Wachsmann, ma anche Paul Schmitthenner, esponente tradizionalista della scuola di Stoccarda, si interessò al tema dell'edilizia economica e sviluppando nello stesso periodo un sistema a graticcio di produzione industriale, il *FafaSystem*, che veniva montato a secco. I telai erano chiusi su quattro lati, prefabbricati in serie e con incorporati i serramenti già finiti. I moduli venivano fissati direttamente in cantiere tramite viti. Il tempo di costruzione, dall'apertura del cantiere alla piena abitabilità si aggirava attorno alle dieci settimane. La crisi economica della fine degli anni '20 decretò la fine dei sistemi prefabbricati industriali.<sup>23</sup>

Negli Stati Uniti alla fine del XIX secolo agli edifici a scheletro in acciaio ebbero un forte sviluppo che doveva condurre allo sviluppo dei grattacieli di Chicago e New York si contrapponeva il boom dell'industria delle case unifamiliari che realizzavano il

---

<sup>23</sup> Ivi, pag. 26.

desiderio americano di vivere in case che potevano essere costruite direttamente dagli abitanti finali. La crisi del '29 contribuì alla ripresa dell'industria delle case prefabbricate: l'utenza si orientava sul *low-budget-housing*.

Richard Buckminster Fuller si orientò verso lo studio e lo sviluppo di case trasportabili. Verso la fine degli anni '20 iniziò a rendersi conto del "caos nell'edilizia", per "eliminare il quale [...] sono necessarie tecnologie efficienti sotto il profilo fisico e durevoli"<sup>24</sup>. Nel 1927 realizzò così la *Dymaxion House*, la sua prima macchina per abitare, un corpo esagonale appeso a un pilone. Limitando l'uso dei materiali e riducendo il più possibile le superfici era possibile ottenere il massimo spazio. La casa poteva essere imballata in un giorno per poi essere trasportata.

Nella *Wichita House*, progettata tra il 1944 e il 1946, fu di fondamentale importanza l'uso del Duraluminium, materiale proveniente dall'industria aeronautica. Anche questo edificio presentava una pianta centrica, ma circolare, la cui struttura primaria era costituita da un pilone centrale. Sei uomini potevano facilmente montarla in un solo giorno.

Nel 1943-44 nacque così il *General Panel System*, che utilizzava un irrisorio numero di componenti ed evolute tecniche di assemblaggio. Furono venduti circa 150-200 *General Panel Units*. L'obiettivo della ricerca fu quello di "sviluppare l'elemento prefabbricato più completo possibile, che attraverso un semplice assemblaggio in cantiere e senza conoscenze specialistiche da parte degli operai possa essere utilizzato per costruire edifici a

---

<sup>24</sup> *Ibibem*.

uno o due piani”<sup>25</sup>. In questa particolare situazione il legno rappresentava il materiale più consono sia per l’aspetto economico che per quello qualitativo. Questo tipo di sistema risultava però più costoso rispetto alla classica struttura a telaio in legno e nonostante la rapidità di realizzazione, non riuscì a imporsi sul mercato.

Jean Prouvé, ingegnere, costruttore e imprenditore francese, diede un grosso contributo alla prefabbricazione industriale. Affascinato da aerei, automobili e navi, fu inevitabilmente attratto dai materiali moderni, quali lamiera, alluminio e plastica per le loro proprietà, potenzialità costruttive e metodi di lavorazione. Voleva combinare insieme un migliore utilizzo del materiale all’efficienza costruttiva e al processo di produzione.

Nel 1945, il direttore della rivista *Arts & Architecture* John Entenza, diede il via a *Case Study House Program*, con lo scopo di elaborare progetti di case prefabbricate a basso costo. Furono coinvolti otto architetti, tra i quali troviamo Charles e Ray Eames, Eero Saarinen e Richard Neutra. Vennero concepiti 36 edifici con i quali si stabilirono nuovi parametri per l’edilizia abitativa moderna i quali risultarono essere il simbolo dell’abitare e del design moderno del dopoguerra.<sup>26</sup>

La prefabbricazione e le abitazioni preassemblate riscossero un grande entusiasmo della Germania del dopoguerra. Ne sono esempi le case prefabbricate in legno con sistemi a pannelli della

---

<sup>25</sup> Ivi, pag. 28.

<sup>26</sup> Ivi, pag. 29.

ditta Holig-Homogen-Holzwek a Baiersbronn, e le case in blocchi di calcestruzzo cellulare della ditta J. Hebel.

La fabbrica aeronautica Dornier, partendo dall'esperienza maturata nell'edilizia per le grandi emergenze, iniziò a produrre piccole case prefabbricate a due piani con struttura portante costituita da profilati leggeri di acciaio piegato. Lo scheletro era così prodotto in serie alla catena di montaggio in due elementi ottenendo poi una cellula abitativa completa e finita in ogni suo dettaglio d'arredo da rivestire in opera con una pelle di gasbeton spessa 5 cm e successivamente intonacata. La produzione fu nuovamente interrotta in seguito alla ripresa della produzione di aeroplani.<sup>27</sup>

Fritz Haller sviluppò dei sistemi modulari ottimizzati e razionalizzati per le costruzioni in acciaio. Il suo obiettivo era quello di creare edifici modificabili capaci di adattarsi ad eventuali cambiamenti di esigenze funzionali e tecniche. Per questo motivo piante, volumi e struttura portante dovevano essere ridotti al minimo. Egli, tra il 1961 e il 1964, sviluppò diversi sistemi costruttivi in acciaio basati su una geometria modulare semplice, che potevano essere facilmente smontati e traslati.<sup>28</sup>

Renzo Piano, negli anni '80, dimostrò come sia possibile costruire strutture portanti esteticamente appaganti e funzionalmente efficaci, utilizzando materiali differenti, ma con caratteristiche complementari. Ne è un esempio il padiglione itinerante per l'IBM, progettato in collaborazione con Peter Rice tra il 1982 e il 1984,

---

<sup>27</sup> Ivi, pag. 30.

<sup>28</sup> Ibidem.

allestito per diversi anni nelle principali città europee. Per trasportare il manufatto smontato erano necessari cinque autotreni, mentre l'assemblaggio necessitava di quindici giorni.

Tra il 1959 e il 1963 Günther Behnisch, in collaborazione con la facoltà di Ingegneria di Ulm, costruì in Germania il primo edificio a grandi elementi completamente prefabbricato. "Questi metodi costruttivi [...] utilizzati in modo logico portano a una forma molto chiara degli edifici, a una pulizia paragonabile a quella dei vecchi edifici costruiti con metodi artigianali"<sup>29</sup>. "L'utilizzo di questi elementi e sistemi standardizzati ci offre lo straordinario vantaggio che in futuro potremmo liberarci da tutto il lavoro che finora ha soffocato i nostri studi professionali"<sup>30</sup>. "L'architetto sarà libero per nuovi grandi compiti"<sup>31</sup>. Caratterizzante era l'addizione di elementi sempre uguali, ed era difficile svincolarsi dalla regola, in particolare per gli edifici più grandi. I diversi furono tentati su scala urbana in direzione di una differenziazione dei volumi o trattando cromaticamente i pannelli.

L'architetto francese Emile Aillaud, pur affrontando di petto la tematica dell'edilizia industrializzata, volle svincolare gli elementi in serie dal loro tecnicismo puntando sulla varietà della ricerca formale. I pannelli che usava in facciata erano piani, convessi e concavi, presentando aperture di varie dimensioni disposte liberamente. L'ambiente interno, però, tra spazi complessi e

---

<sup>29</sup> Ivi, pag. 34.

<sup>30</sup> *Ibidem.*

<sup>31</sup> *Ibidem.*

difficoltosa illuminazione, ne risentì in maniera decisiva, tanto da ottenere un chiaro rifiuto da parte degli abitanti.

Riccardo Bofill, invece, per smorzare la banalità e la monotonia dei suoi giganteschi blocchi di abitazione a Marne-la-Vallée e Cergy-Pontoise, modellò gli elementi di facciata in cemento con motivi ornamentali tipici degli edifici eclettici.

Tra il 1967 e il 1971 Herman Hertzberger, con le case sperimentali di Diagoon a Delft, riuscì a fare in modo "che la casa potesse essere adattabile [...]. Quello che veniva progettato era da considerare come un frame da riempire. Era come un prodotto semifinito che ciascuno poteva completare a seconda delle proprie esigenze"<sup>32</sup>.

Questo tipo di approccio è reso ancora più palese nel quartier generale della società Centraal Beheer. L'edificio, realizzato tra il 1970 e il 1972, è stato concepito sulla base di una maglia geometrica quadrata sulla quale si organizzano gli spazi. Per questo motivo lo scheletro strutturale in cemento armato è stato lasciato a vista. Si doveva "offrire l'occasione per un'interpretazione personale, dando alle cose una forma tale da renderle effettivamente interpretabili"<sup>33</sup>.

Nel 1964 fu fondata la SAR (fondazione per la ricerca sull'architettura) dall'architetto olandese Nikolaas Habraken "per indagare le possibilità di progettare e produrre ossature strutturali

---

<sup>32</sup> Ivi, pag. 35.

<sup>33</sup> *Ibidem*.

e complementi”<sup>34</sup>. L’obiettivo della fondazione era quello di individuare delle strutture che consentissero un’ampia partecipazione degli utenti all’organizzazione e alla definizione funzionale delle piante. Il progetto veniva scisso tra parte strutturale e allestimento. Solo bagni e cucine occupavano un posto fisso, gli altri spazi potevano essere gestiti a piacimento dall’utenza.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, anche in Scandinavia prese piede l’uso di sistemi prefabbricati di grande formato il più diffuso era quello danese Jespersen.

Negli anni '60 l’architetto danese Jørn Utzon sviluppò la sua *architettura additiva*, nella quale i singoli elementi sono formati da tipologie spaziali che possono essere combinate liberamente a formare una struttura costantemente modificabile.

Otto Steidle sperimentò a Monaco un sistema costruttivo aperto costituito da elementi prefabbricati in calcestruzzo che permetteva una buona flessibilità consentendo di arredare, utilizzare e modificare a piacere gli spazi. La struttura primaria era costituita da pilastri in calcestruzzo a sezione rettangolare con mensole e travi a sbalzo, mentre gli elementi in facciata e i divisori erano scomponibili e scorrevoli, consentendo una buona flessibilità. “Così [...] ho dato forma all’idea di produrre strutture portanti che permettano l’inserimento e la libera organizzazione

---

<sup>34</sup> *Ibidem.*

degli alloggi, consentendo il progressivo insediamento della vita in queste strutture aperte”<sup>35</sup>.

Il gruppo californiano T.E.S.T. negli anni '70 orientò le sue ricerche verso un'individuazione di un sistema basato su moduli predefiniti che “non derivasse dallo sviluppo di nuovi elementi costruttivi, ma rappresentasse un sistema di coordinazione per componenti già presenti sul mercato. [...] Un complesso di regole secondo le quali elementi costruttivi già prodotti in serie potessero essere connessi tra loro”<sup>36</sup>. Si proponevano inoltre di realizzare una sorta di catalogo per permettere agli utenti di realizzare i propri progetti partendo da ciò che il mercato offriva.

Fino al principio degli anni '70 l'industrializzazione era sinonimo di progresso, ma ben presto l'aspetto della serializzazione che essa conteneva iniziò ad essere avvertito come un limite.

Günther Behnisch nel 1967 abbandonò l'edilizia prefabbricata, avvertendo che l'architettura stava perdendo alcune delle sue caratteristiche fondamentali quali luogo, materiali e funzione.

Helmut C. Schulitz ritenne che l'architettura, a causa della compiutezza dei sistemi impiegati, si era incastrata in un vicolo cieco.<sup>37</sup>

L'architettura è ormai costituita da più sistemi a differenti livelli di tecnicità che evolvono continuamente stimolati da esigenze architettoniche, tecniche e funzionali. L'edificio diventa una struttura complessa formata da sistemi differenti.

---

<sup>35</sup> Ivi, pag. 36.

<sup>36</sup> *Ibidem*.

<sup>37</sup> Ivi, pag. 37.



## 2.2. La prefabbricazione e la modularità

Agli inizi del XIX secolo, con l'industrializzazione, si concretizzò la prefabbricazione industriale dei componenti edilizi. Come si è detto, le strutture a scheletro ebbero un forte slancio con la prefabbricazione in serie dell'acciaio.

Nell'edilizia la prefabbricazione industriale è la produzione di componenti per mezzo di lavorazioni industriali. Vi sono fabbriche specializzate che producono i vari pezzi in condizioni ottimali, garantendone una perfetta qualità. In fabbrica, con l'ausilio delle più recenti tecnologie, vengono eseguiti anche lavori che richiedevano un consistente intervento manuale, come nel caso dell'arte muraria.

L'edilizia a elementi prefabbricati ha il vantaggio che la produzione, avvenendo in officina, ha una qualità controllata e quindi molto elevata. Le tempistiche in cantiere così possono essere notevolmente accorciate, incidendo positivamente sul costo di costruzione finale.

Gli elementi prefabbricati sono poi connessi in cantiere a quelli già realizzati sul posto, ma non sempre le condizioni di produzione in loco sono ottimali e di certo non possono essere paragonate a quelle di un'officina e per questo motivo qualità e tempistiche potrebbero risentirne.

L'aspirazione sempre crescente verso una qualità più elevata e tempi di progettazione e di esecuzione ridotti favorì il diffondersi della prefabbricazione industriale nel settore edilizio. Le tecnologie e i sistemi sempre più avanzati permisero di realizzare componenti edilizi sempre più complessi.

In ogni progetto, maggiore è il grado di prefabbricazione, minori sono le tempistiche di cantiere, le risorse per l'assemblaggio e

quindi i costi. Usando il sistema costruttivo a grandi pannelli il grado di prefabbricazione si aggira attorno al 60%, usando quello a cellule tridimensionali sale all'85%, mentre quello a cellule già finite internamente raggiunge il 95%.

Non è scontato che l'officina in cui si producono gli elementi prefabbricati sia vicino al cantiere, per questo motivo, laddove il trasporto richieda un eccessivo dispendio economico, è utile valutare l'ipotesi di produzione in un'officina mobile, temporaneamente allestita per il cantiere. Di fondamentale importanza è la disponibilità di tecnologie automatizzate e sviluppate per compiti semplici. È possibile poi ampliare l'effetto impiegando robot in grado di eseguire autonomamente anche le operazioni di assemblaggio. In questo settore il Giappone è molto progredito, sfruttando queste tecnologie anche nella realizzazione di grattacieli.

Viene usata una piattaforma di lavoro che scorre in verticale, che consente di montare gradualmente l'edificio. Viene precedentemente realizzato uno scheletro in acciaio che se da una parte costituisce la struttura dell'edificio, dall'altra viene usata come guida per il movimento della piattaforma, provvista di un involucro esterno di protezione sotto al quale sono riposti gru, robot e presse idrauliche. Una volta concluso il piano terra, la postazione si sopraeleva su quattro pistoni in acciaio consentendo di completare in toto il piano successivo e così via per tutti gli altri livelli. Tutto il processo è vigilato dai computer in una sala di controllo. La regolazione di questi sistemi automatizzati viene effettuata dagli operatori di cantiere. Le problematiche che si possono riscontrare sono inerenti alla programmazione robotica e

al rispetto della consegna degli elementi prefabbricati. Ogni singolo elemento da assemblare è prefabbricato, le uniche parti da fare a mano restano la sigillatura dei giunti e la sistemazione di una parte degli impianti.<sup>38</sup>

In edilizia vi sono due grosse distinzioni per quanto concerne l'ambito delle strutture: massicce, quali quelle in muratura e in pareti di calcestruzzo armato, e ad aste, come gli scheletri in acciaio, legno e calcestruzzo armato, gettato in opera e prefabbricato. Ogni tipo di struttura segue delle proprie regole per la connessione degli elementi influenzando inevitabilmente la forma degli edifici.

I sistemi a graticcio, o più in generale quelli tradizionali e artigianali, si basano sulla connessione di sistemi elementari prefabbricati manualmente.

Quelli a scheletro d'acciaio o a grandi pannelli, invece, si basano sull'uso di elementi prefabbricati in funzione strutturale, che, ripetendosi secondo una logica ben precisa, incidono sulla forma finale dell'edificio.

Per progettare con elementi prefabbricati bisogna seguire il principio di correlazione dei singoli elementi. Si possono usare elementi lineari, piani o tridimensionali, che pongono le basi per definire i principi strutturali caratteristici dell'edilizia per sistemi: scheletro, pannello e cellula tridimensionale. Di norma questi tre elementi vengono combinati tra di loro e assai raramente si presentano in forma pura. Spesso, ad esempio, le strutture a scheletro vengono impiegate in un sistema a pannelli o a cellule

---

<sup>38</sup> Ivi, pag. 41.

tridimensionali. Partendo dallo scheletro, per arrivare ai pannelli e alle cellule tridimensionali il grado di flessibilità diminuisce e quello di prefabbricazione aumenta.<sup>39</sup>

I singoli elementi di un sistema possono essere aggregati per costruire un edificio sulla base di regole specifiche. Ad esempio l'elemento della muratura è il mattone, quello del sistema di pannelli, il pannello a parete e quello del sistema modulare tridimensionale, la cellula. È di fondamentale importanza che la relazione tra gli elementi venga armonizzata, definendo, ad esempio, una tecnica di collegamento omogenea. In base alla complessità dell'edificio si crea una suddivisione dei livelli gerarchici a seconda della funzione, portante o non, e quindi struttura primaria o secondaria.<sup>40</sup>

Gli elementi costruttivi possono essere prodotti in serie, in fabbriche specializzate. Per questo motivo la loro forma e la loro funzione vengono già stabiliti in fase di progettazione. L'edilizia a elementi prefabbricati usa elementi tipizzati e anche interi edifici possono essere tipizzati. La tipizzazione è il processo attraverso il quale vengono descritte le caratteristiche di un elemento costruttivo.<sup>41</sup>

Vi è un *principio ordinatore geometrico* in base al quale i sistemi definiscono le relazioni tra i singoli elementi. È già durante la fase di progettazione che vengono stabilite tutte le possibili combinazioni degli elementi di un sistema edilizio. In questa

---

<sup>39</sup> Ivi, pag. 42.

<sup>40</sup> *Ibidem.*

<sup>41</sup> *Ibidem.*

occasione bisogna armonizzare gli elementi costruttivi e le loro interconnessioni. Si definiscono così, sin da subito, la tipizzazione e la coordinazione dimensionale. I sistemi edilizi moderni si dividono in sistemi chiusi o aperti e sono costituiti da elementi che includono strutture portanti, involucri, allestimenti interni e impianti.<sup>42</sup>

### 2.2.1. I sistemi chiusi

I *sistemi chiusi* sono costituiti da elementi realizzati dallo stesso produttore e possono essere utilizzati per l'intero edificio o anche solo per strutture portanti, facciate o finiture. Ogni elemento è integrato con l'altro e non può essere sostituito, integrato o ampliato. La variazione di un elemento comporterebbe una rivalutazione di tutto il sistema. Per questo motivo l'adozione di un sistema chiuso per la realizzazione di un edificio potrebbe risultare controproducente nel caso di adattamenti dovuti a esigenze d'uso individuali, topografia del luogo o contesto edilizio.<sup>43</sup>

I sistemi modulari componibili sono un tipo particolare di sistema chiuso nel quale i singoli elementi che il produttore realizza non dipendono dal singolo edificio, ma da regole più generali e standardizzate. Si hanno così un numero prestabilito di elementi che possono essere collegati tra loro in maniera differente per andare a formare diverse soluzioni. Vi sono dunque precise regole geometriche e costruttive che regolano la coordinazione e il

---

<sup>42</sup> *Ibidem.*

<sup>43</sup> *Ibidem.*

montaggio. Questo sistema viene usato per la realizzazione di edifici di abitazioni prefabbricate, ma anche per strutture complesse quali ossature di capannoni.

### 2.2.2. I sistemi aperti

I *sistemi aperti* sono flessibili in quanto possono usare componenti realizzate da differenti produttori. Non sono necessariamente finalizzati alla realizzazione di un particolare edificio, come nel caso dei sistemi chiusi, ma consentono il collegamento di elementi prefabbricati di diversa provenienza. Le combinazioni possono essere le più svariate e consentono la realizzazione di progetti architettonici sia per sottoinsiemi che per interi edifici.

In fase di studio il progettista sceglie i vari elementi tipizzati e le modalità di assemblaggio, verificando che tutto sia coerente. L'addizionabilità, la sostituibilità e la variabilità degli elementi tipizzati è fondamentale per la loro adozione in numerosi programmi architettonici. Vi sono norme, nell'edilizia contemporanea, che regolano il dimensionamento degli elementi costruttivi come, ad esempio, il sistema ottametrico nell'arte muraria. Ciò garantisce di avere sempre le stesse dimensioni anche variando i produttori.

È possibile così combinare sistemi chiusi con sistemi aperti, usando ad esempio il primo per la struttura e il secondo per l'allestimento degli interni.

### 2.2.3. I fondamenti della progettazione modulare

Vi sono degli elementi, i *semilavorati*, che sono considerati neutri in quanto possono essere usati in differenti di sistemi edilizi. Sono componenti industriali derivati da materiali grezzi come i laminati di acciaio, le lastre di cartongesso o il legno segato da costruzione. Questi garantiscono il massimo grado di prefabbricazione alla struttura: gli elementi costruttivi vengono lavorati a mano in cantiere, tagliati su misura o nuovamente trasformati in officina per ottenere elementi più complessi.

Il termine *modulo*, se da un lato indica la misura fondamentale di un sistema di ordinamento geometrico, dall'altro un elemento di un sistema posizionato sulla base di un principio ordinatore. La sua unità base è indicata come Modulo (M). Nella progettazione dell'edificio, le misure fondamentali al rustico e al finito sono basate su quelle dell'unità base. In Europa il valore del modulo è 100 mm. Le dimensioni delle componenti devono essere multipli del valore di M.

Il *reticolo* è l'espedito geometrico che consente di determinare posizione e dimensionamento di un componente. È costituito da una maglia tridimensionale di linee rette tracciata a partire da una forma primaria rettangolare o quadrata. Per stabilire i riferimenti tra i singoli elementi è necessario tracciare linee piani e punti di riferimento che si distanziano con misure pari al modulo base o a suoi multipli. Su questa base è possibile sviluppare la progettazione, la produzione e l'assemblaggio dei componenti costruttivi.

Si possono individuare più reticoli distinti, ad esempio uno per la struttura e uno per l'involucro esterno e per le finiture interne. In questo caso la distanza tra i montanti è basata su un reticolo assiale.

Il reticolo a nastro è solitamente la base di un sistema a pannelli. È dunque possibile che un edificio presenti più reticoli combinati tra loro, ma questi devono necessariamente essere correlati tra loro tramite un principio ordinatore che coordina geometricamente e dimensionalmente la progettazione. I reticoli assiali e a nastro governano la base geometrica, mentre quelli strutturali, impiantistici e delle finiture, la parte progettuale e la correlazione tra sistemi.

Nel *reticolo assiale* le linee mediane del componente si sovrappongono alle linee di riferimento del reticolo. La dimensione del componente non acquisisce particolare significato per la correlazione modulare e per questo motivo nei punti di giunzione si verificano delle intersezioni. Per evitarle è necessario usare elementi speciali, la cui lunghezza corrisponde allo spessore del componente o alla sua metà. Questo tipo di reticolo è usato per le piante a organizzazione lineare o nei sistemi costruttivi a paratie o a scheletro.

Il *reticolo a nastro* considera la dimensione del componente, in quanto definisce la posizione degli elementi costruttivi nella loro dimensione effettiva. La posizione è definita da almeno due linee e, poiché non vi sono intersezioni tra i componenti, non è necessaria l'adozione di elementi speciali. Questa tipologia di reticolo è adatta per sistemi i cui componenti sono giuntati in



battuta e si distribuiscono regolarmente secondo un ordine modulare.<sup>44</sup>

Il *reticolo strutturale* definisce il rapporto e la posizione della struttura portante.

Il *reticolo delle finiture* determina la posizione di tutti gli elementi di chiusura.

Il *reticolo impiantistico* viene utilizzato nei progetti che presentano un elevato grado di complessità di installazioni tecniche, permettendo un'accurata definizione dei vani destinati alla collocazione degli impianti, posti nei solai o nelle pareti.

#### 2.2.4. La coordinazione modulare

Nella coordinazione modulare si stabiliscono, oltre al posizionamento corretto degli elementi, anche le loro possibilità combinatorie. È così possibile iniziare la progettazione, la produzione e il montaggio degli elementi.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Ivi, pag. 44.

<sup>45</sup> *Ibidem*.

#### 2.2.4.1. L'equilibrio tra struttura portante e finiture

Di norma i sistemi costruttivi vengono distinti in sistemi principali per il rustico e sottosistemi per le finiture e l'involucro esterno. Gli elementi di questo ultimo gruppo possono essere sostituiti in qualsiasi momento. Durante la progettazione è necessario che la stratificazione tra struttura portante, finiture e involucro sia organizzata in modo tale da garantire una logica distribuzione dei volumi. È possibile progettare gli elementi strutturali in armonia con gli interni o con l'involucro, permettendo, ad esempio, di incorporare nelle chiusure verticali una grande colonna libera.<sup>46</sup>

#### 2.2.4.2. Il trasporto

Nell'edilizia a elementi prefabbricati la fase di trasporto è di fondamentale importanza, per questo motivo l'edificio deve poter essere scomposto in componenti trasportabili facilmente dalla fabbrica al cantiere. Ciò inevitabilmente implica un limite dimensionale determinante.

Per un trasporto su autoarticolati, ad esempio, le misure sono pari a circa 2,5 x 3,2 x 12 m, anche se è possibile ricorrere all'uso dei trasporti eccezionali.

Durante il trasporto è necessario assicurare tutti i componenti in modo adeguato onde evitare eventuali danneggiamenti. A tal proposito spesso vengono usati i container come involucri protettivi.

---

<sup>46</sup> *Ibidem.*

Su grandi distanze risultano più convenienti i trasporti ferroviari e via mare, nonostante parte del viaggio in autotreno sia inevitabile. Il trasporto via elicottero è utilizzato solo per raggiungere luoghi altrimenti inaccessibili, visti i costi assai elevati. Valutando tutte le componenti, il trasporto stradale è utilizzato solo per spostamenti inferiori ai 1000 km. Il carico dei veicoli deve essere adeguatamente ponderato in modo tale da scaricare in cantiere gli elementi già secondo l'ordine di montaggio prestabilito.<sup>47</sup>

#### 2.2.4.3. Il montaggio

Per realizzare un edificio con elementi prefabbricati è necessario compiere almeno alcune operazioni di montaggio in cantiere, come ad esempio il sollevamento, il posizionamento, l'aggiustamento, il collegamento, e l'applicazione dei sistemi di tenuta. L'organizzazione tradizionale del lavoro viene meno, e la produzione e la lavorazione degli elementi costruttivi non sono più svolte in cantiere. È necessario, dunque, sviluppare tecniche sempre più innovative che consentano un assemblaggio rapido e semplice. La coordinazione tra le varie fasi diventa fondamentale e per abbreviare le tempistiche è possibile eseguire contemporaneamente la fase di prefabbricazione degli elementi con quella di montaggio.

Gli edifici prefabbricati si compongono in maniera orizzontale piano per piano, quindi la posizione precisa degli elementi deve essere stabilita in fase di progetto. Posizione, formato e peso di

---

<sup>47</sup> Ivi, pag. 47.

ogni componente hanno un ruolo fondamentale e determinante per il tipo di macchinario di sollevamento da usare. Per posizionare gli elementi di grandi dimensioni vengono usati telai, traverse o sistemi di tiranti che servono da fissaggio per la macchina da sollevamento. Ad esempio, i componenti prefabbricati in calcestruzzo armato sono provvisti di anelli o boccole di sollevamento, che vengono inseriti nella cassaforma già in fase di produzione. Per rendere più agevole il posizionamento ed evitare aggiustamenti in cantiere a posteriori, i componenti sono dotati di superfici di riferimento e di accoppiamento. I calibri e i dispositivi di arresto sono strumenti supplementari di grande utilità. Nella fase di montaggio, i pilastri isolati e le pareti vengono preservati dal rischio di ribaltamento attraverso sostegni inclinati o regolabili.<sup>48</sup>

L'accostamento degli elementi costruttivi genera i giunti, che caratterizzano in modo determinante la facciata. Questi appartengono a un reticolo che è generato dalle dimensioni degli elementi costruttivi derivate dalle possibilità progettuali, produttive e dai vincoli di trasporto.

Onde evitare errori in fase di montaggio, i giunti devono essere eseguiti con estrema precisione, in quanto servono a compensare le tolleranze tra gli elementi costruttivi e per questo motivo devono soddisfare i requisiti necessari di protezione dall'umidità, dal calore e dal rumore. I giunti possono essere meramente costruttivi o presentare una protezione dall'umidità.

Più il grado di prefabbricazione è elevato, più il numero dei giunti diminuisce.

---

<sup>48</sup> *Ibidem.*

Con questa logica è necessario tener conto, già in fase di progettazione, delle differenze dimensionali che ci possono essere tra un elemento grezzo e uno finito. Anche nella fase di produzione possono presentarsi discrepanze rispetto alle misure da progetto, ulteriore motivazione che palesa l'importanza dei giunti e della previsione di tolleranze. Le norme DIN, per esempio, stabiliscono quali sono le tolleranze consentite e che devono essere rispettate in fase di progettazione dei dettagli costruttivi. Sono di fondamentale importanza soprattutto per i sistemi costruttivi che usano elementi prefabbricati, poiché presentano più giunti rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali.<sup>49</sup>

### 2.3. Progettare con prefabbricati già esistenti: il riuso dei container

Negli ultimi decenni anche l'edilizia vuole porsi in un'ottica sempre più green prestando molta attenzione alle modalità di costruzione, ai materiali usati e ai loro cicli di vita. Elementi che non svolgono più la funzione per la quale sono stati creati vengono sfruttati in contesti talvolta completamente diversi.

Un esempio lampante è quello dell'utilizzo dei container merci navali in disuso nella costruzione di edifici.

---

<sup>49</sup> *Ibidem.*

Solitamente la composizione viene realizzata impilando e affiancando tali elementi secondo una logica.

Tale strategia costruttiva può risultare essere molto semplice e rapida in quanto ogni container presenta già sia una struttura portante indipendente capace di sopportare enormi pesi anche in condizioni di movimento, che i tamponamenti delle sei facce del parallelepipedo. Il progetto si trasforma così in un gioco di accostamento armonioso e logico di blocchi prefabbricati che consente uno sviluppo degli ambienti interni consono alla destinazione d'uso. Le aperture, le coibentazioni, gli impianti e le finiture andranno ad ultimare l'opera.

I tempi e i costi di costruzione possono così essere notevolmente abbattuti. Un altro vantaggio derivante dal recupero di queste strutture deriva dal fatto che esse, diversamente, resterebbero in condizioni di abbandono ed esposizione al degrado per lunghi periodi.

In America questa strategia di progettuale si sta facendo largo. Ho potuto constatarlo nel corso di una mia esperienza lavorativa a Washington, dove ho lavorato più su progetti realizzati con container merci navali che su quelli tradizionali.

In Italia, purtroppo, questo approccio costruttivo non sembra ancora suscitare particolare interesse. Questo può essere dovuto da un lato alla rigida regolamentazione normativa, e dall'altro l'incidenza decisiva dei fattori psicologici. L'abitazione prefabbricata rimanda, nella mentalità comune, a condizioni precarie di emergenza legate spesso a catastrofi. E questo influenza il giudizio diffuso in modo spesso anche slegato dalle prestazioni e caratteristiche reali dei manufatti costruiti,

schiacciandolo sull'aspettativa di un edificio rigido e poco consono ai fini abitativi.

Questo tipo di progettazione modulare presenta un vincolo compositivo. La struttura di travi e pilastri del container risulta rientrante rispetto al reticolo creato dai blocchi situati in ognuno dei suoi otto vertici; per questo motivo è necessario che i vari parallelepipedi siano impilati e accostati seguendo la maglia originata dagli elementi angolari. Per questo motivo la composizione può effettivamente risultare molto rigida e, viste le dimensioni ridotte del modulo base, poco consona allo svolgimento delle attività quotidiane dell'uomo, qualora non siano adottate le opportune contromisure.

Tali contromisure possono consistere in accorgimenti costruttivi idonei a rendere flessibile i moduli utilizzati. Per ragionare su come sia possibile raggiungere questo obiettivo, risulta necessario analizzare nei dettagli l'unità base - il container - per capirne il funzionamento e sfruttarne al meglio le potenzialità.

### 3. LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ DEI CONTAINER

#### 3.1. I container: norme ISO e caratteristiche tecniche

L'International Standards Organisation (ISO) definisce il container merci come:

*Un elemento di un sistema di trasporto:*

- a. Con caratteristiche permanenti e, in conformità, sufficientemente robuste da renderlo adatto ad un impiego ripetuto;*
- b. Appositamente progettato per facilitare il trasporto di beni a mezzo di uno o più sistemi di trasporto, senza necessità di ricarichi intermedi;*
- c. Integrabile con dispositivi che ne consentano una facile movimentazione, in particolare da un sistema di trasporto ad un altro;*
- d. Progettato in modo da essere facile da riempire e da vuotare;*
- e. Provvisto di un volume interno di 1 m<sup>3</sup> o più.<sup>50</sup>*

---

<sup>50</sup> J. Agnew e J. Huntley, *Manuale dei container*, a cura di Martino de Martini, Franco Angeli, Milano, 1978, pag. 19. (ed. originale *Container Stowage: A Practical Approach*, Container Publications, Limited, Over, Kent, England)



LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

Prosegue poi suggerendo le dimensioni esterne e i pesi lordi raggruppandoli nella seguente tabella:

Freight container designation	Length, <i>L</i>				Width, <i>W</i>				Height, <i>H</i>				Rating, <i>R</i> <sup>a</sup> (gross mass)	
		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.	kg	lb
	mm		ft and in	in	mm		ft	in	mm		ft and in	in		
1EEE	1 3716	0 -10	45'	0 -3/8	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 <sup>b</sup>	0 -5	96'	0 -3/16	30 480 <sup>a</sup>	67 200 <sup>a</sup>
1EE									2 591 <sup>b</sup>	0 -5	86'	0 -3/16	30 480	
1AAA	12 192	0 -10	40'	0 -3/8	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 <sup>b</sup>	0 -5	9' 6" <sup>b</sup>	0 -3/16	30 480 <sup>a</sup>	67 200 <sup>a</sup>
1AA									2 591 <sup>b</sup>	0 -5	8' 6" <sup>b</sup>	0 -3/16		
1A									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1AX									<2 438		<8'			
1BBB	9 125	0 -10	29' 11 3/4"		2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 896 <sup>b</sup>	0 -5	9' 6" <sup>b</sup>	0 -3/16	30 480 <sup>a</sup>	67 200 <sup>a</sup>
1BB									2 591 <sup>b</sup>	0 -5	8' 6" <sup>b</sup>	0 -3/16		
1B									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1BX									<2 438		<8'			
1CC	6 058	0 -6	19' 10 1/2"	0 -1/4	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 591 <sup>b</sup>	0 -5	8' 6" <sup>b</sup>	0 -3/16	30 480 <sup>a</sup>	67 200 <sup>a</sup>
1C									2 438	0 -5	8'	0 -3/16		
1CX									<2 438		<8'			
1D	2 991	0 -6	9' 9 3/4"	0 -3/16	2 438	0 -5	8	0 -3/16	2 438	0 -5	8'	0 -3/16	10 160	22 400
1DX									<2 438		<8'			

<sup>a</sup> See 5.2.2.

<sup>b</sup> In certain countries there are legal limitations to the overall height of vehicle and load (for example for rail/road service).

TABELLA 1\_ ISO 668:2013(E)

Vi è un'ulteriore divisione per tipologie di container:

Parte I *Container per carichi generici*. Container chiusi con porte a un'estremità; container chiusi con porte a un'estremità e nei fianchi; container con tetto aperto; container con fianchi aperti; container con tetto, fianchi ed estremità aperte; container di mezza altezza; container ventilati (non isolati).

Parte II *Container termici*. Container isolati, refrigerati, riscaldati.

Parte III *Container cisterna*. Container per liquidi sfusi e per gas compressi.

Parte IV *Container per materiali sfusi*. Container per scarico a gravità e sotto pressione.

Parte V *Container a piattaforma*. Ripiani senza alcuna sovrastruttura e non possono far parte di un sistema di container completamente automatico, per la loro impossibilità di venire sollevati dall'alto quando sono carichi.

Parte VI *Container smontabili*.

Parte VII *Container per trasporti aerei*.<sup>51</sup>

Per raggiungere lo scopo prefissato, l'analisi dettagliata sarà svolta esclusivamente sulla tipologia di container ritenuta più consona ai fini abitativi: *1CCC*, ovvero *20' High Cube*.

---

<sup>51</sup> Ivi, pag. 24.

### 3.2. 1CCC, 20' High Cube: caratteristiche tecniche

Questo tipo di container si presenta completamente chiuso, ma provvisto di porte a tutta larghezza posizionate solitamente lungo uno dei suoi lati corti.

Viene normalmente usato per il trasporto di merce secca, infatti può essere chiamato anche container per carichi secchi, per merce secca, o container generico.

Il costo della sua fabbricazione risulta essere relativamente basso, aggirandosi attorno ai 3100€<sup>52</sup>, ed essendo la tipologia più diffusa è facilmente e rapidamente reperibile.

Non presenta particolari necessità di manutenzione ed ha una buona tenuta all'acqua.

Le dimensioni standard in pollici sono 20' x 8' x 9'6, la cui corrispondenza in mm è esternamente 6058 x 2438 x 2891 e internamente 5995 x 2340 x 2680. Alla porta misura 2540 mm.

Il peso è pari a 2.550 kg e sopporta un carico complessivo totale di 30.480 kg.

La porta a doppio battente su un lato corto consente di accedere a tutta la larghezza del vano interno in quanto le cerniere sono poste sull'angolo del montante. La chiusura, sicura e robusta avviene grazie ad aste zincate.

La struttura è realizzata con profilati d'acciaio di spessore 4,5 mm con saldature a filo continuo. Longheroni, traverse e montanti terminano e vengono saldati ai blocchi d'angolo ISO che sono disposti sugli 8 vertici. Questi ultimi sono funzionali alla movimentazione del container.

---

<sup>52</sup> Cfr. prezzo Waldem Container Shelter srl, marzo 2018.

Il pavimento, di spessore 31 mm, è realizzato in legno multistrato marino trattato con resine fenoliche.

Il tetto è realizzato in lamiera grecata Corten steel di 1,8 mm di spessore.

Le pareti laterali sono realizzate in lamiera grecata d'acciaio Corten di spessore 1,8 mm.

I montanti angolari sagomati di spessore 6 mm sono stati dimensionati per reggere il peso di altri 9 container pieni impilati durante i trasporti sulle apposite navi.

Al basamento vi sono delle tasche per le forche da carrello elevatore lift, in modo da agevolare il trasporto.

### 3.3. Tagliare un container per riconnetterlo a un altro

La rigidità dei container risulta decisiva nella gestione di un progetto basato su queste unità. Essendo la loro struttura portante precostituita, è di fondamentale importanza sfruttarla al meglio. Per questo motivo normalmente i blocchi vengono accostati l'un l'altro e impilati, senza andare ad intaccare la parte strutturale. Ciò comporta una non sempre facile gestione degli spazi interni ottenuti. Il problema si potrebbe ovviare modificando la rigidità del modulo impiegato e regolando, il più possibile a piacimento, le misure.

Le tecniche adottabili sono due:

- A. Tagliare la struttura di un container per riconnetterlo ad un altro;
- B. Tagliare la lamiera grecata per creare un' "estrusione" volumetrica ricostruendo la struttura mancante.

Il trasporto, se non ben considerato in fase di progettazione, può risultare un problema. È necessario che gli elementi, in questa delicata fase, non subiscano danni e non superino le dimensioni consentite dalle normative stabilite dal codice della strada: 2,55 m in larghezza e 4 m in altezza<sup>53</sup>.

È inoltre fondamentale garantire la rigidità necessaria a ogni blocco onde evitare distorsioni e alterazioni di ogni genere. Le parti mancanti, eliminate dal taglio, vanno ricostruite per ripristinare la solidità venuta meno.

Perseguendo questa regola, risulta automatica la gestione della dimensione dei trasporti in quanto i blocchi generati sono tutti sottomoduli di quello di partenza.

I singoli moduli vanno preparati, come da progetto, in officina, per poi imbullonarli tra di loro una volta in cantiere. In questo modo, potendo svolgere la maggior parte del lavoro al chiuso, in un ambiente tecnico specializzato, la precisione sarà massima, facilitando in seguito l'assemblaggio in cantiere. In fabbrica verranno completati i container da trasportare saldando i pezzi necessari, mentre in cantiere l'assemblaggio dei blocchi trasportati sarà fatto tramite bullonatura, non necessitando di particolari accorgimenti ambientali e strumentali.

---

<sup>53</sup> Codice della strada, titolo III dei veicoli, art. 61.

## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

I bulloni maggiormente sottoposti a sforzo saranno quelli posizionati sugli elementi verticali, ma ne verranno aggiunti altri di sicurezza come connessione delle travi, aggiungendo degli angolari per la trave inferiore.



FIGURA 1\_ Connessione tramite bulloni

### 3.3.1. Modello A: connessione tra container tagliato e intero

Secondo questa metodologia, un container deve essere tagliato trasversalmente in tutte le sue parti ad una distanza definita in fase di progetto.

Per ridare solidità al container è necessario ricostituire il reticolo di chiusura di travi e pilastri mancante. Al container intero a cui agganciarsi, invece, bisogna tagliare la lamiera grecata inserendo gli elementi di supporto che facilitino la bullonatura finale.

Il container tagliato, per essere ricostituito, necessita di:

- pilastri cavi profilati a caldo a sezione quadrata di dimensioni 50 x 50 mm di spessore 4 mm;
- profili angolari a lati uguali 50 x 50 di spessore 4 mm;
- trave identica a quelle già esistenti cave profilate a caldo a sezione quadrata 60 x 60 mm di spessore 4 mm;
- trave UPN 140;
- profilo piatto 60 x 6 mm;
- profili piatti 50 x 120 di spessore 6 mm;
- angolari 150 x 150 x 140 mm spessore 6 mm;
- angolari 280 x 280 x 140 mm spessore 6 mm;

Il container intero, invece, richiede:

- profili angolari a lati uguali 50 x 50 mm di spessore 6 mm;
- profili angolari a lati uguali 40 x 40 mm di spessore 4 mm.

L'unione, che esige di bulloni M12 di classe 8.8, può essere di due tipi, meglio dettagliate nella tavola 1:

- A1 Connessione del container tagliato in un punto qualsiasi del lato lungo di quello intero;
- A2 Connessione del container tagliato con un pilastro esistente del container intero.

### 3.3.2. Modello B: taglio della lamiera grecata, estrusione e ricostruzione della parte strutturale

In questa tipologia, meglio dettagliata nella tavola 2, la lamiera grecata del container da modificare viene tagliata con una torcia al plasma in base alle dimensioni di progetto. A partire da questa si andrà a costruire in toto il nuovo blocco.

Il container intero, come nel caso precedente, ha bisogno di:

- profili angolari a lati uguali 50 x 50 mm di spessore 6 mm;
- profili angolari a lati uguali 40 x 40 mm di spessore 4 mm.

Il blocco da ricostruire necessita di:

- travi a U identiche a quelle alla base del container;
- pilastri cavi profilati a caldo a sezione quadrata di dimensioni 50 x 50 mm di spessore 4 mm;
- trave identica a quelle già esistenti cave profilate a caldo a sezione quadrata 60 x 60 mm di spessore 4 mm;
- trave UPN 140;
- profilo piatto 6 x 60 mm;
- profili angolari a lati uguali 50 x 50 di spessore 4 mm;



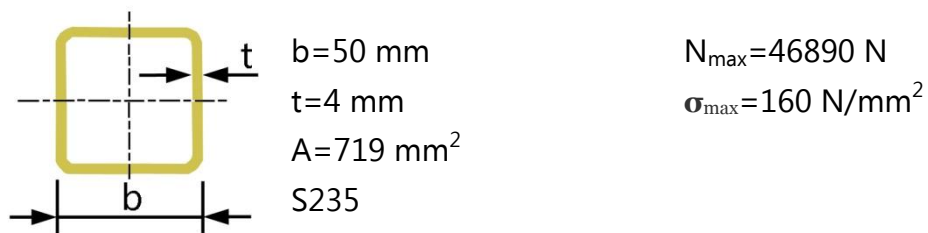
- angolari 150 x 150 x 140 mm spessore 6 mm;
- angolari 280 x 280 x 140 mm spessore 6 mm;
- infissi da dimensionare in base alle necessità;
- solaio identico a quello del container;
- copertura identica a quella del container.

L'assemblaggio richiede bulloni M12 di classe 8.8.

### 3.3.3. Verifiche Strutturali

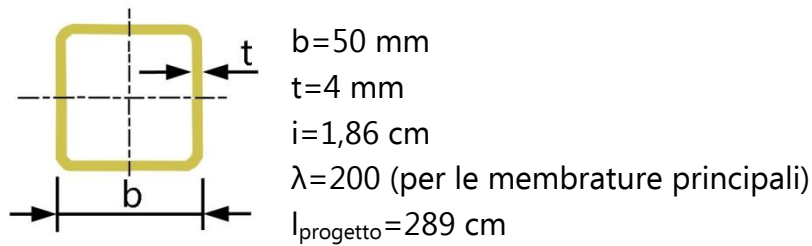
In base a queste proposte progettuali sono state effettuate le dovute verifiche strutturali.

### DIMENSIONAMENTO DEI PILASTRI



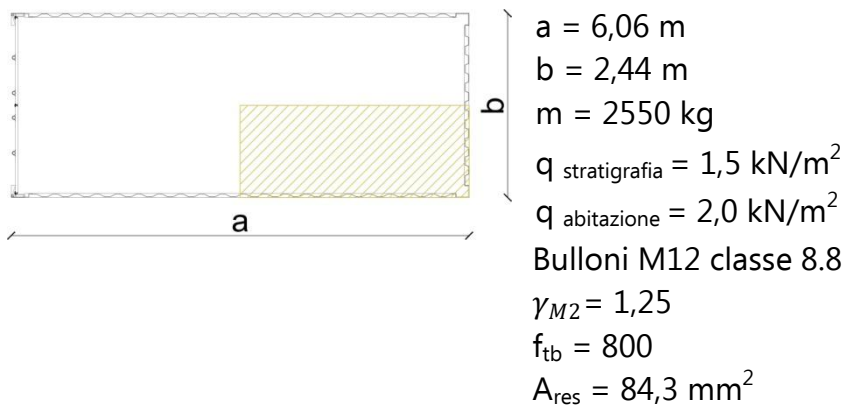
$$\sigma = \frac{46890}{719} \text{ N/mm}^2 = 65,22 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

LIMITAZIONI SNELLEZZA



$$l_o = \lambda * i = 200 * 1,86 \text{ cm} = 372 \text{ cm} > 289 \text{ cm} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

CALCOLO DEL NUMERO DEI BULLONI



$$A = a * b = 6,06 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 14,79 \text{ m}^2$$

$$A_{/4} = A / 4 = 14,79 \text{ m}^2 / 4 = 3,70 \text{ m}^2$$

$$F = m / A = 2550 \text{ kg} / 14,79 \text{ m}^2 = 172,41 \text{ kg/m}^2 = 1,72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{tot}} = (1,3 * F) + (1,5 * (q_{\text{stratigrafia}} + q_{\text{abitazione}})) =$$

$$\begin{aligned}
 &= (1,3 * 1,72) \text{ kN/ m}^2 + (1,5 * (1,5 + 2,0)) \text{ kN/ m}^2 = \\
 &= 2,24 \text{ kN/ m}^2 + 5,25 \text{ kN/ m}^2 = 7,49 \text{ kN/ m}^2 \\
 V_{rd} &= \frac{0,6 * A_{res} * f_{tb}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 84,3 * 800}{1,25} \text{ kN} = 32,37 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- CONTAINER TAGLIATO con a = 4,20 m
 
$$\begin{aligned}
 A &= a * b = 4,20 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 10,25 \text{ m}^2 \\
 A_{/4} &= A / 4 = 10,25 \text{ m}^2 / 4 = 2,56 \text{ m}^2 \\
 V_{ed} &= q_{tot} * A_{tot} = 7,49 * (2,56 + 3,70) \text{ kN} = 7,49 * 6,26 \text{ kN} = \\
 &= 46,89 \text{ kN} \\
 n^{\circ}_{bulloni} &= V_{ed} / V_{rd} = 46,89 \text{ kN} / 32,37 \text{ kN} = 1,45 \quad \rightarrow 2 \text{ BULLONI}
 \end{aligned}$$

- CONTAINER TAGLIATO con a = 3,60 m
 
$$\begin{aligned}
 A &= a * b = 3,60 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 8,78 \text{ m}^2 \\
 A_{/4} &= A / 4 = 8,78 \text{ m}^2 / 4 = 2,20 \text{ m}^2 \\
 V_{ed} &= q_{tot} * A_{tot} = 7,49 * (2,20 + 3,70) \text{ kN} = 7,49 * 5,90 \text{ kN} = \\
 &= 44,19 \text{ kN} \\
 n^{\circ}_{bulloni} &= V_{ed} / V_{rd} = 44,19 \text{ kN} / 32,37 \text{ kN} = 1,37 \quad \rightarrow 2 \text{ BULLONI}
 \end{aligned}$$

- CONTAINER TAGLIATO A 2,46 m
 
$$\begin{aligned}
 A &= a * b = 2,46 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 6,00 \text{ m}^2 \\
 A_{/4} &= A / 4 = 6,00 \text{ m}^2 / 4 = 1,50 \text{ m}^2 \\
 V_{ed} &= q_{tot} * A_{tot} = 7,49 * (1,50 + 3,70) \text{ kN} = 7,49 * 5,20 \text{ kN} = \\
 &= 38,95 \text{ kN} \\
 n^{\circ}_{bulloni} &= V_{ed} / V_{rd} = 38,95 \text{ kN} / 32,37 \text{ kN} = 1,20 \quad \rightarrow 2 \text{ BULLONI}
 \end{aligned}$$

## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

- CONTAINER TAGLIATO A 1,86 m

$$A = a * b = 1,86 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 4,54 \text{ m}^2$$

$$A_{/4} = A / 4 = 4,54 \text{ m}^2 / 4 = 1,14 \text{ m}^2$$

$$V_{ed} = q_{tot} * A_{tot} = 7,49 * (1,14 + 3,70) \text{ kN} = 7,49 * 4,84 \text{ kN} = \\ = 36,25 \text{ kN}$$

$$n^{\circ}_{bulloni} = V_{ed} / V_{rd} = 36,25 \text{ kN} / 32,37 \text{ kN} = 1,12 \rightarrow 2 \text{ BULLONI}$$

## RESISTENZA AL RIFOLLAMENTO DELLA PIASTRA

$$F_{b,rd} = \frac{k * \alpha * f_{tk} * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 12 * 6}{1,25 * 10^3} \text{ kN} = 51,84 \text{ kN}$$

$$F_{b,rd} > V_{rd} \rightarrow 51,84 \text{ kN} > 32,37 \text{ kN} \rightarrow \text{IL RIFOLLAMENTO NON DOMINA}$$

## RESISTENZA AL RIFOLLAMENTO DEL PILASTRO

$$F_{b,rd} = \frac{k * \alpha * f_{tk} * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 12 * 4}{1,25 * 10^3} \text{ kN} = 34,56 \text{ kN}$$

$$F_{b,rd} > V_{rd} \rightarrow 34,56 \text{ kN} > 32,37 \text{ kN} \rightarrow \text{IL RIFOLLAMENTO NON DOMINA}$$

## 4. LE ABITAZIONI CON I CONTAINER: ESEMPI PROGETTUALI

### 4.1. Progettare nuclei abitativi per due persone

Nelle tavole 3 e 4 sono state elaborate quattro ipotesi progettuali di unità abitative minime per due persone nelle quali si evidenzia una marcata necessità dell'uso di questo nuovo metodo compositivo e costruttivo per migliorare il comfort degli spazi interni e gestirlo al meglio secondo le singole necessità.

### 4.2. Progettare un edificio plurifamiliare

I criteri progettuali sono messi più profondamente alla prova nel momento in cui l'obiettivo finale è la realizzazione di un complesso abitativo.

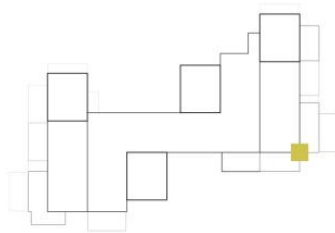
Nella gestione compositiva di un edificio realizzato con i container risulta di fondamentale importanza identificare un reticolo modulare che tenga contemporaneamente conto di una stabilità strutturale e di un'armoniosa gestione di spazi e volumi.

Essendo lo scheletro finale nel complesso costituito da più blocchi autonomi, è necessario verificare in maniera molto accurata che non vi siano discrepanze di posizionamento tra gli elementi compatibili, ovvero i piedini posti ai vertici del container.

Nel caso di piccoli disassamenti è necessario ricostruire le connessioni affinché si riesca ad avere una buona stabilità strutturale.

Le tavole 5 e 6 illustrano la proposta progettuale gestita secondo quest'ottica. L'edificio ospita cinque appartamenti e la sua collocazione è stata pensata in Milano.

#### 4.2.1. Analisi strutturale di un nodo del progetto

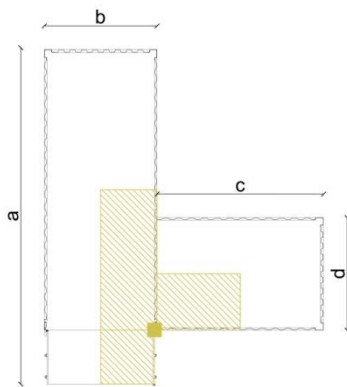


L'analisi di verifica strutturale è stata fatta sul pilastro posto al piano terra come evidenziato in figura.

A partire dall'analisi dei carichi verticali propri dell'edificio e della neve, si considerano due casi differenti: uno riguardante l'effetto del vento e una riguardante l'effetto sismico.

ANALISI DEI CARICHI VERTICALI DELL'EDIFICIO

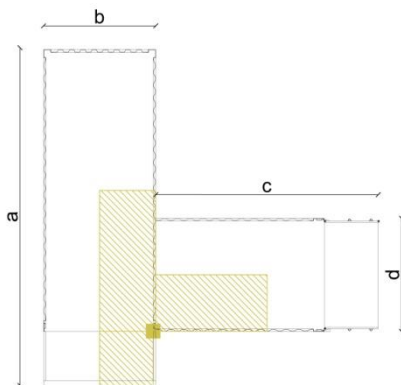
▪ Piano terra



a = 7,20 m  
b = 2,44 m  
c = 3,60 m  
d = 2,44 m

$$A = a * b + c * d = (7,20 * 2,44 + 3,60 * 2,44) \text{ m} =$$
$$= (17,57 + 8,78) \text{ m}^2 = 26,35 \text{ m}^2$$
$$A_{/4} = A / 4 = 26,35 \text{ m}^2 / 4 = 6,59 \text{ m}^2$$
$$V_{ed, PT} = q_{tot} * A_{/4} = 7,49 * 6,59 \text{ kN} = 49,36 \text{ kN}$$

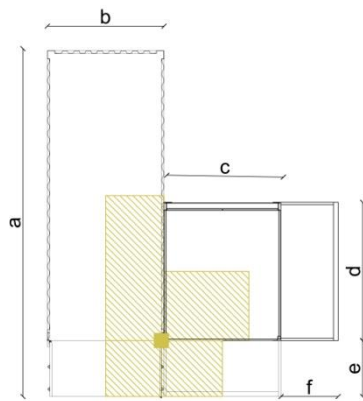
▪ Piano primo



a = 7,20 m  
b = 2,44 m  
c = 4,80 m  
d = 2,44 m

$$\begin{aligned}
 A &= a * b + c * d = (7,20 * 2,44 + 4,80 * 2,44) \text{ m} = \\
 &= (17,57 + 11,72) \text{ m}^2 = 29,29 \text{ m}^2 \\
 A_{/4} &= A / 4 = 29,29 \text{ m} / 4 = 7,32 \text{ m}^2 \\
 V_{ed, P1} &= q_{tot} * A_{/4} = 7,49 * 7,32 \text{ kN} = 54,83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

▪ Piano secondo



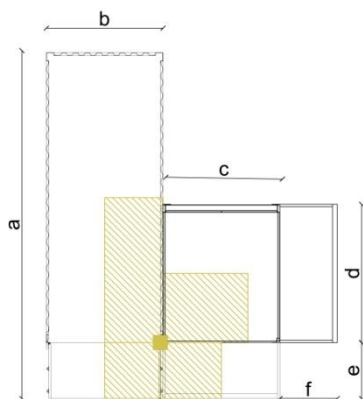
$$\begin{aligned}
 a &= 7,20 \text{ m} \\
 b &= c = 2,44 \text{ m} \\
 d &= 2,89 \text{ m} \\
 e &= f = 1,20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= a * b + d * f + c * e = \\
 &= (7,20 * 2,44 + 2,89 * 1,20 + 2,44 * 1,20) \text{ m} = \\
 &= (17,57 + 3,47 + 2,93) \text{ m}^2 = 23,97 \text{ m}^2 \\
 A_2 &= c * d = 2,44 * 2,89 \text{ m} = 7,05 \text{ m}^2 \\
 F_v &= m / A_2 = 2550 \text{ kg} / 7,05 \text{ m}^2 = 361,70 \text{ kg/m}^2 = 3,62 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{v, tot} &= (1,3 * F_v) + (1,5 * (q_{stratigrafia} + q_{abitazione})) = \\
 &= (1,3 * 3,62) \text{ kN/ m}^2 + (1,5 * (1,5 + 2,0)) \text{ kN/ m}^2 = \\
 &= 4,71 \text{ kN/ m}^2 + 5,25 \text{ kN/ m}^2 = 9,42 \text{ kN/ m}^2 \\
 V_{ed, P2} &= (q_{tot} * A + q_{v, tot} * A_2) / 4 = \\
 &= (7,49 * 23,97 + 9,42 * 7,05) \text{ kN} / 4 =
 \end{aligned}$$



$$= (179,54 + 66,41) \text{ kN} / 4 = 245,95 \text{ kN} / 4 = 61,49 \text{ kN}$$

▪ Copertura tetto giardino



$$\begin{aligned} a &= 7,20 \text{ m} \\ b &= c = 2,44 \text{ m} \\ d &= 2,89 \text{ m} \\ e &= f = 1,20 \text{ m} \\ q_{\text{neve}} &= 150 \text{ kg/m}^2 \\ q_{\text{tetto giardino}} &= 300 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= a * b + d * f + c * e = \\ &= (7,20 * 2,44 + 2,89 * 1,20 + 2,44 * 1,20) \text{ m} = \\ &= (17,57 + 3,47 + 2,93) \text{ m}^2 = 23,97 \text{ m}^2 \\ A_2 &= c * d = 2,44 * 2,89 \text{ m} = 7,05 \text{ m}^2 \\ F &= m/A_{\text{container}} = 2550 \text{ kg} / 14,79 \text{ m}^2 = 172,41 \text{ kg/m}^2 = 1,72 \text{ kN/m}^2 \\ q_{\text{tot}} &= (1,3 * F) + (1,5 * (q_{\text{neve}} + q_{\text{tetto giardino}})) = \\ &= (1,3 * 1,72) \text{ kN/ m}^2 + (1,5 * (1,5 + 3,0)) \text{ kN/ m}^2 = \\ &= 2,24 \text{ kN/ m}^2 + 6,75 \text{ kN/ m}^2 = 8,99 \text{ kN/ m}^2 \\ F_v &= m / A_2 = 2550 \text{ kg} / 7,05 \text{ m}^2 = 361,70 \text{ kg/m}^2 = 3,62 \text{ kN/m}^2 \\ q_{v, \text{tot}} &= (1,3 * F_v) + (1,5 * (q_{\text{neve}} + q_{\text{tetto giardino}})) = \\ &= (1,3 * 3,62) \text{ kN/ m}^2 + (1,5 * (1,5 + 3,0)) \text{ kN/ m}^2 = \\ &= 4,71 \text{ kN/ m}^2 + 6,75 \text{ kN/ m}^2 = 11,46 \text{ kN/ m}^2 \\ V_{\text{ed, tetto}} &= (q_{\text{tot}} * A + q_{v, \text{tot}} * A_2) / 4 = \\ &= (8,99 * 23,97 + 11,46 * 7,05) \text{ kN} / 4 = \end{aligned}$$

$$= (215,49 + 80,79) \text{ kN} / 4 = 296,28 \text{ kN} / 4 = 74,07 \text{ kN}$$

- Analisi totale dei carichi verticali dell'edificio

$$\begin{aligned} V_{\text{ed, P. tot}} &= V_{\text{ed, PT}} + V_{\text{ed, P1}} + V_{\text{ed, P2}} + V_{\text{ed, tetto}} = \\ &= (49,36 + 54,83 + 61,49 + 74,07) \text{ kN} = 239,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Taglio resistente

$$V_{\text{ed, res}} = \frac{A_{\text{pilastro}} * S_{yk}}{\sqrt{3} * 1,05} = \frac{156 * 5 * 235}{\sqrt{3} * 1,05 * 10^3} = 100,79 \text{ kN}$$

## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

### CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

Il calcolo dell'azione del vento è stato eseguito basandosi sul D.M. 14 gennaio 2008 che ha approvato le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Di seguito sono riportate le analisi effettuate.

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	25	1000	0,01
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			120
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			25,000
$\alpha_R$ ( $T_R$ )			1,00073
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			25,018

$p$ (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$	
$q_b$ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])	
$C_e$ (coefficiente di esposizione)	
$C_p$ (coefficiente di forma)	
$C_d$ (coefficiente dinamico)	



#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	391,20
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

#### Coefficiente di esposizione

#### Classe di rugosità del terreno

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,.....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

# LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

## Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5					
	2 km	10 km	30 km	500m	750m
	costa		mare		
A	--	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV
C	--	*	III	III	IV
D	I	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5					
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1					

ZONA 6					
	2 km	10 km	30 km	500m	
	costa		mare		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	1,5 km	0,5 km	
	mare		costa
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	costa	
	mare	
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

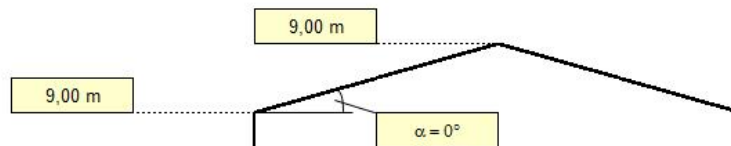
Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
1	C	120

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]	$c_t$
III	0,2	0,1	5	1

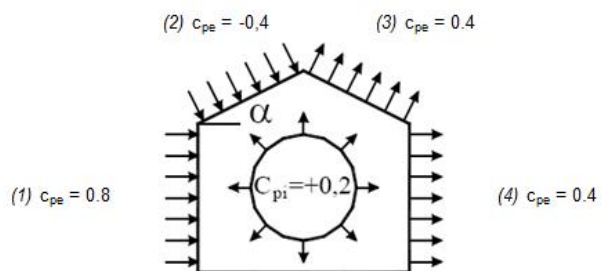
z [m]	$c_e$
$z \leq 5$	1,708
$z = 9$	2,070
$z = 9$	2,070



Coefficiente di forma (Edificio aventi una parete con aperture di superficie < 33% di quella totale)

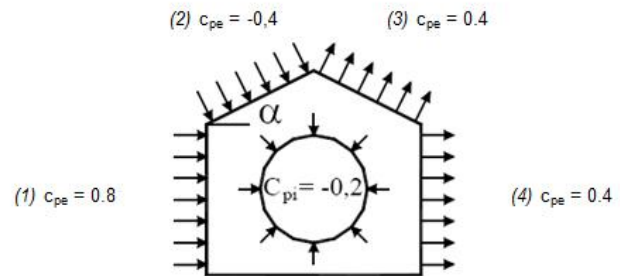
Strutture stagne

(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	0,648
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	-0,40	-0,324
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,324
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,324



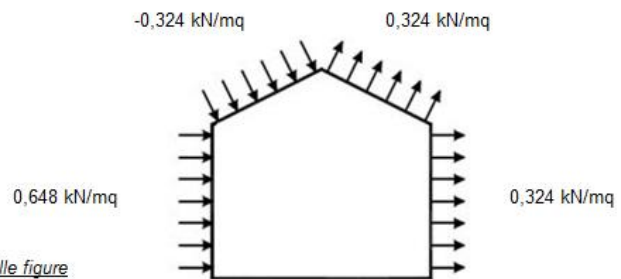
## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	0,648
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	-0,40	-0,324
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,324
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,324



Combinazione più sfavorevole:

	$p$ [kN/mq]
(1)	0,648
(2)	-0,324
(3)	0,324
(4)	0,324



**N.B.** Se  $p$  (o  $c_{pe}$ ) è  $> 0$  il verso è concorde con le frecce delle figure

$$q_{\text{vento}} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$A = b * h * n_{\text{piani}} = ((1,80 + 1,22) * 2,89 * 3) \text{ m}^2 = 3,02 * 2,89 * 3 \text{ m}^2 = 26,18 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{vento}} = q_{\text{vento}} * A = 1 \text{ kN/m}^2 * 26,18 \text{ m}^2 = 26,18 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ed, vento}} = V_{\text{vento}} * 1,5 = 26,18 \text{ kN} * 1,5 = 39,27 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ed, vento}} < V_{\text{ed, res}} \rightarrow 39,27 \text{ kN} < 100,79 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Il calcolo dell'azione sismica è stato eseguito basandosi sul D.M. 14 gennaio 2008 che ha approvato le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Di seguito sono riportate le analisi effettuate con gli spettri di risposta.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate      LONGITUDINE: 9,1815      LATTITUDINE: 45,4773

Ricerca per comune      REGIONE: Lombardia      PROVINCIA: Milano      COMUNE: Milano

Elaborazioni grafiche  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione  
 superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO      **FASE 1**      FASE 2      FASE 3

## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$   info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametrizzazione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_g = 1,500$   $C_o = 1,599$  info

$h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info

( $h$ =quota sito,  $H$ =altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)  $\xi = 5$   $\eta = 1,000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)  $q_o = 1$   $\eta = 1,000$  info

Compon. verticale

Spettro di progetto  $q_v = 1$   $\eta = 1,000$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per SLV

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,050 g
$F_o$	2,656
$T_C^*$	0,300 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,599
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,160 s
$T_C$	0,480 s
$T_D$	1,800 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

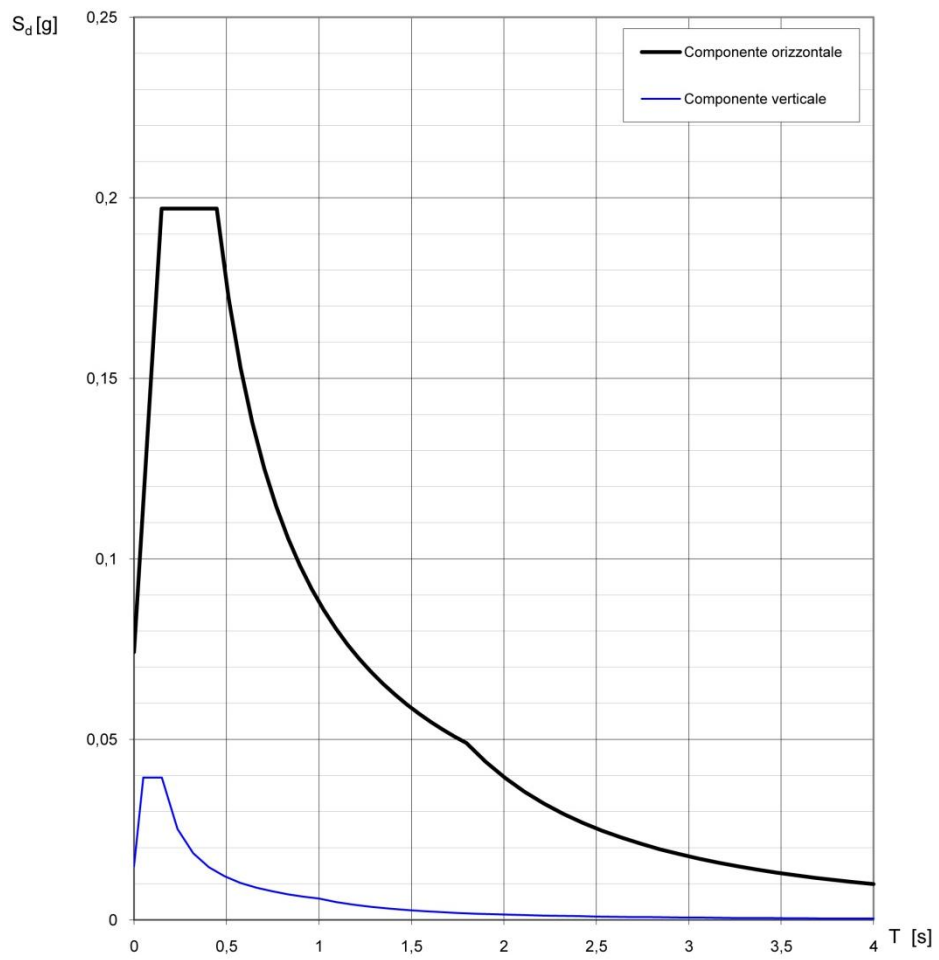
Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,074
$T_B$ ←	0,149	0,197
$T_C$ ←	0,447	0,197
	0,511	0,172
	0,576	0,153
	0,640	0,138
	0,704	0,125
	0,769	0,115
	0,833	0,106
	0,897	0,098
	0,962	0,092
	1,026	0,086
	1,090	0,081
	1,155	0,076
	1,219	0,072
	1,283	0,069
	1,348	0,065
	1,412	0,062
	1,476	0,060
	1,540	0,057
	1,605	0,055
	1,669	0,053
	1,733	0,051
$T_D$ ←	1,798	0,049
	1,903	0,044
	2,007	0,039
	2,112	0,035
	2,217	0,032
	2,322	0,029
	2,427	0,027
	2,532	0,025
	2,637	0,023
	2,742	0,021
	2,846	0,020
	2,951	0,018
	3,056	0,017
	3,161	0,016
	3,266	0,015
	3,371	0,014
	3,476	0,013
	3,581	0,012
	3,685	0,012
	3,790	0,011
	3,895	0,010
	4,000	0,010



Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) per SLV



## LA FLESSIBILITÀ DELLA MODULARITÀ

$$V_{\text{sismico}} = V_{\text{ed, P. tot}} * 0,197 = 239,75 \text{ kN} * 0,197 = 47,23 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ed, sismico}} = V_{\text{sismico}} * 1,4 = 47,23 \text{ kN} * 1,4 = 66,12 \text{ kN}$$

(1,4 = fattore correttivo per effetti torsionali del sisma sulle irregolarità dell'edificio)

$$V_{\text{ed, sismico}} < V_{\text{ed, res}} \rightarrow 66,12 \text{ kN} < 100,79 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

## 5. CONCLUSIONE

Come si evince dalle verifiche presentate, la progettazione di edifici costruiti con container merci risulta essere adeguata dal punto di vista strutturale. Se eseguita correttamente, secondo gli accorgimenti descritti, essa permette di realizzare grandi edifici adeguati a sopportare ingenti carichi.

La nuova metodologia proposta di rottura degli schemi aggregativi usuali garantisce un'ottima elasticità nella gestione degli spazi, non più rigidi e vincolati da un unico modulo, ma resi flessibili.

I tempi di realizzazione richiesti da questa strategia costruttiva, rispetto ai tempi richiesti dalla strategia costruttiva ordinaria basata sulla combinazione di container, si allungano lievemente, in quanto la preparazione in officina risulta più complessa. Paragonandoli però alle altre strategie di costruzione analizzate in precedenza, esse risultano essere complessivamente più rapide, poiché partono da un nucleo strutturale precostituito.

I costi di costruzione, se confrontati a quelli relativi alla metodologia più comune di fabbricazione con container, aumentano inevitabilmente. Da un lato per gli elementi nuovi da aggiungere, dall'altro per la mano d'opera in più richiesta.

L'impatto ecologico connesso alla strategia in questione è senza dubbio positivo. La realtà attuale delle cose è che i container

dismessi rimangono parcheggiati negli scali per diverso tempo per poi essere distrutti. Adottando la tecnica qui descritta, risulterebbe più agevole recuperare tali oggetti immediatamente evitando situazioni di stallo e donando loro una nuova vita d'uso, in grado di sfruttarne a pieno le potenzialità.

La possibilità di abitare in un container in Italia risulta difficile sia dal punto di vista normativo che da quello psicologico. Le strutture prefabbricate sono sempre state legate ad una situazione temporanea, di emergenza e per questo motivo sembrano tuttora non ben accette alla popolazione. Ma questo può essere dovuto a una scarsa consapevolezza delle possibilità operative; che a sua volta è probabile discenda dal fatto che le sperimentazioni relative all'utilizzo dei container nella progettazione stanno ancora muovendo i primi passi. Se questa ipotesi è corretta, il futuro potrebbe vedere un maggiore utilizzo dei container.

L'ipotesi di indirizzo tecnico qui presentata va nella direzione di dilatare le possibilità progettuali e combinatorie connesse all'uso dei container – uso che allo stato attuale è caratterizzato da rigidità – che costituiscono uno dei maggiori ostacoli alla diffusione in edilizia.

## 6. FONTI

### 6.1. Bibliografia

AGNEW J. e HUNTLEY J., *Manuale dei container*, a cura di Martino de Martini, Franco Angeli, Milano 1978

ALLEN E. e RAND P., *Architectural detailing*, Wiley, 2016

LE CORBUSIER, *Verso una architettura*, Longanesi, Milano 1987

RATH E., *Container system*, Wiley & Sons, New York 1973

STAIB G., DÖRRHÖFER A., ROSENTHAL M., *Atlante della progettazione modulare*, Utet scienze tecniche, Torino 2010

WIENKE U., *Manuale di bioedilizia*, Dei, Roma 2008

ZAMORA MOLA F. e SCHLEIFER S., *Abitare piccoli spazi*, Logos, Modena 2012

6.2. Sitografia

<http://www.containerbox.it/>

[http://www.ingegneriasoft.com/pdf/Norme\\_Tecniche\\_Costruzioni\\_2008\\_cap1-12.pdf](http://www.ingegneriasoft.com/pdf/Norme_Tecniche_Costruzioni_2008_cap1-12.pdf)

*Al mio Relatore, Professor Gian Luca Brunetti, sempre disponibile ed entusiasta nell'affrontare insieme questo stimolante lavoro.*

*A Luca, che sin da subito ha creduto nelle potenzialità di quest'idea, e che con le sue competenze tecniche da strutturista e mancato architetto, mi ha aiutata a svilupparla facendo emergere il piccolo ingegnere che è in me.*

*Allo strutturista arrivato all'improvviso, ma al momento giusto.*

*To TravisPriceArchitects, Kelly and Travis, great teachers that showed me the amazing world of the shipping containers.*

*Agli sguardi orgogliosi di mia madre di vedere nei miei occhi la forza di non mollare e la gioia delle soddisfazioni che pian piano arrivano.*

*Alle costanti critiche di mio padre volte a spronarmi e a dare sempre il meglio di me stessa.*

*A nonna Bina, che anche se non è più fisicamente qui, mi ha dato la forza per combattere sempre e non arrendermi mai.*

*A nonna Enrica, fiera e orgogliosa di me, che con uno sguardo sa capirmi e dirmi ciò di cui ho bisogno.*

*A Luca, l'Amico con la A maiuscola, persona e sostegno insostituibile.*

*A Cinzia e Francesca per esserci ed essere così come solo loro sanno.*

*A Claudio che, anche se adesso le nostre strade si sono separate, mi ha supportata, ma soprattutto sopportata, in questi due intensi anni.*

*A "zia" Renata, a Patrizia, a tutta la mia famiglia e a tutti i miei amici, vecchi e nuovi, che in un modo o nell'altro ci sono stati.*

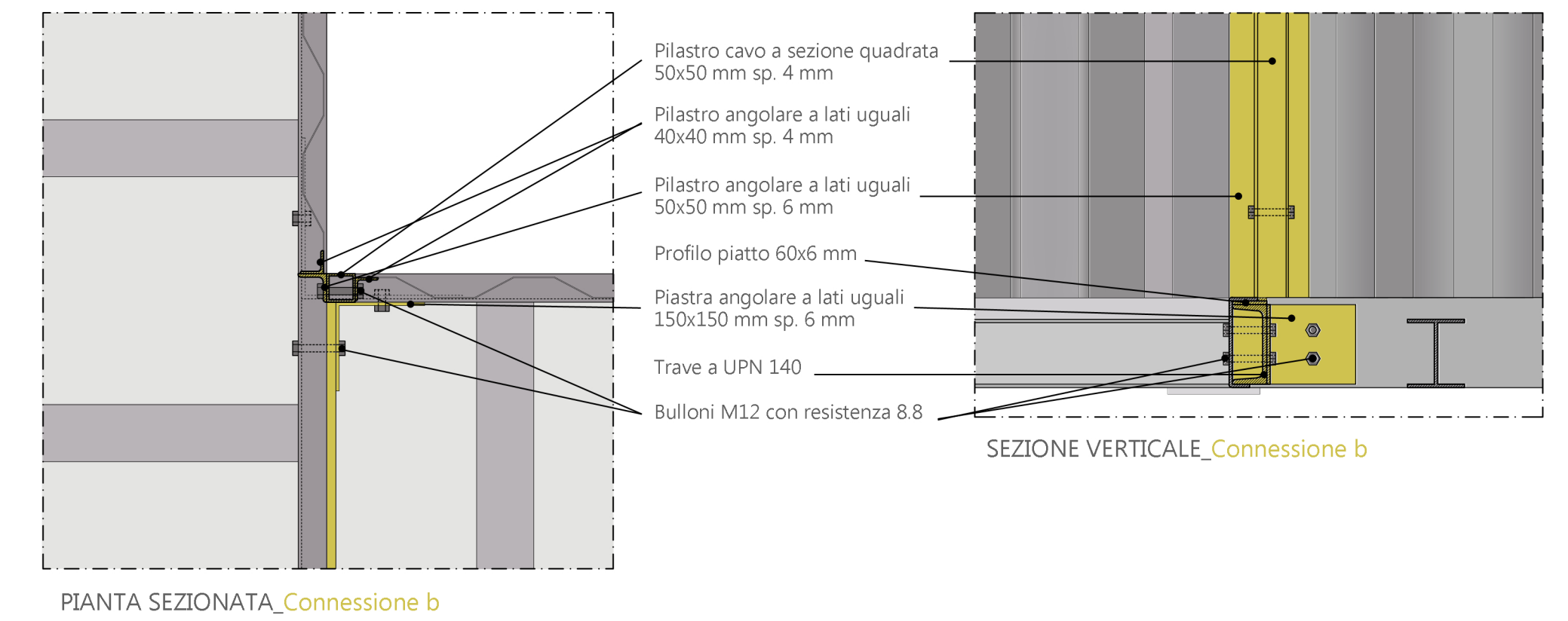
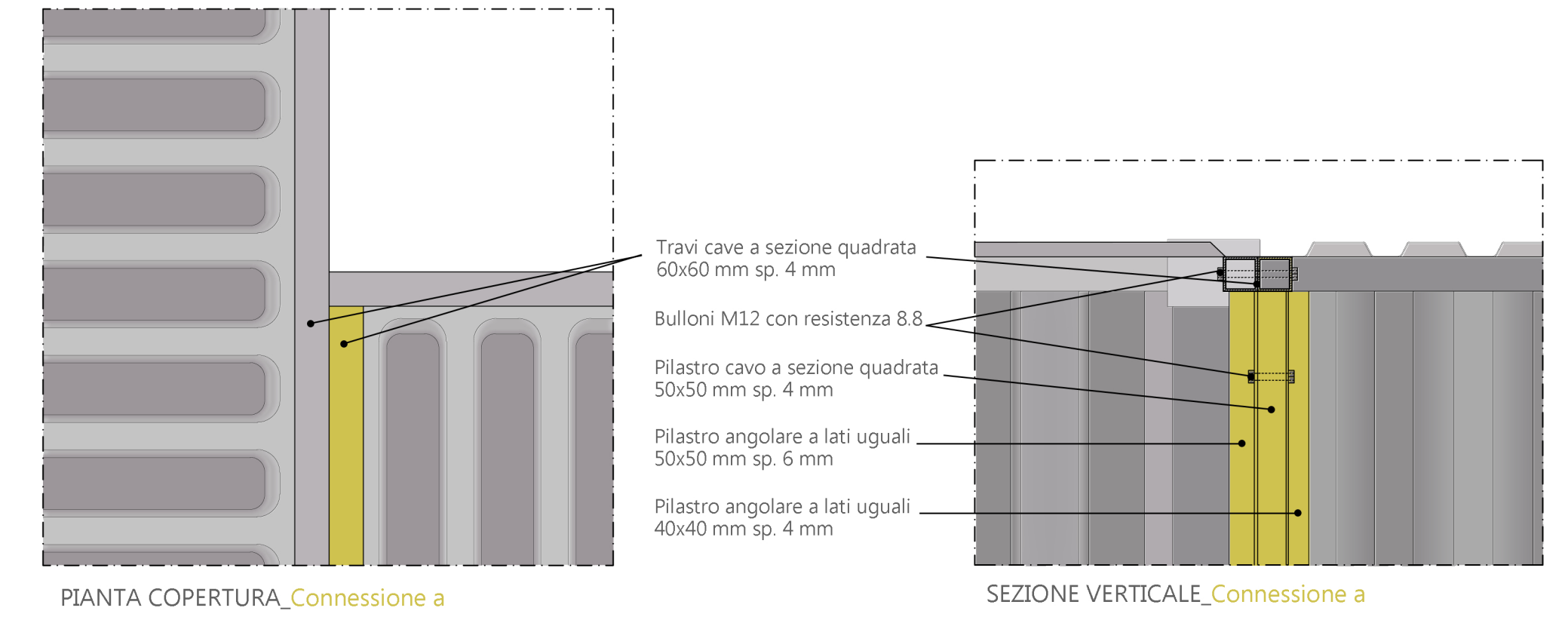
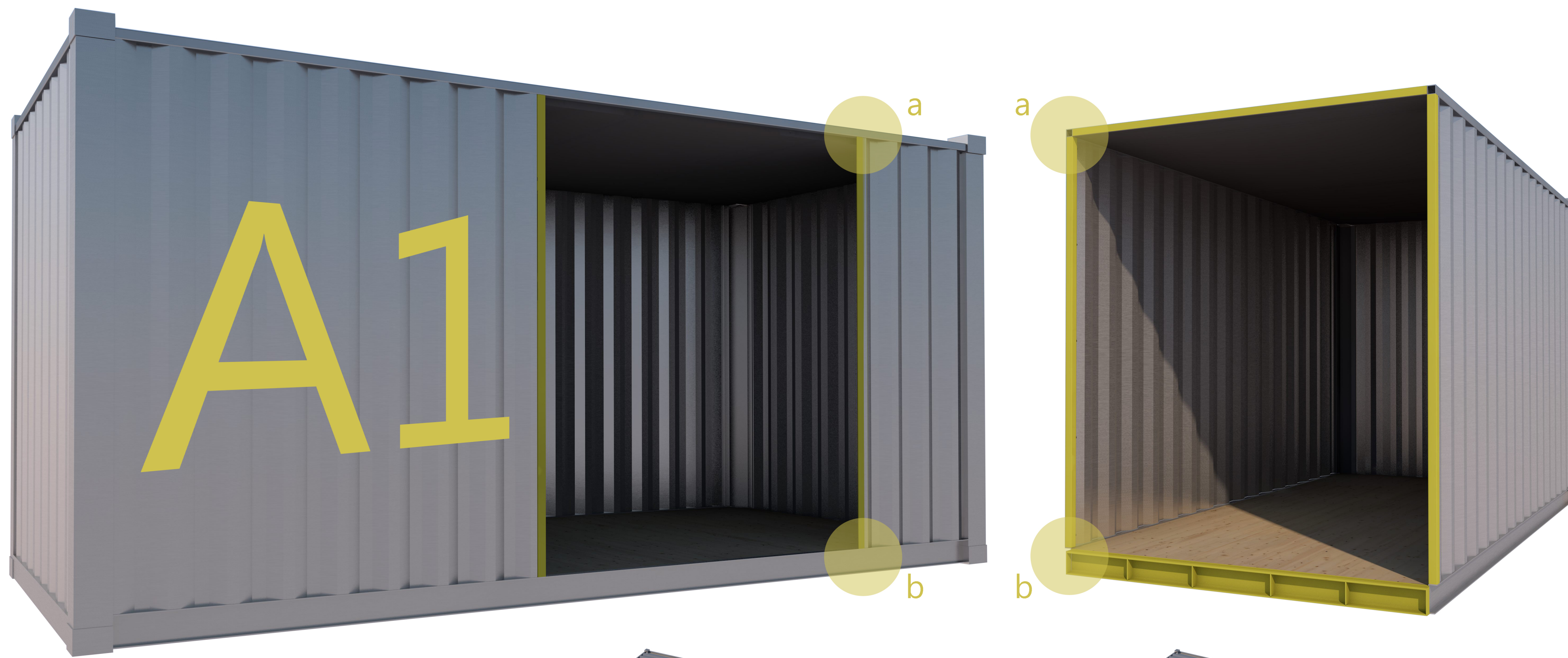
*All'architetto Paolo Riva, che mi ha permesso di vedere realizzato il mio primo progetto e di crescere professionalmente.*

*Al Dottor Mantegazza, sempre pronto a rimettermi in sesto quando la malattia prendeva il sopravvento.*

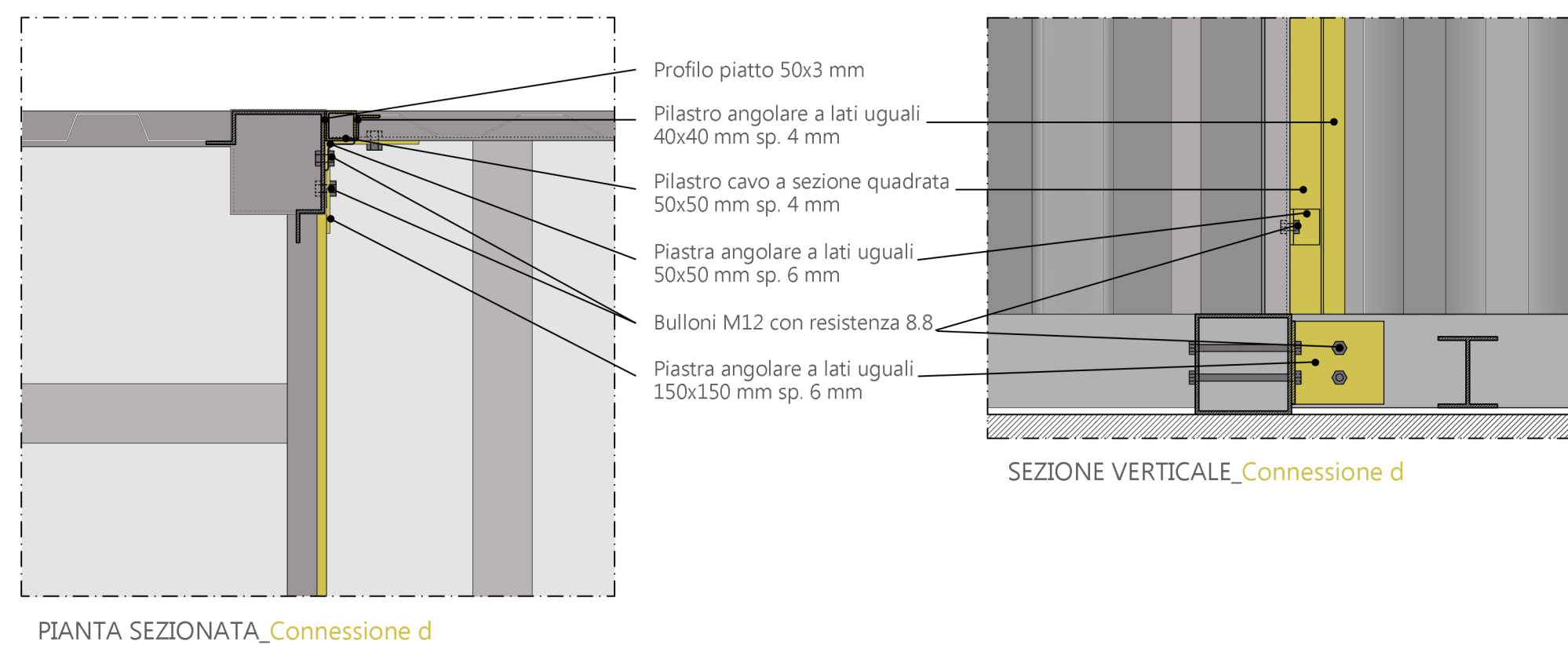
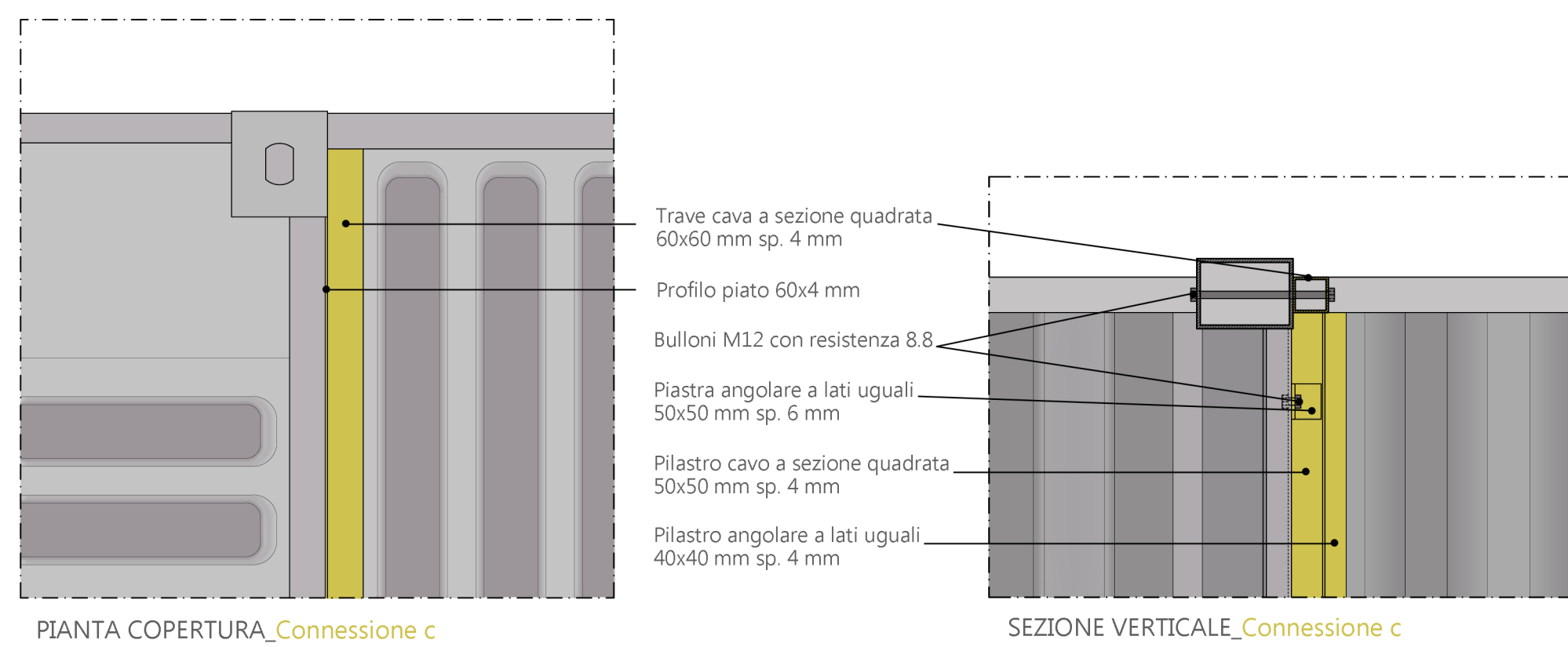
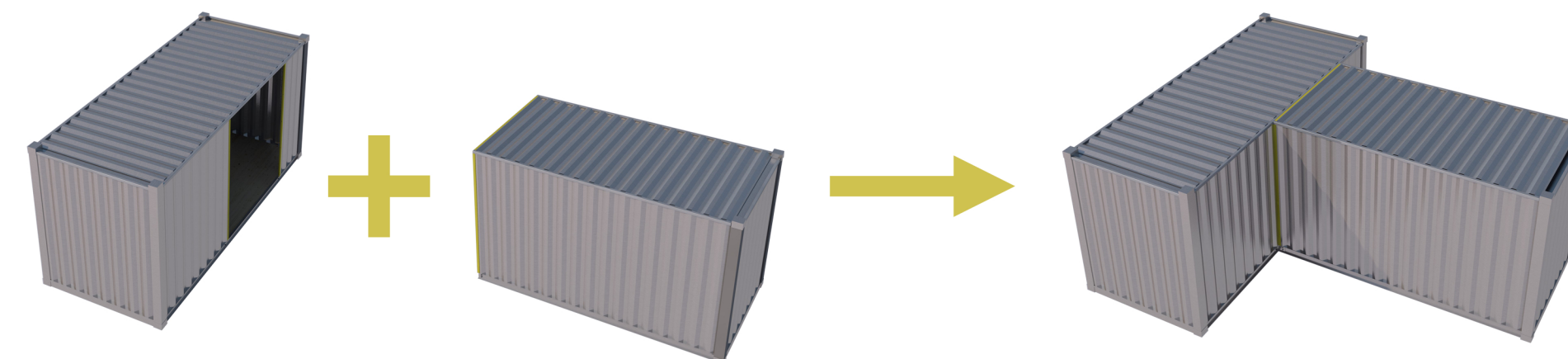
*A te, Miastenia, perché se sono così è anche merito tuo.*

*A me stessa, alla mia passione, al mio impegno, alla mia forza e alla mia testa dura.*

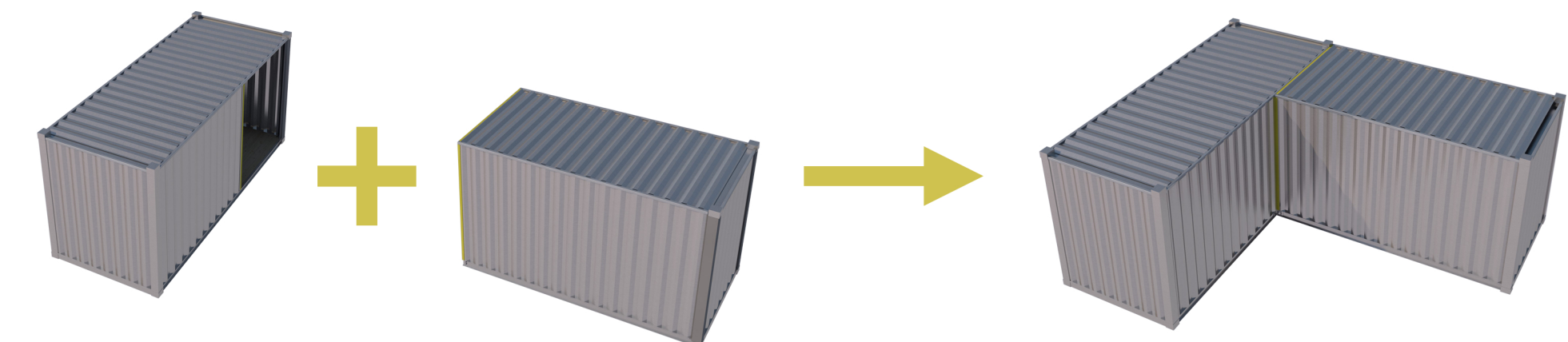




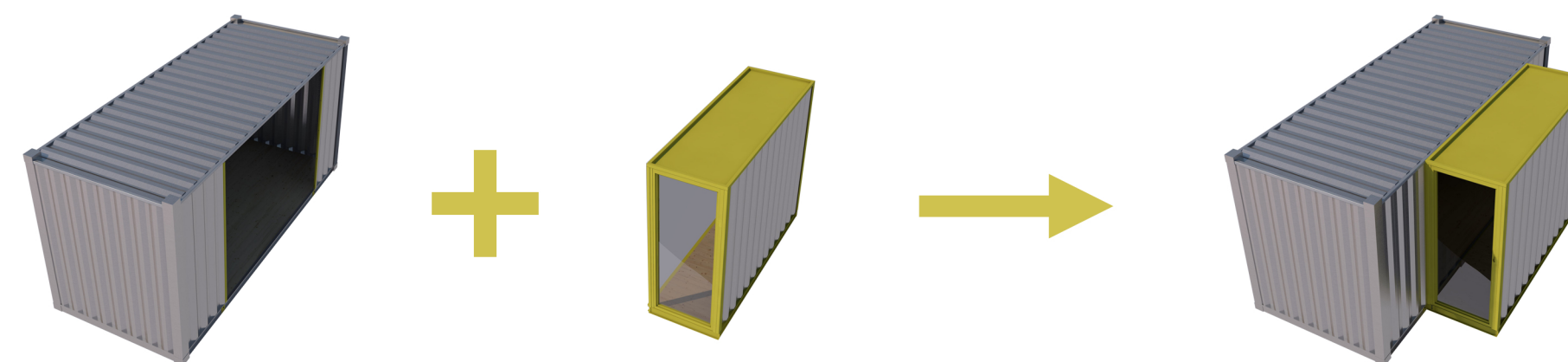
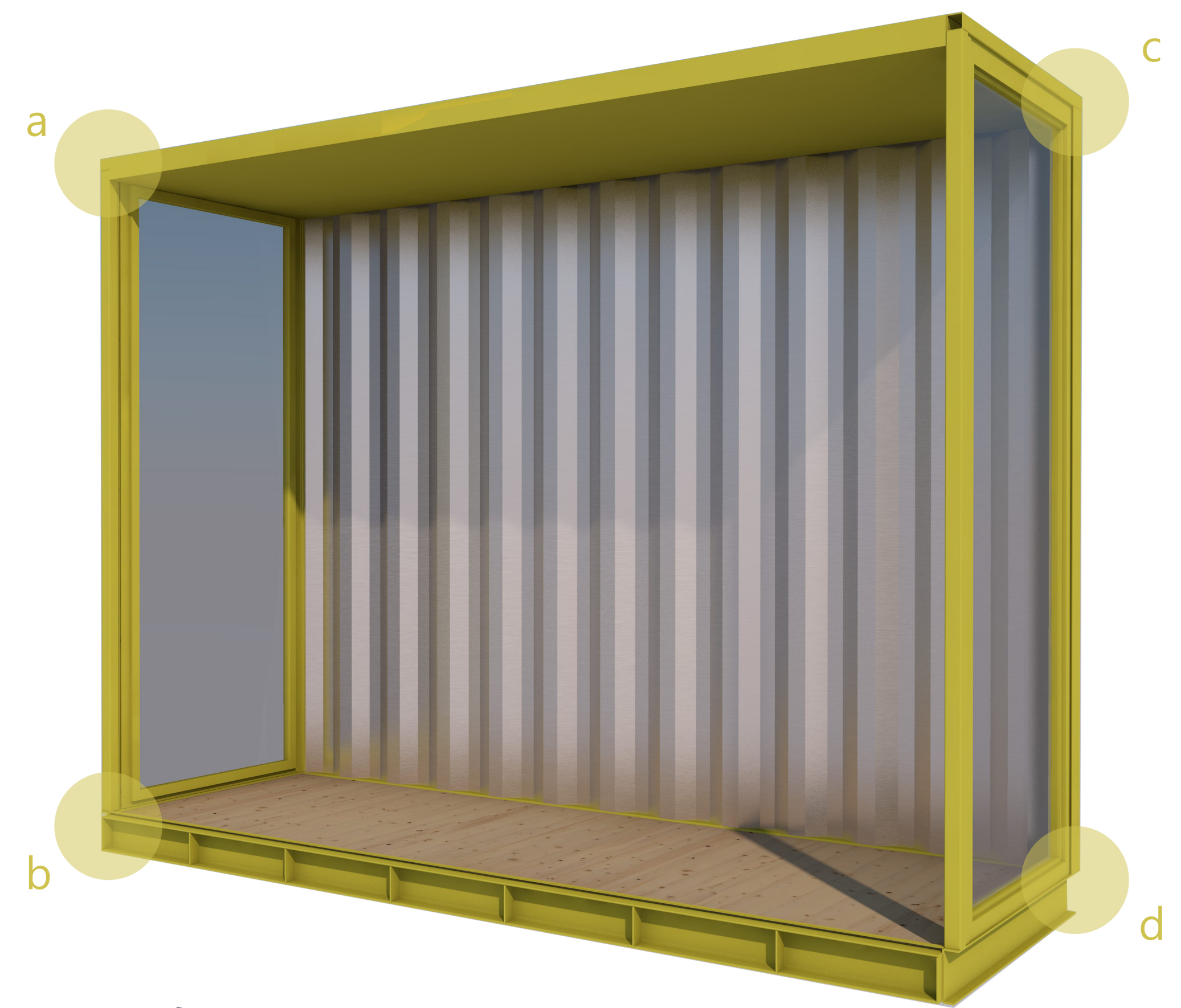
Connessione del container tagliato in un punto qualsiasi del lato lungo del container intero



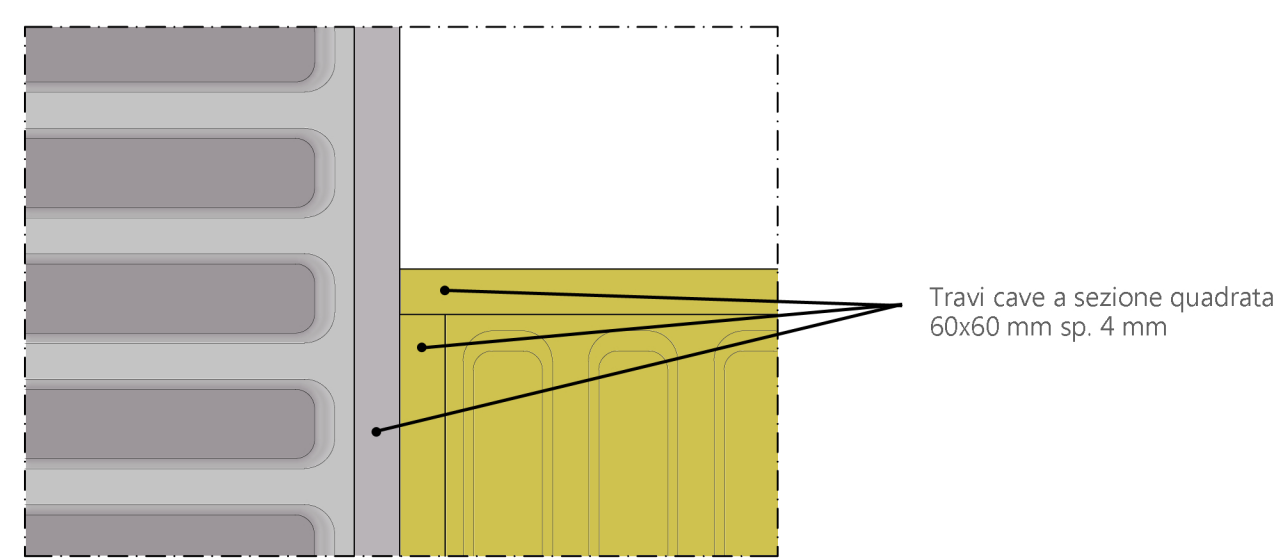
Connessione del container tagliato al pilastro angolare esistente del container intero



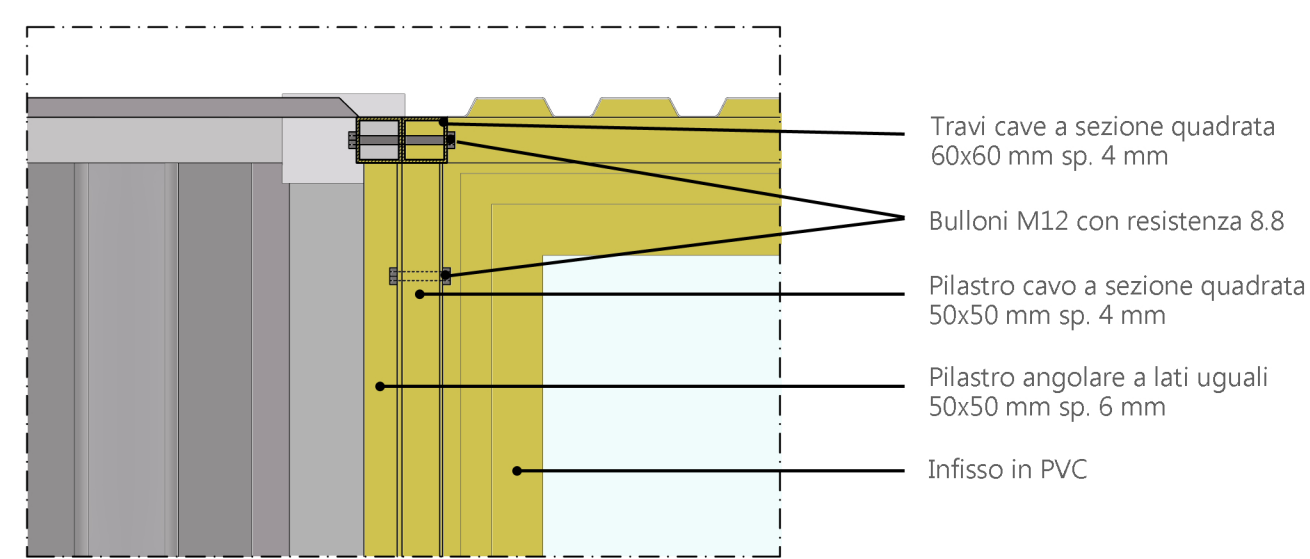




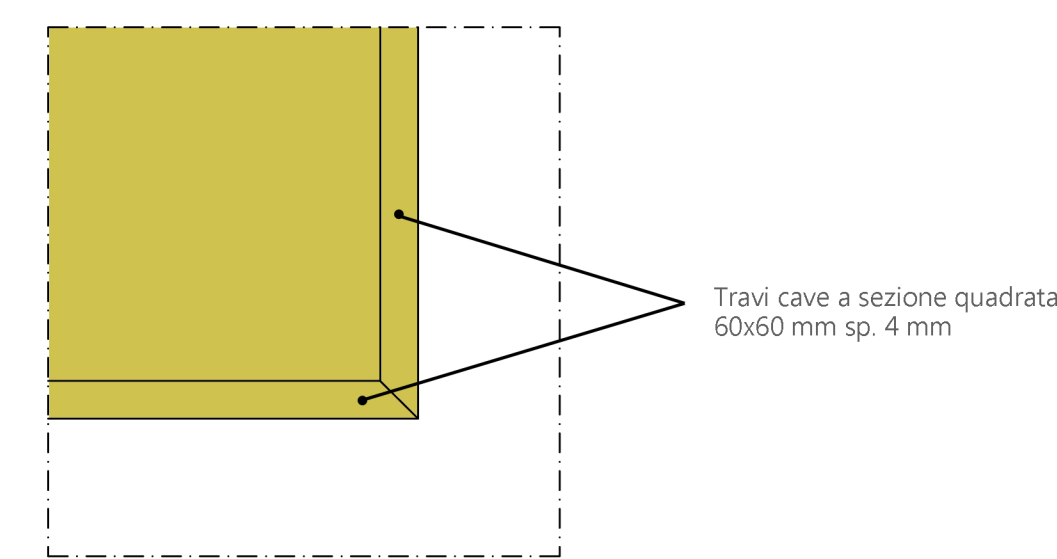
Taglio della lamiera grecata in un punto qualsiasi del container con ricostruzione completa delle parti mancanti



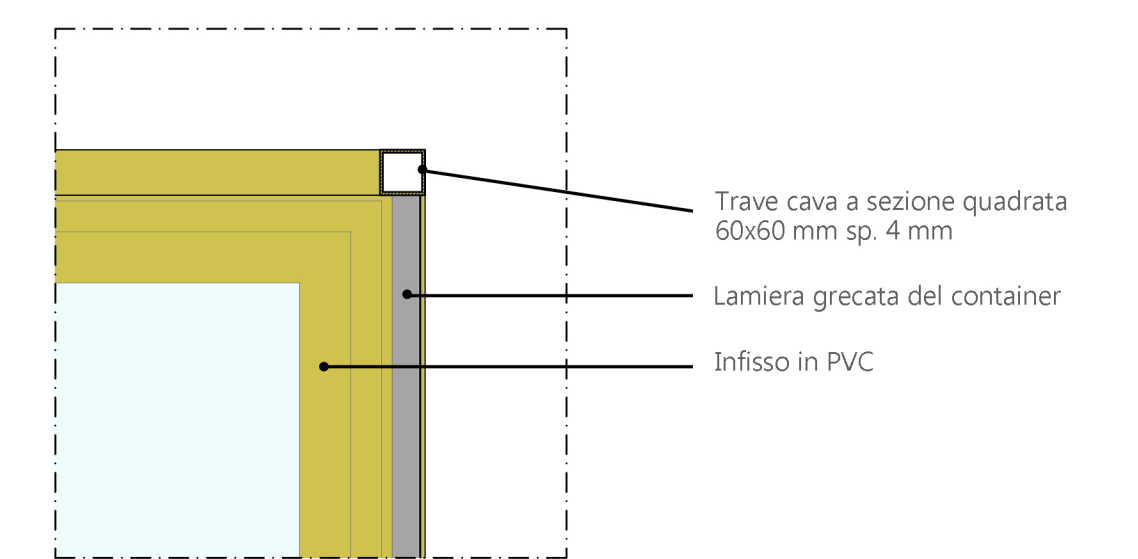
PIANTA COPERTURA\_Connessione a



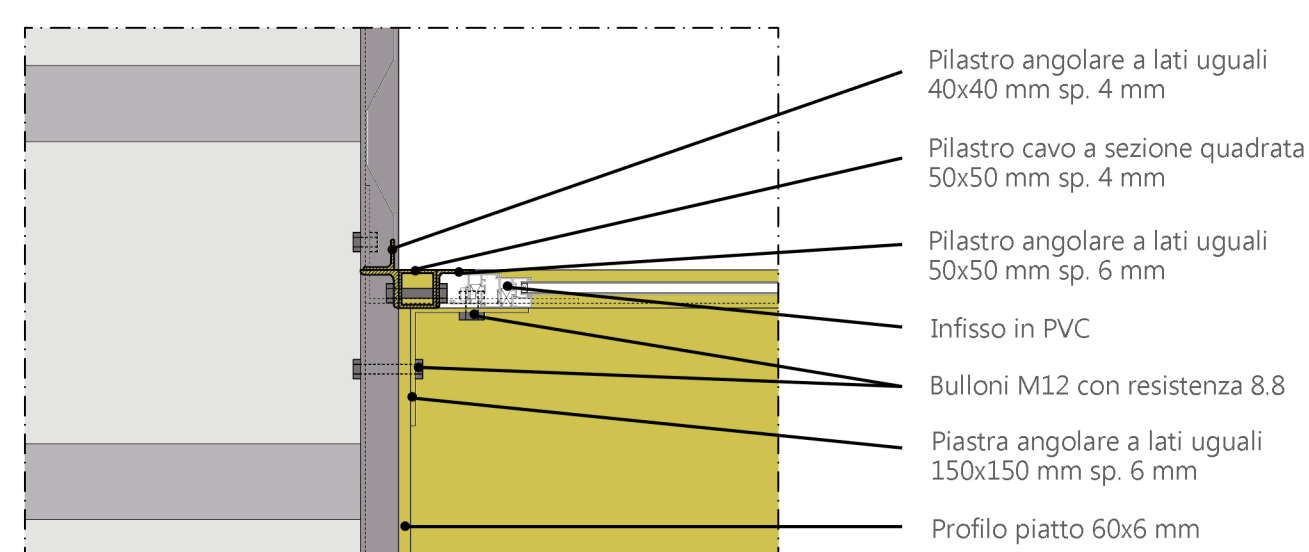
SEZIONE VERTICALE\_Connessione a



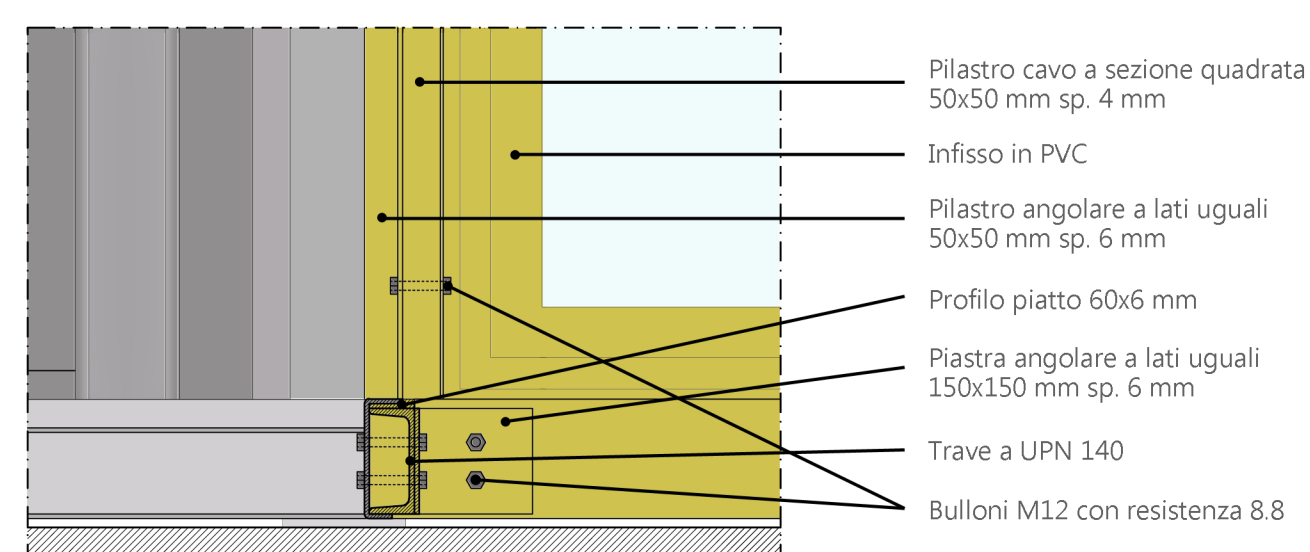
PIANTA COPERTURA\_Connessione c



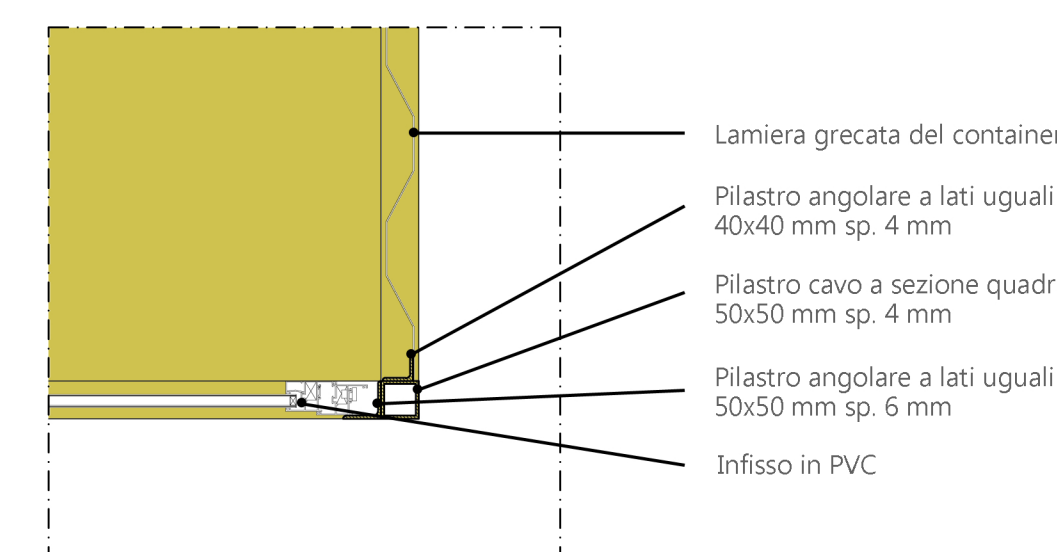
SEZIONE VERTICALE\_Connessione c



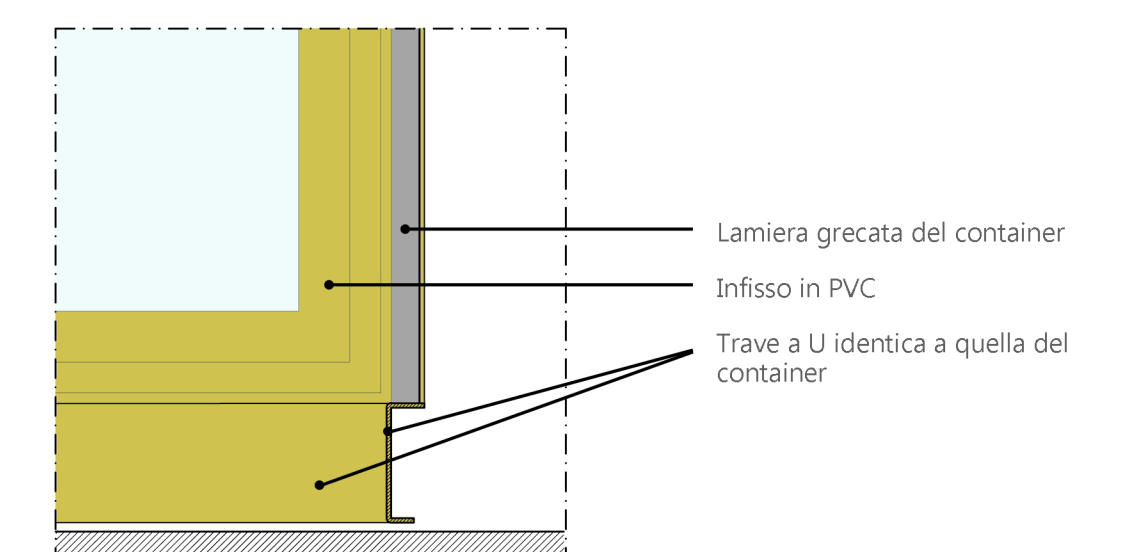
PIANTA SEZIONATA\_Connessione b



SEZIONE VERTICALE\_Connessione b

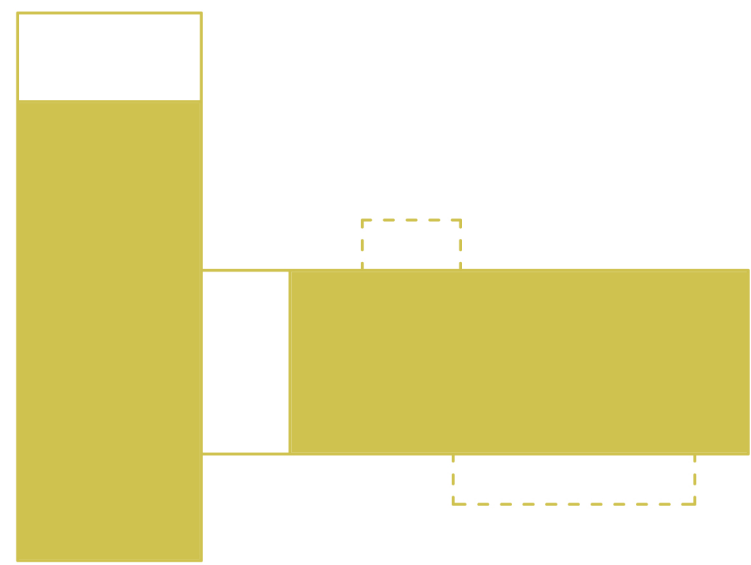


PIANTA SEZIONATA\_Connessione d



SEZIONE VERTICALE\_Connessione d



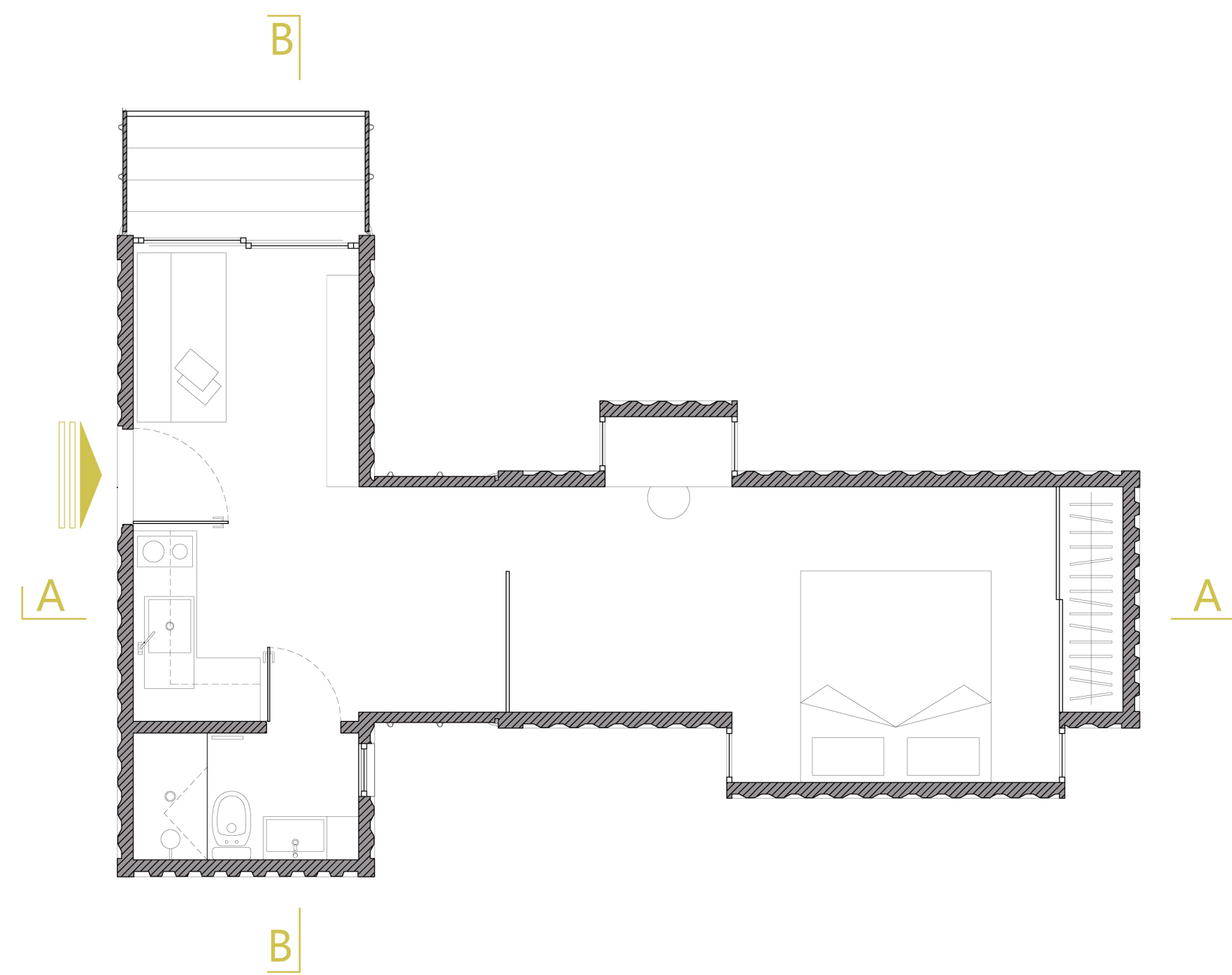


## UNITÀ ABITATIVA 1

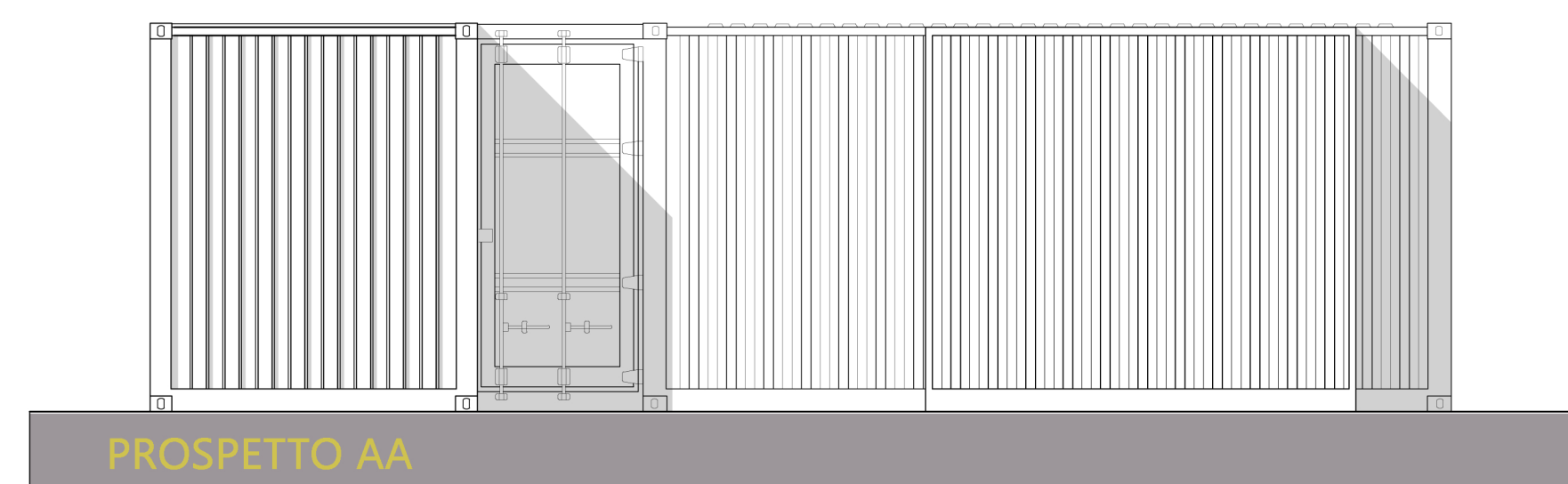


Componenti:  
DUE CONTAINER INTERI POSTI  
ORIZZONTALMENTE

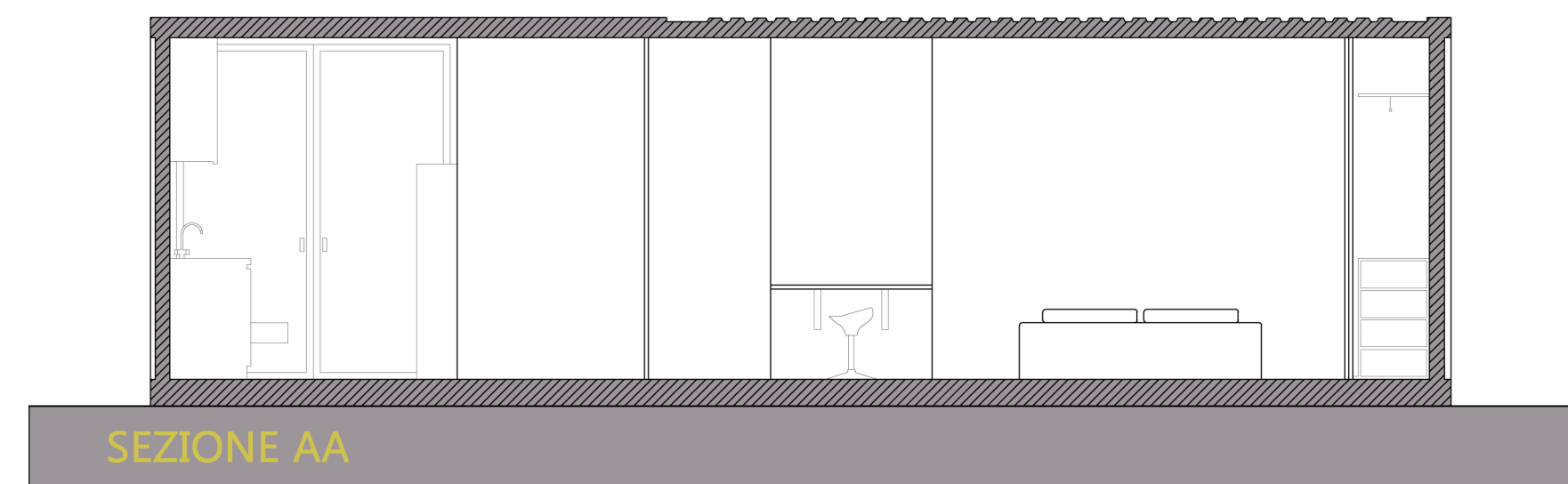
Metodologia di assemblaggio:  
TAGLIO B  
USO PORTE CONTAINER COME PARETI



PIANTA QUOTA +1,20 m



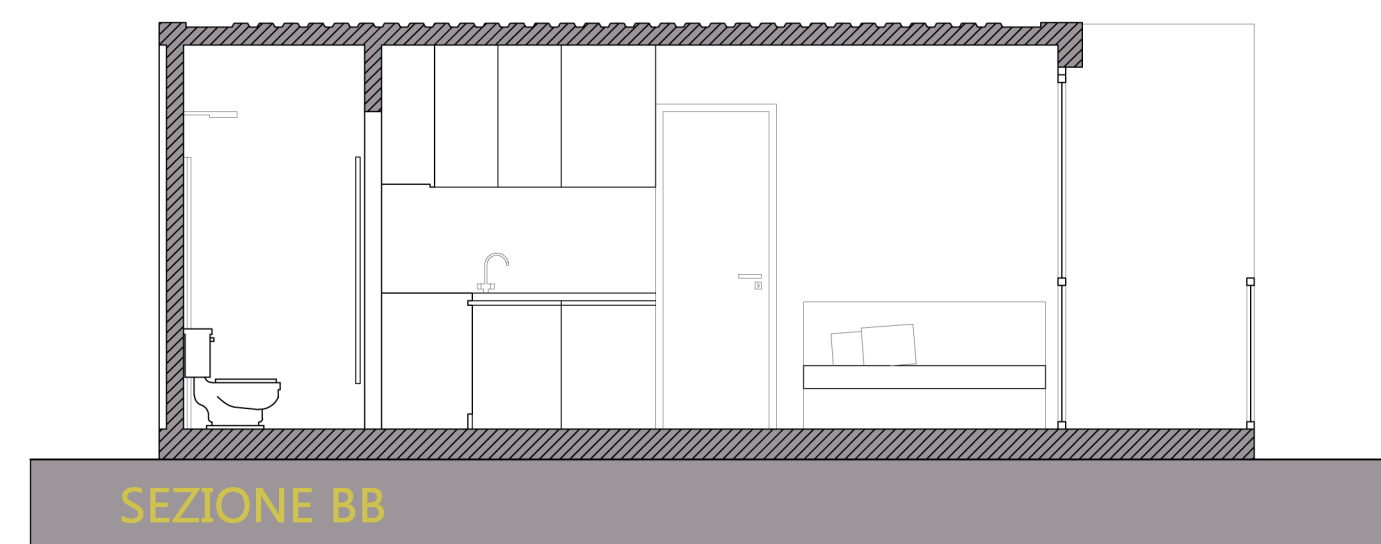
PROSPETTO AA



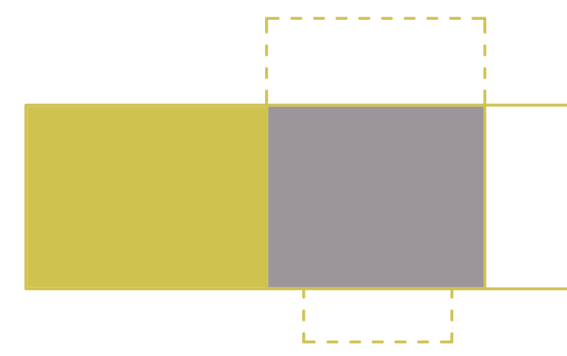
SEZIONE AA



PROSPETTO BB



SEZIONE BB

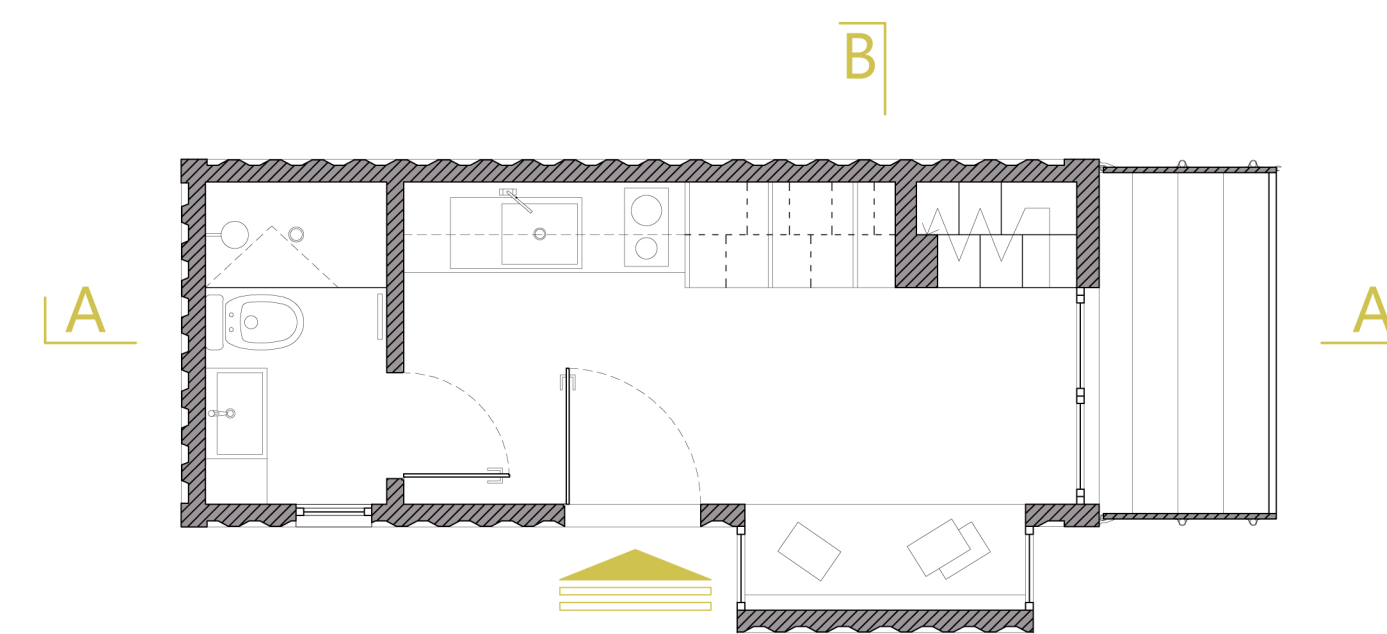


## UNITÀ ABITATIVA 2

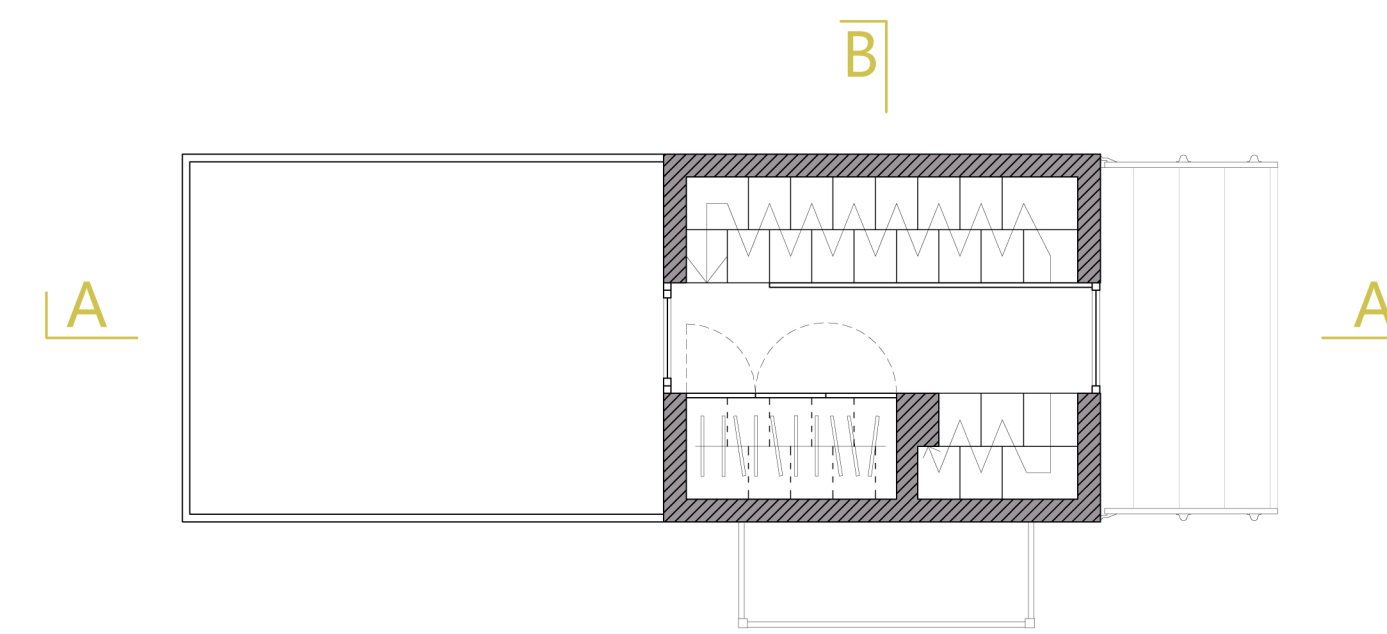


Componenti:  
UN CONTAINER INTERO POSTO  
ORIZZONTALMENTE  
UN CONTAINER INTERO POSTO  
VERTICALMENTE

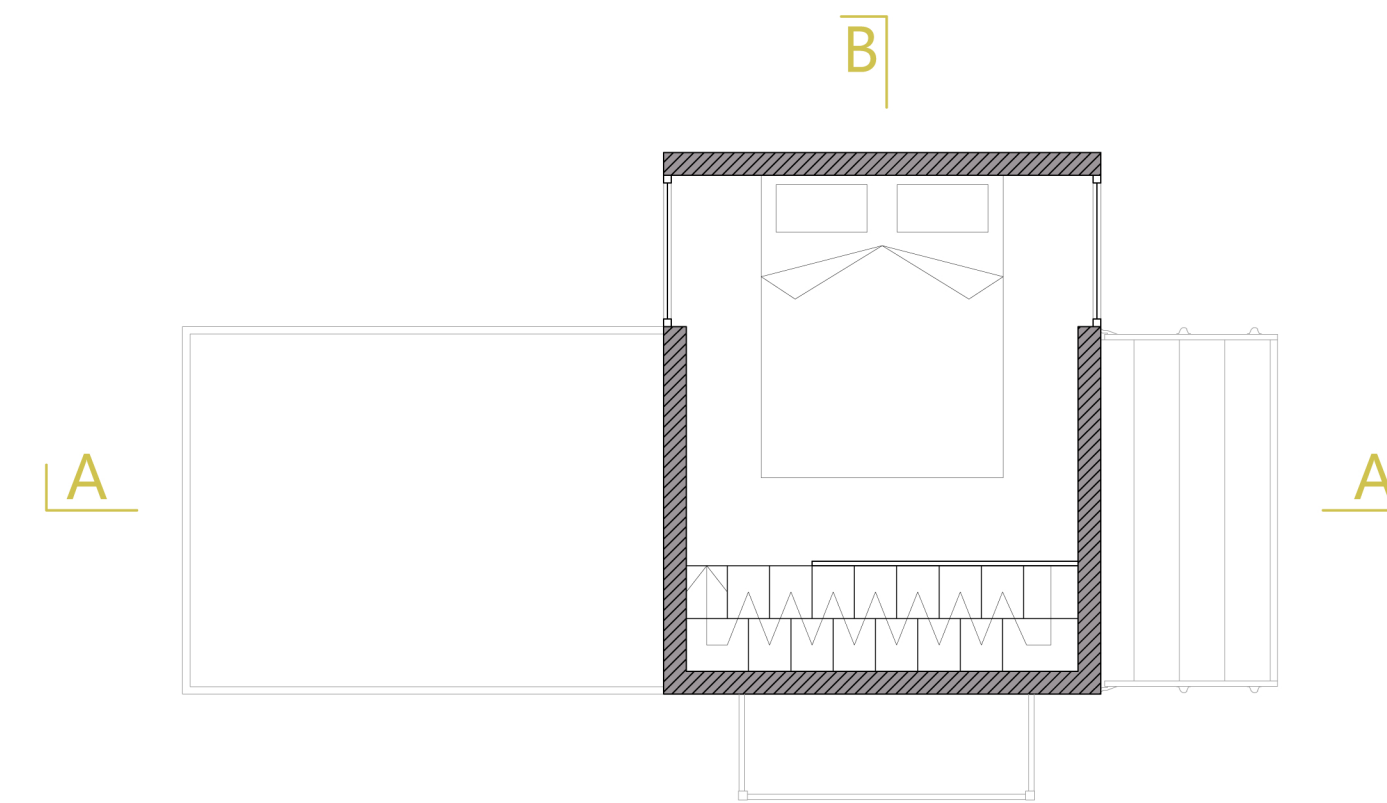
Metodologia di assemblaggio:  
TAGLIO B  
USO PORTE CONTAINER COME PARETI



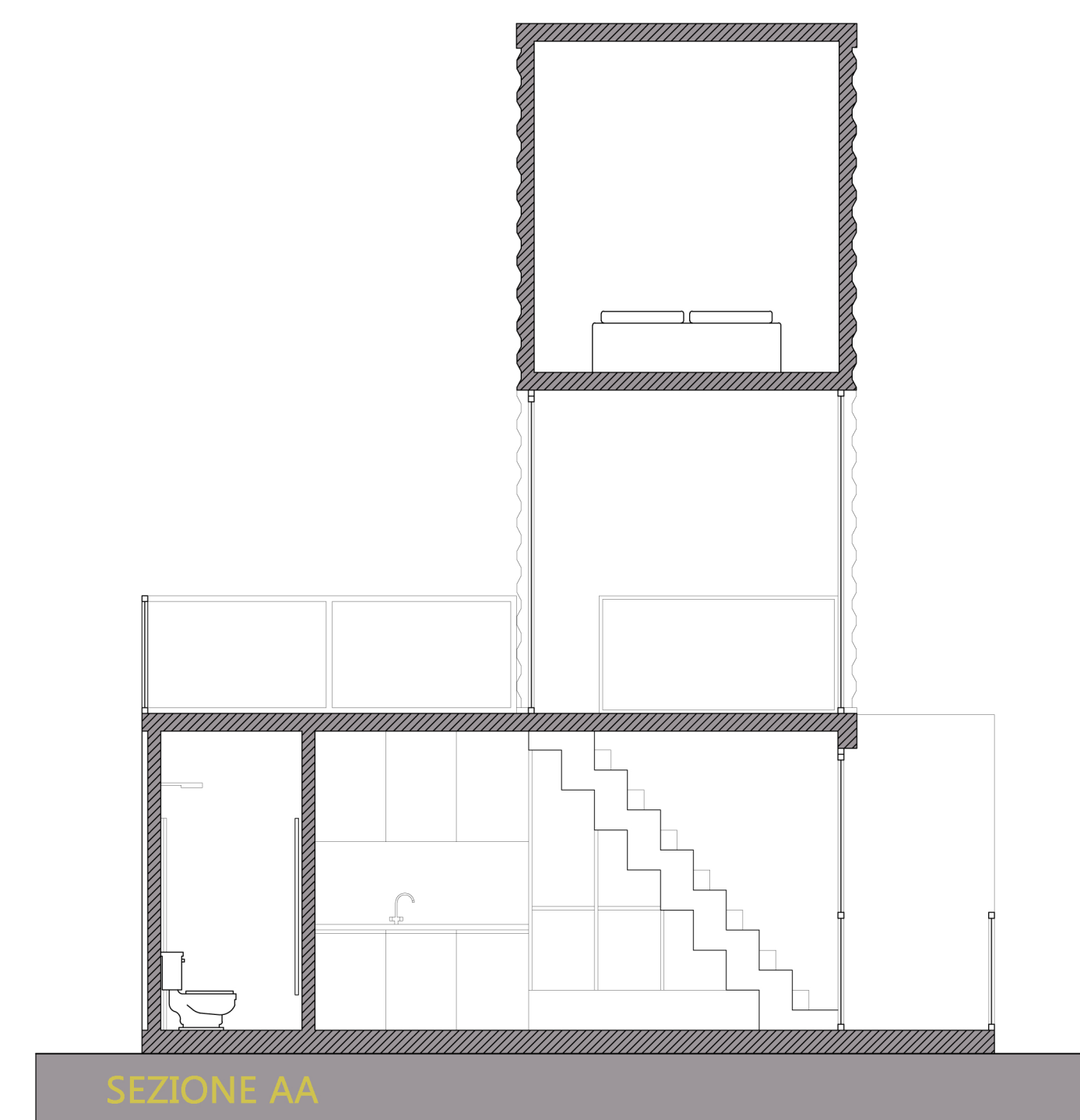
PIANTA QUOTA +1,20 m



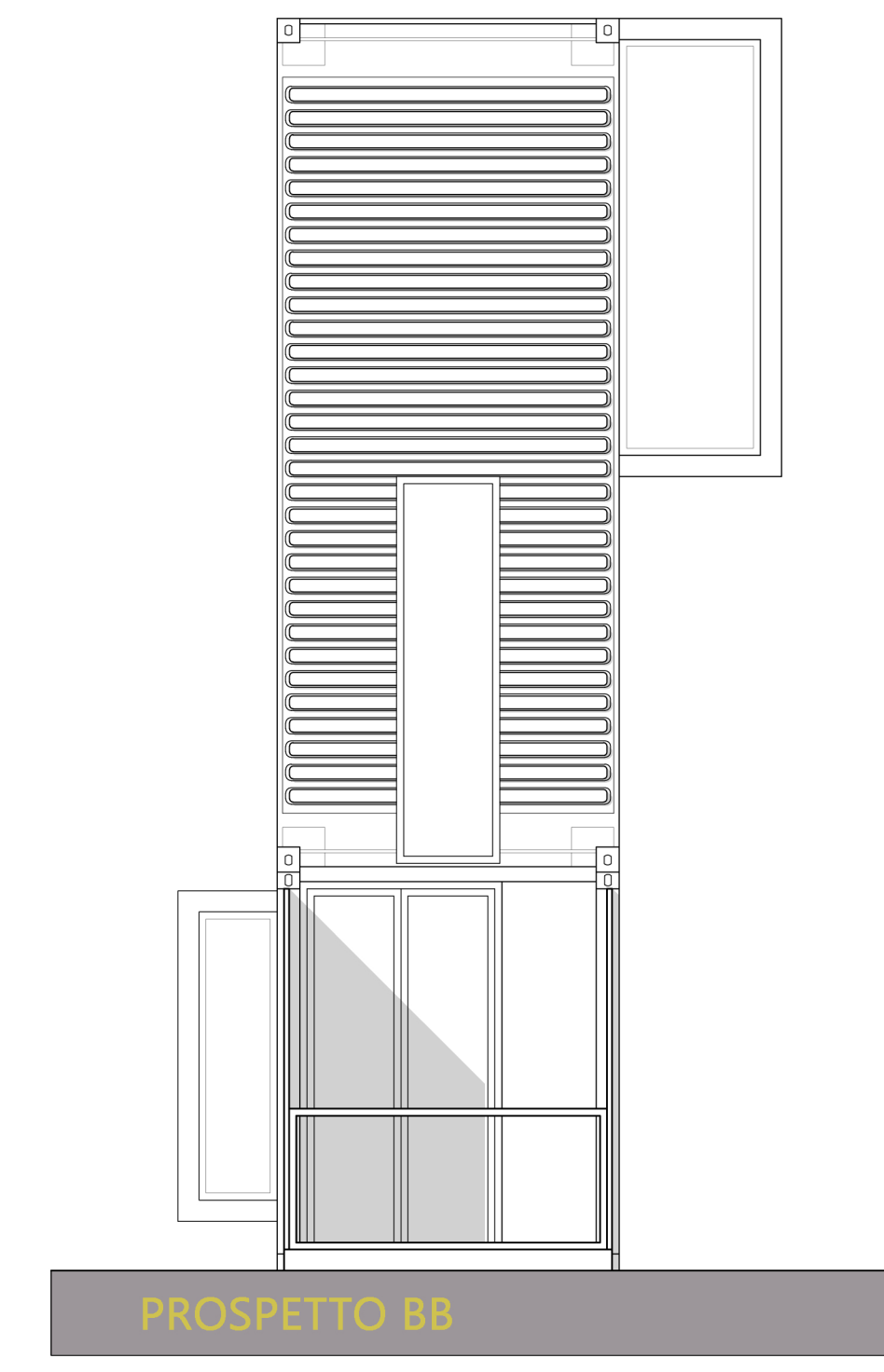
PIANTA QUOTA +4,00 m



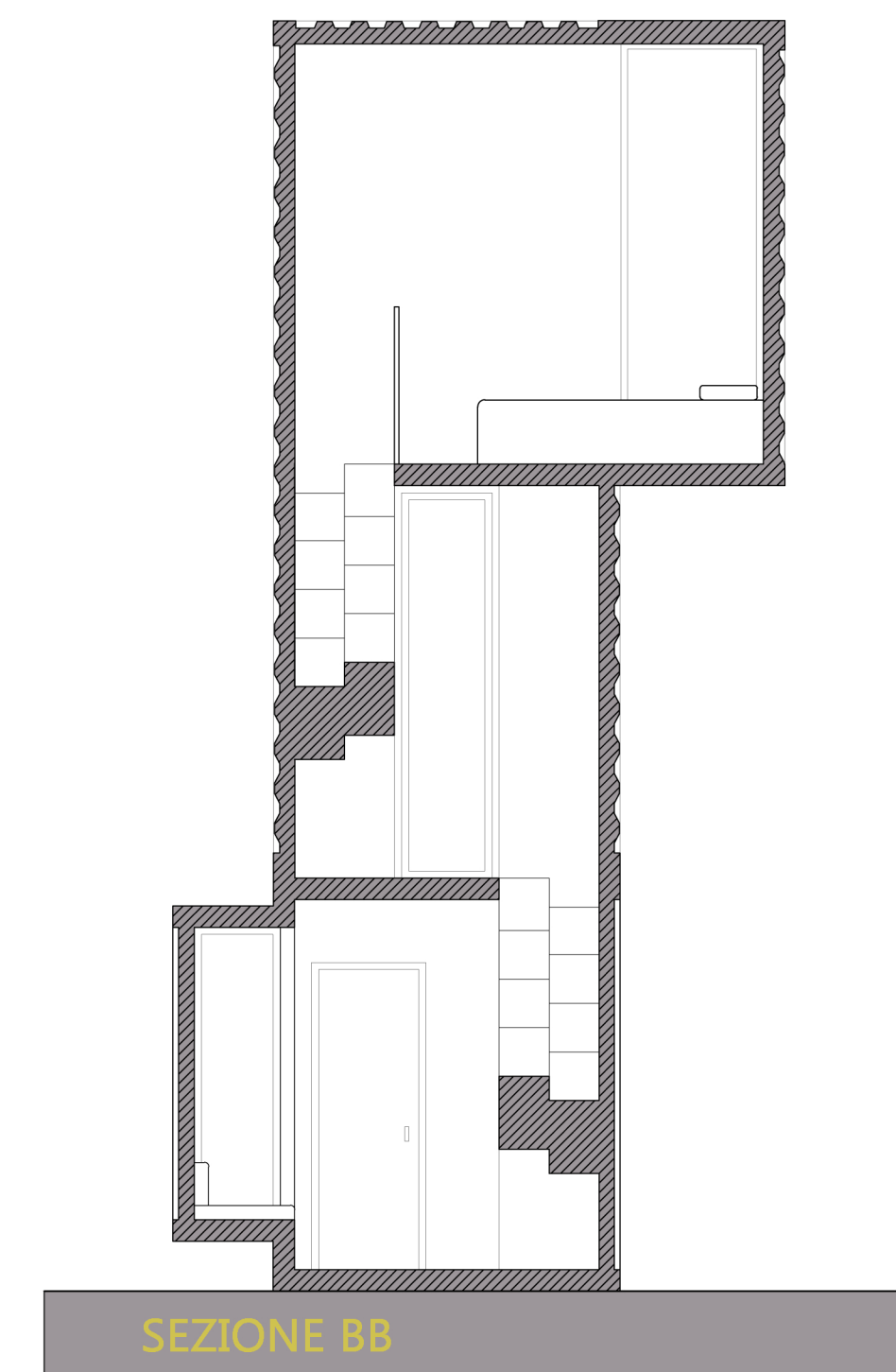
PIANTA QUOTA +6,80 m



SEZIONE AA

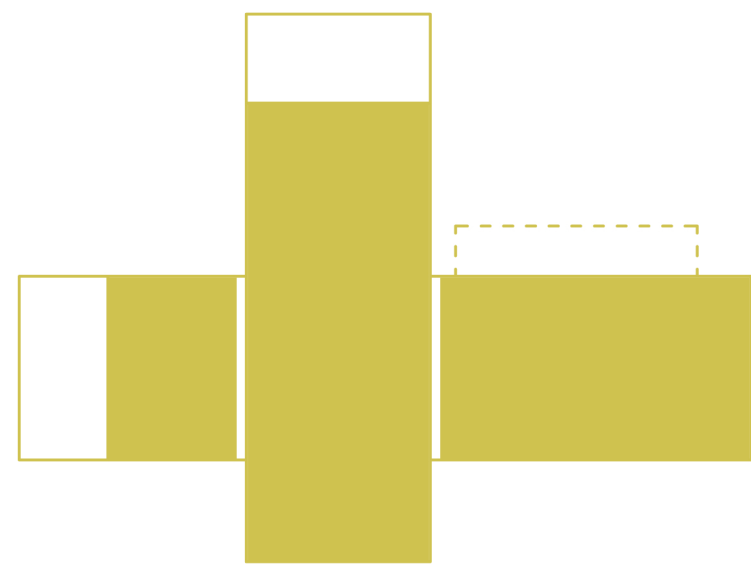


PROSPETTO BB



SEZIONE BB



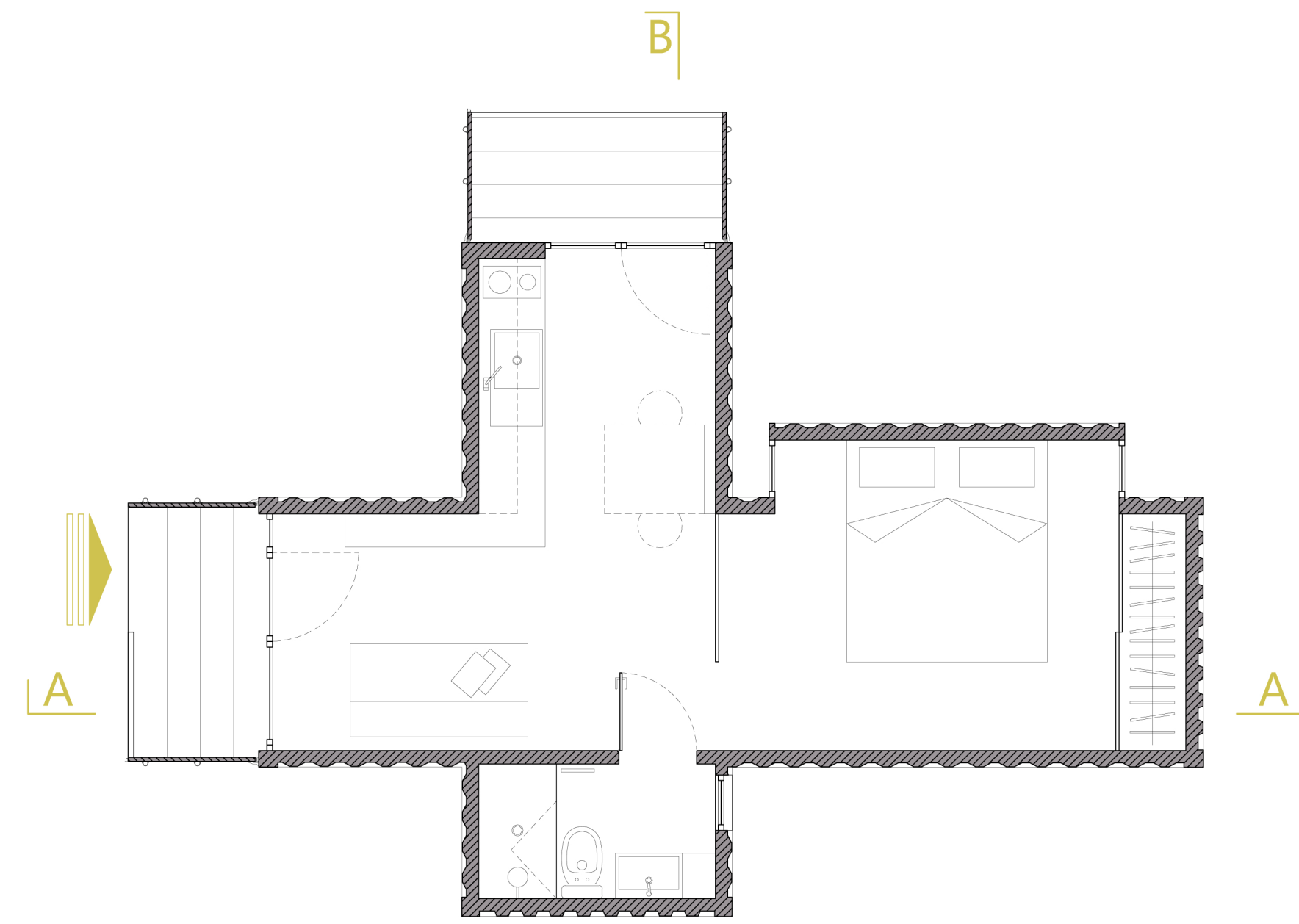


### UNITÀ ABITATIVA 3

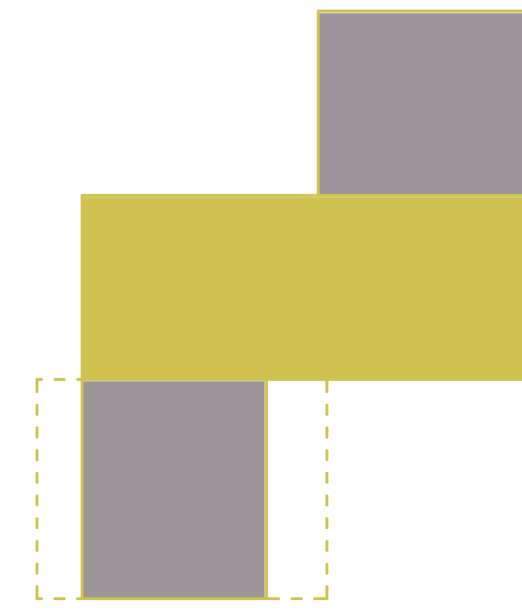
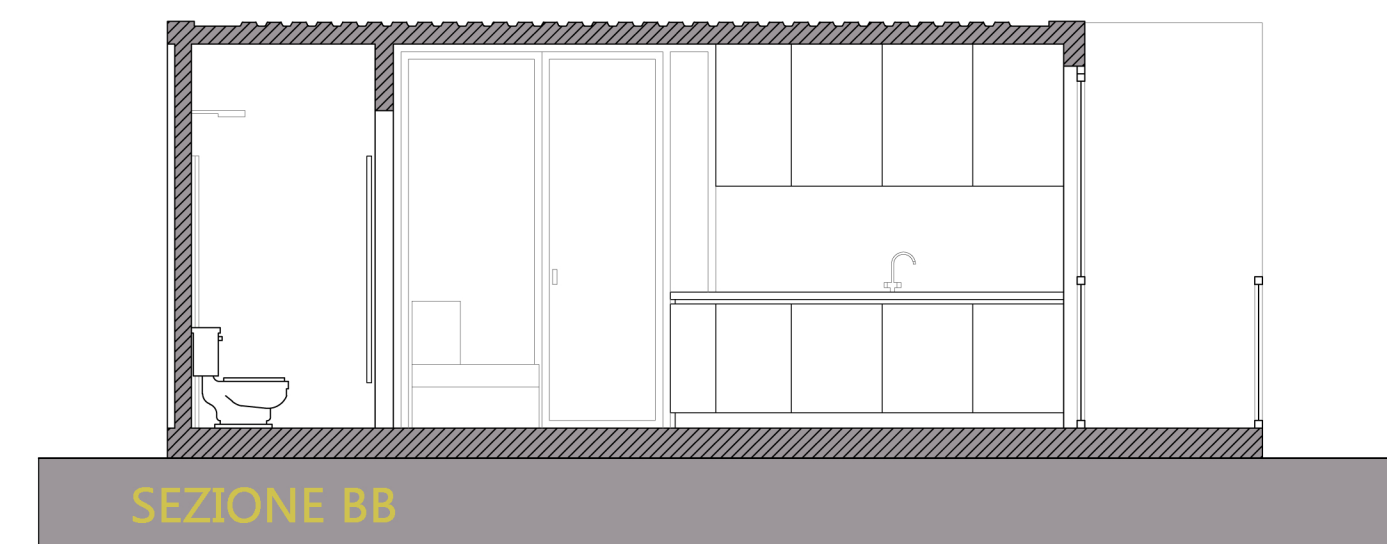
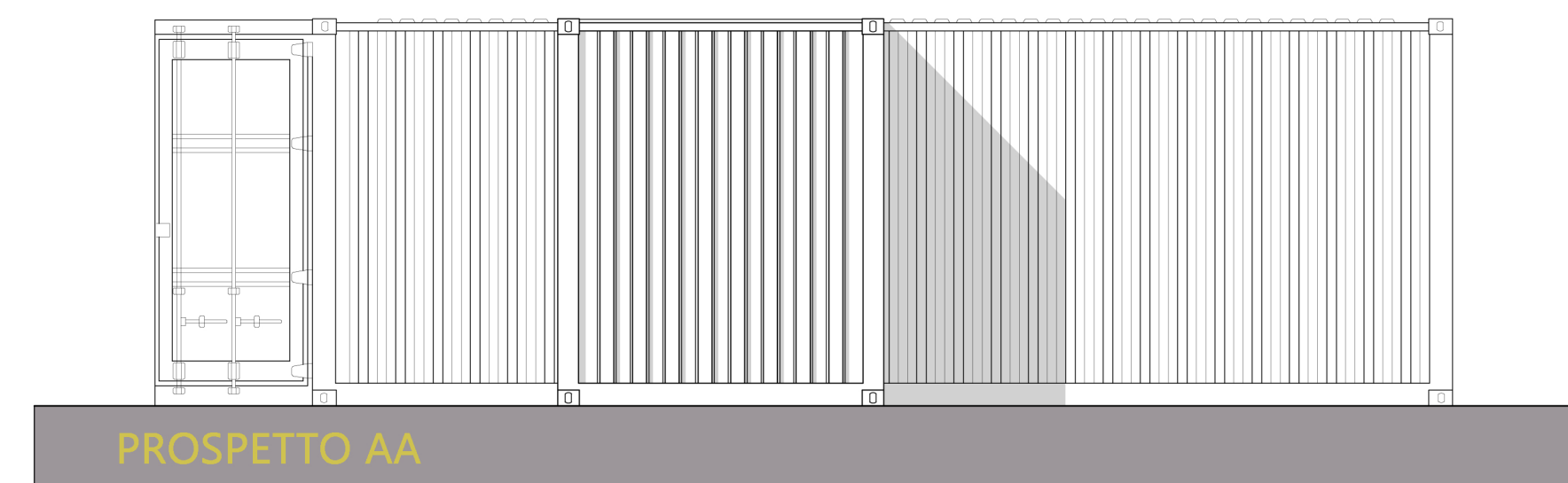


Componenti:  
 UN CONTAINER INTERO POSTO ORIZZONTALMENTE  
 UN ONTAINER TAGLIATO POSTO ORIZZONTALMENTE

Metodologia di assemblaggio:  
 TAGLIO A1  
 TAGLIO B  
 USO PORTE CONTAINER COME PARETI



PIANTA QUOTA +1,20 m

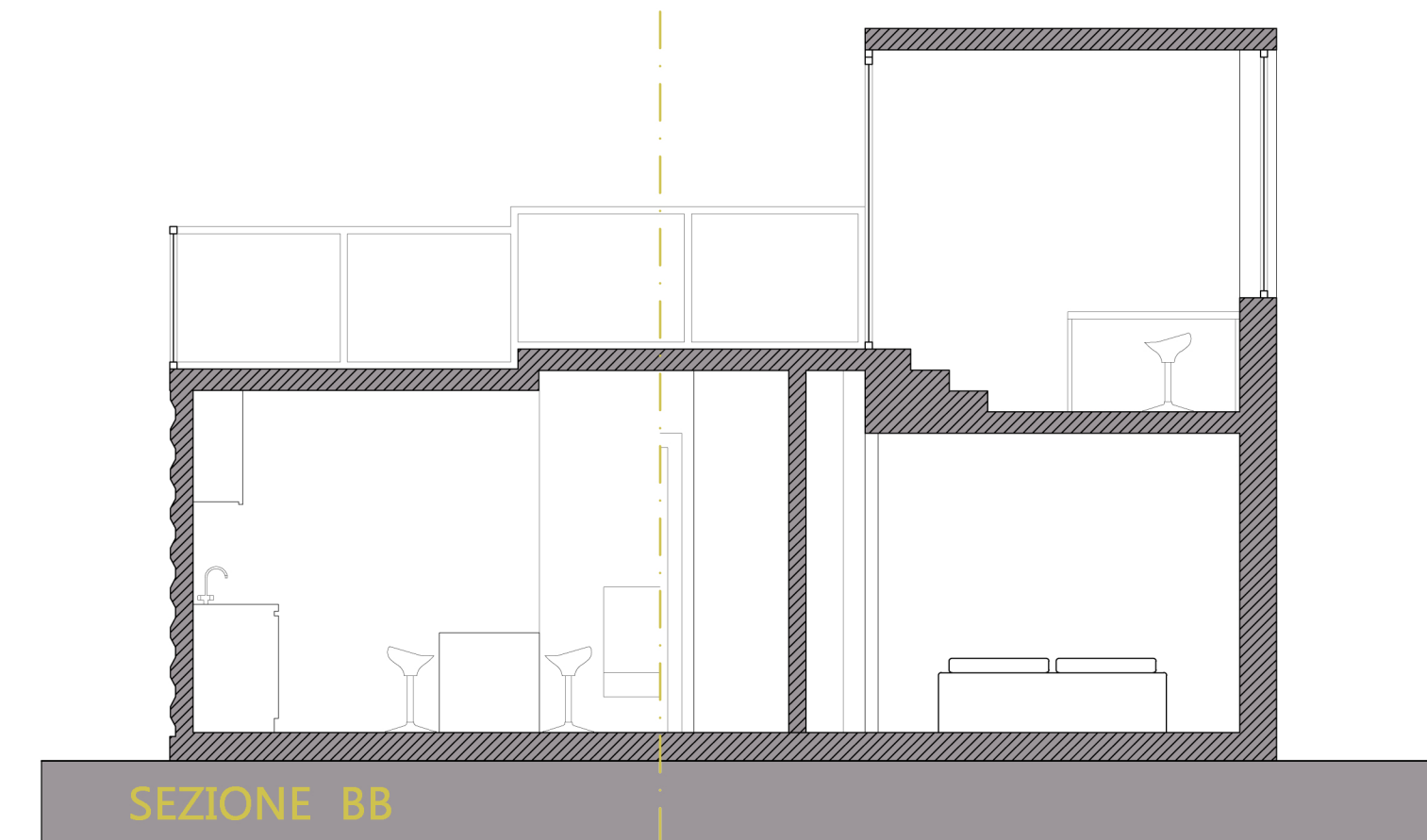
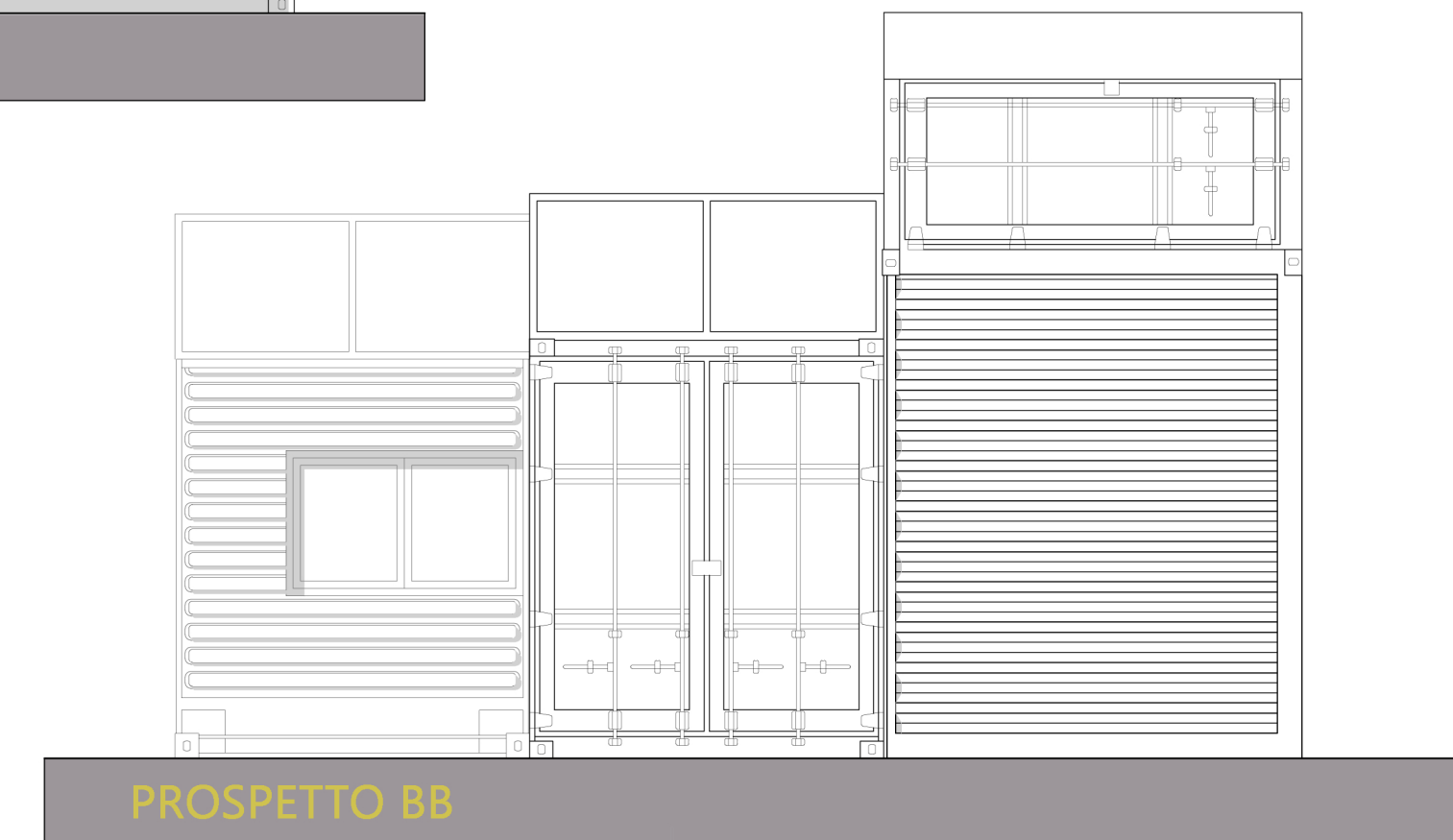
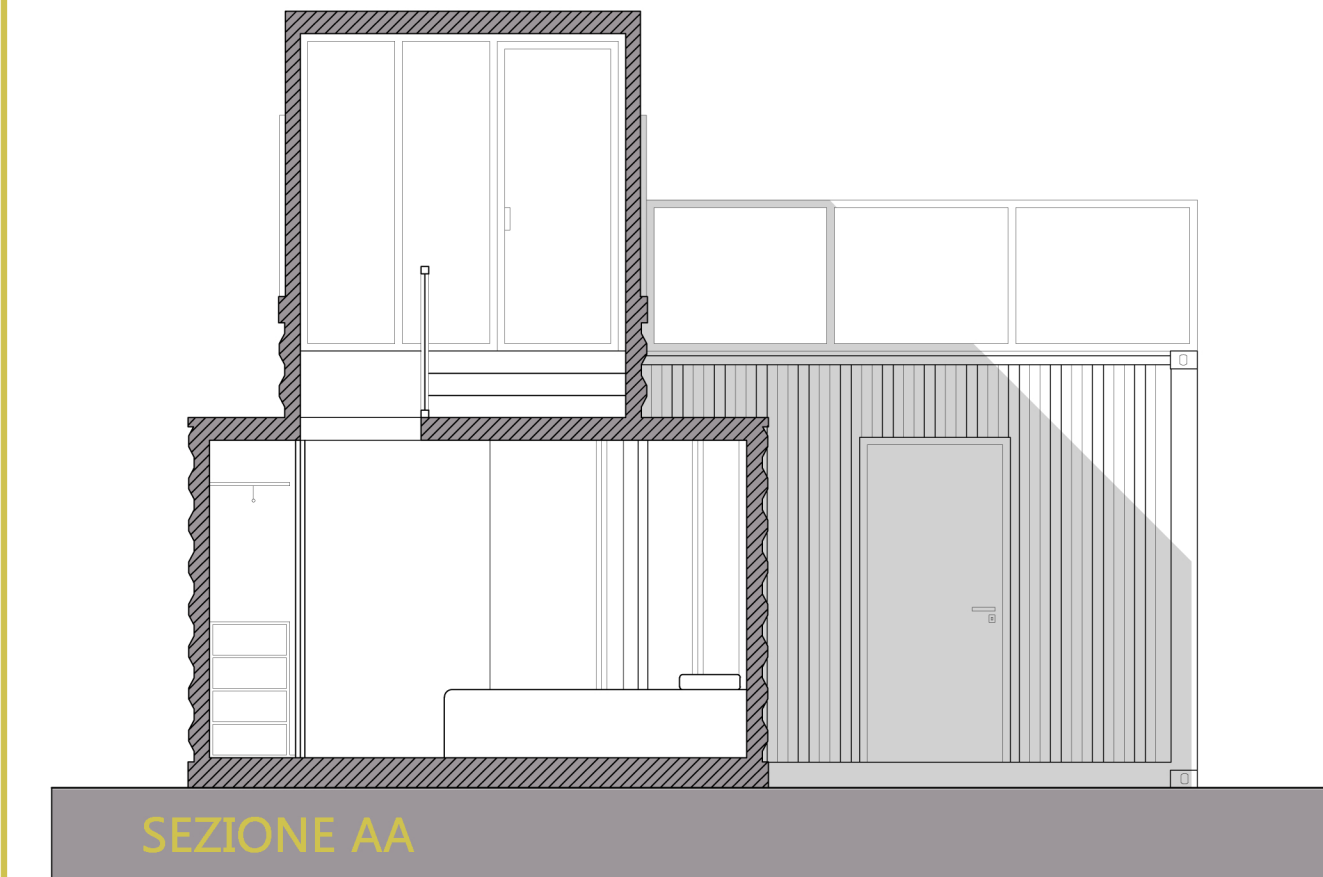


### UNITÀ ABITATIVA 4



Componenti:  
 UN CONTAINER INTERO POSTO ORIZZONTALMENTE  
 UN CONTAINER TAGLIATO POSTO VERTICALMENTE

Metodologia di assemblaggio:  
 TAGLIO A2  
 TAGLIO B  
 USO PORTE CONTAINER COME PARETI



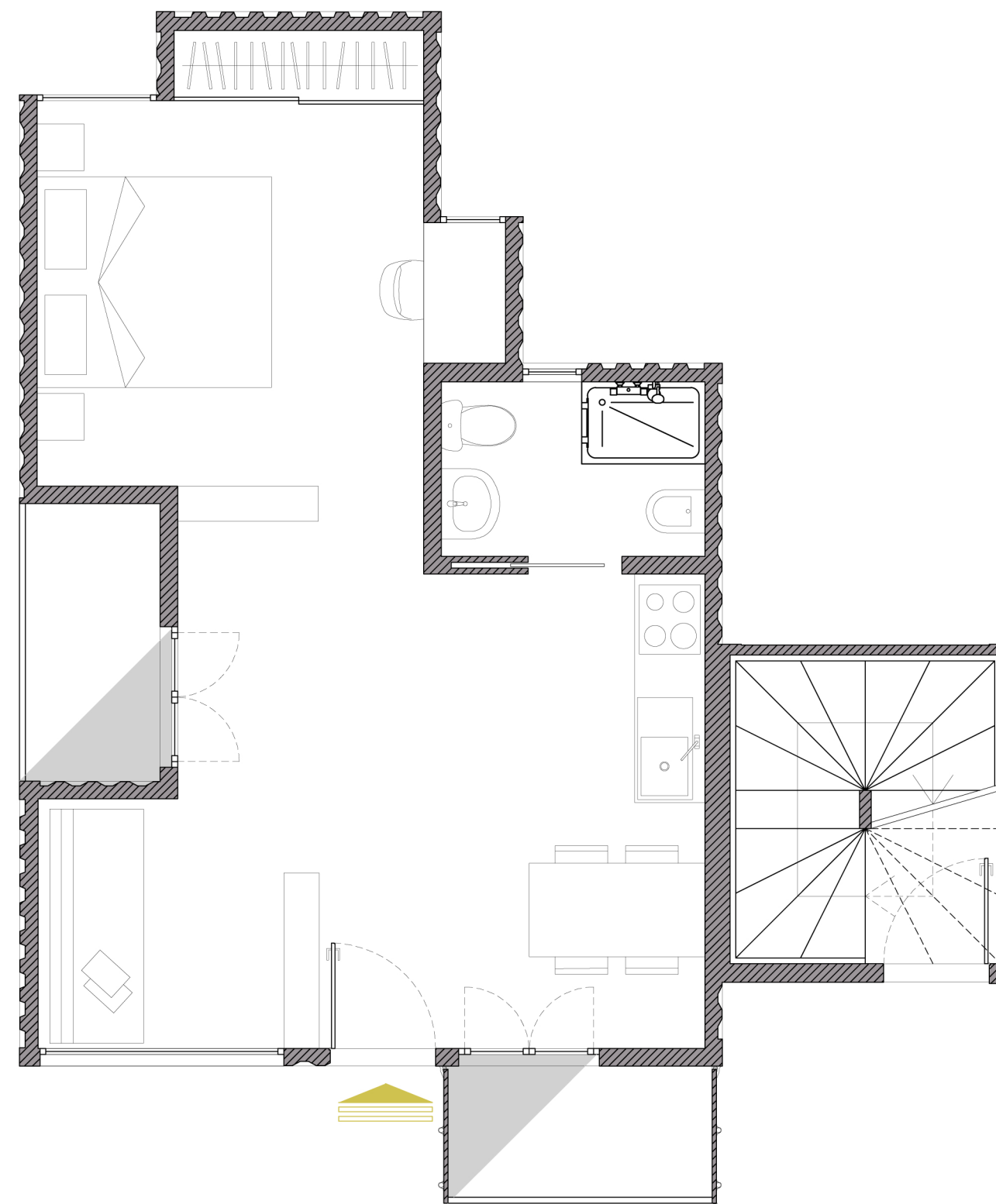
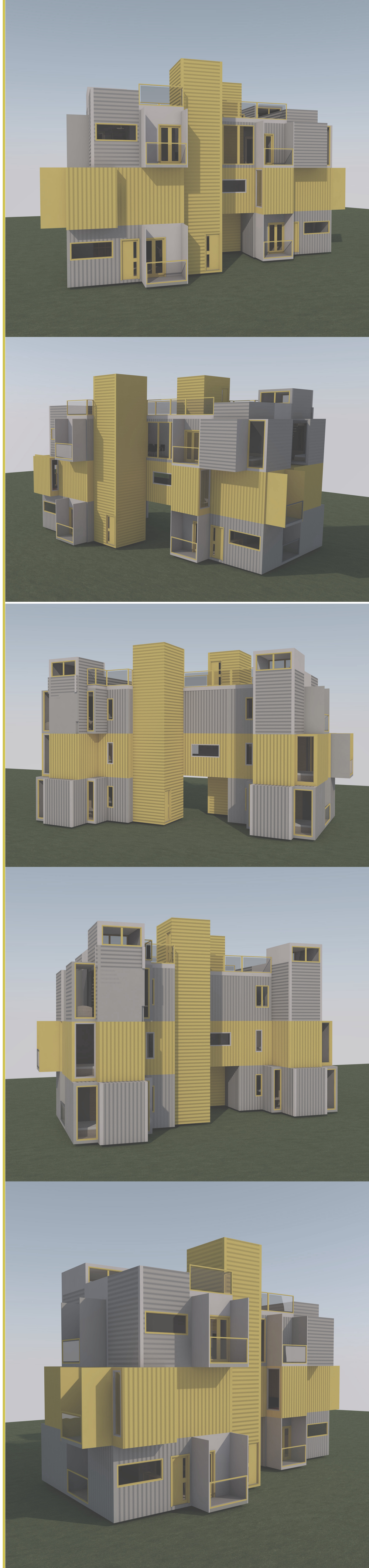


## UNITÀ ABITATIVA 5

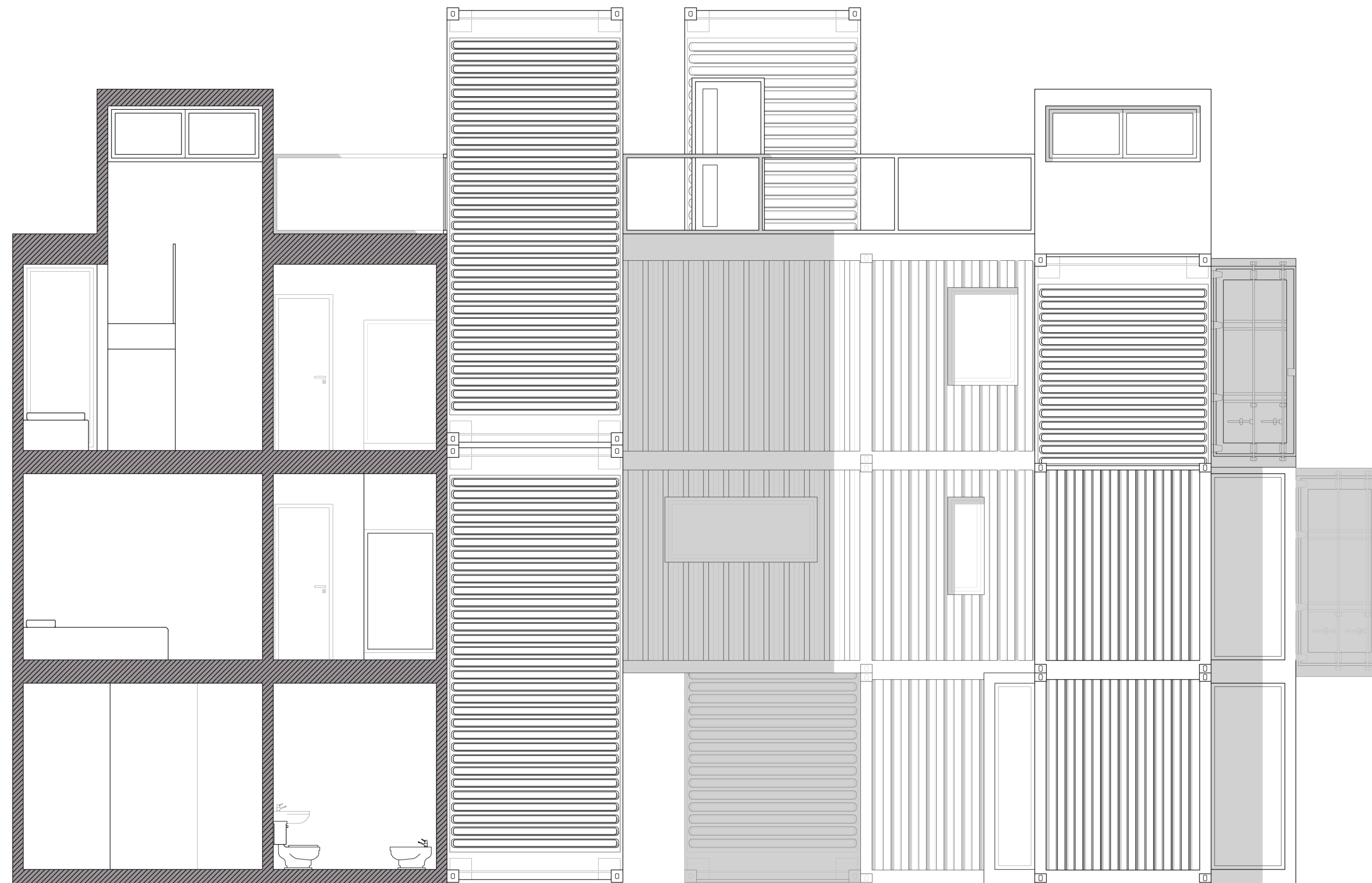
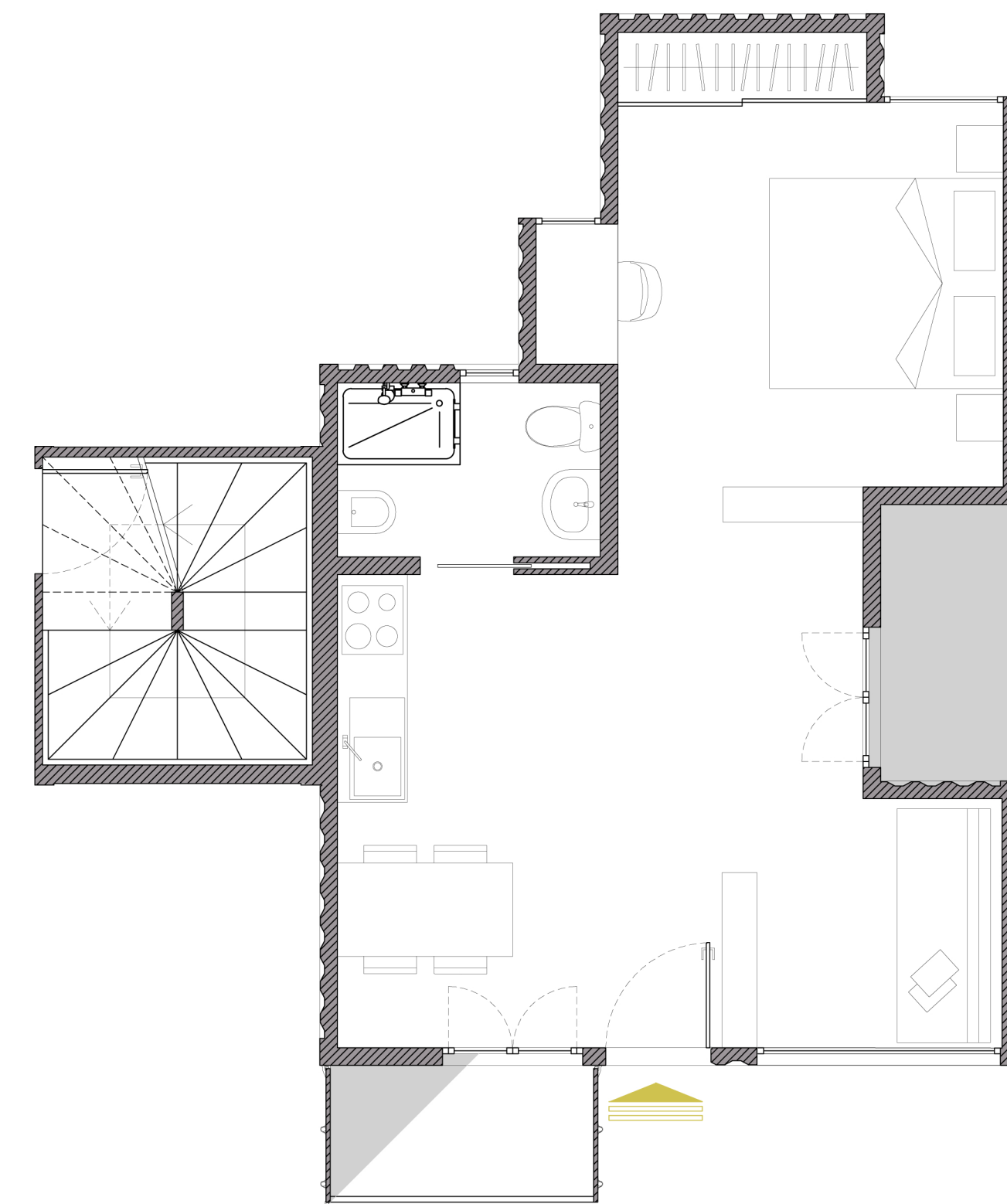


Componenti:  
 DIECI CONTAINER INTERI POSTI  
 ORIZZONTALMENTE  
 QUATTRO CONTAINER INTERI POSTI  
 VERTICALMENTE  
 SETTE CONTAINER TAGLIATI E  
 RIASSEMBLATI ORIZZONTALMENTE E  
 VERTICALMENTE

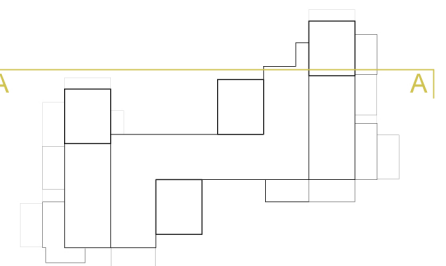
Metodologia di assemblaggio:  
 TAGLIO A1  
 TAGLIO A2  
 TAGLIO B  
 USO PORTE CONTAINER COME PARETI



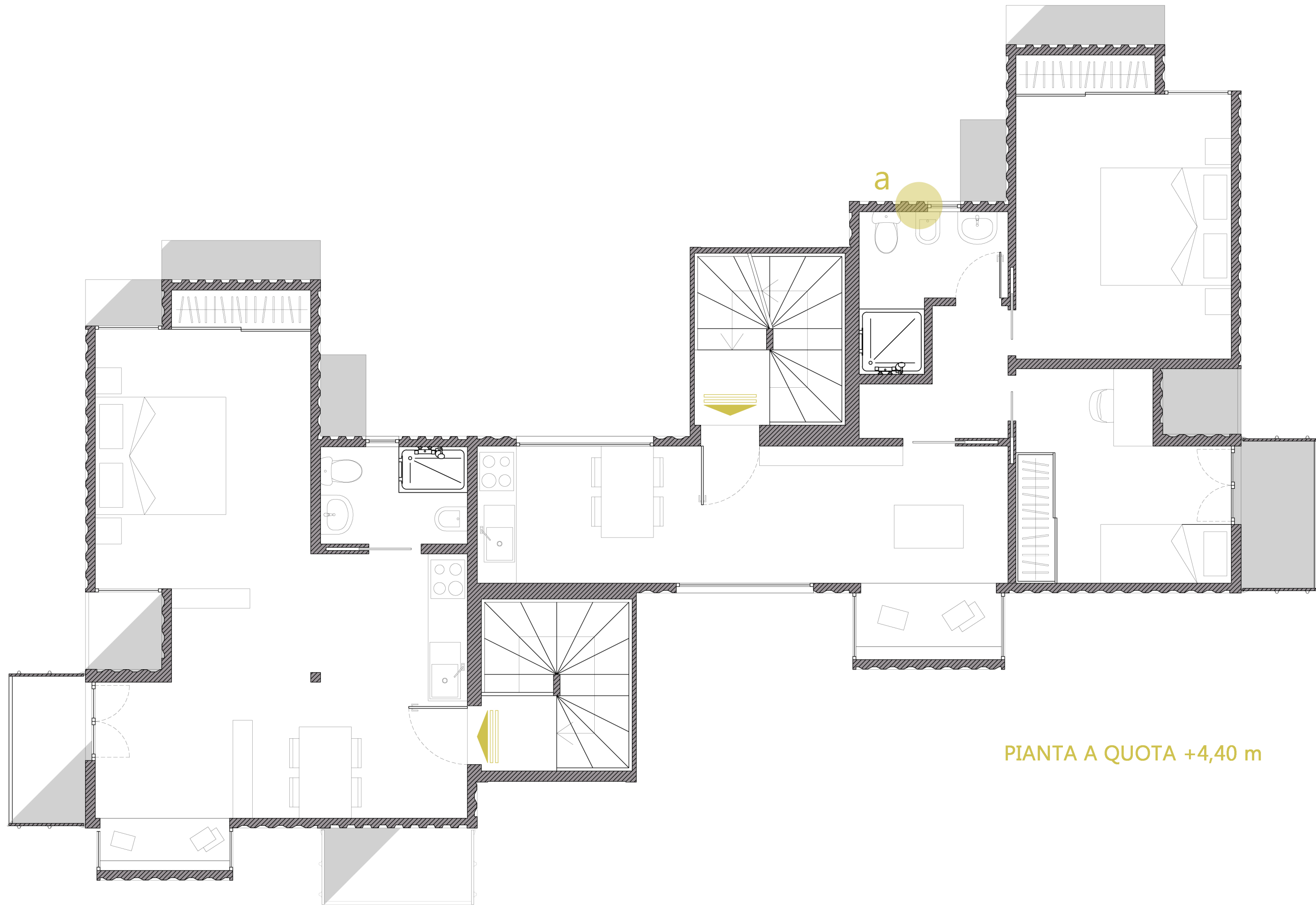
PIANTA A QUOTA +2,00 m



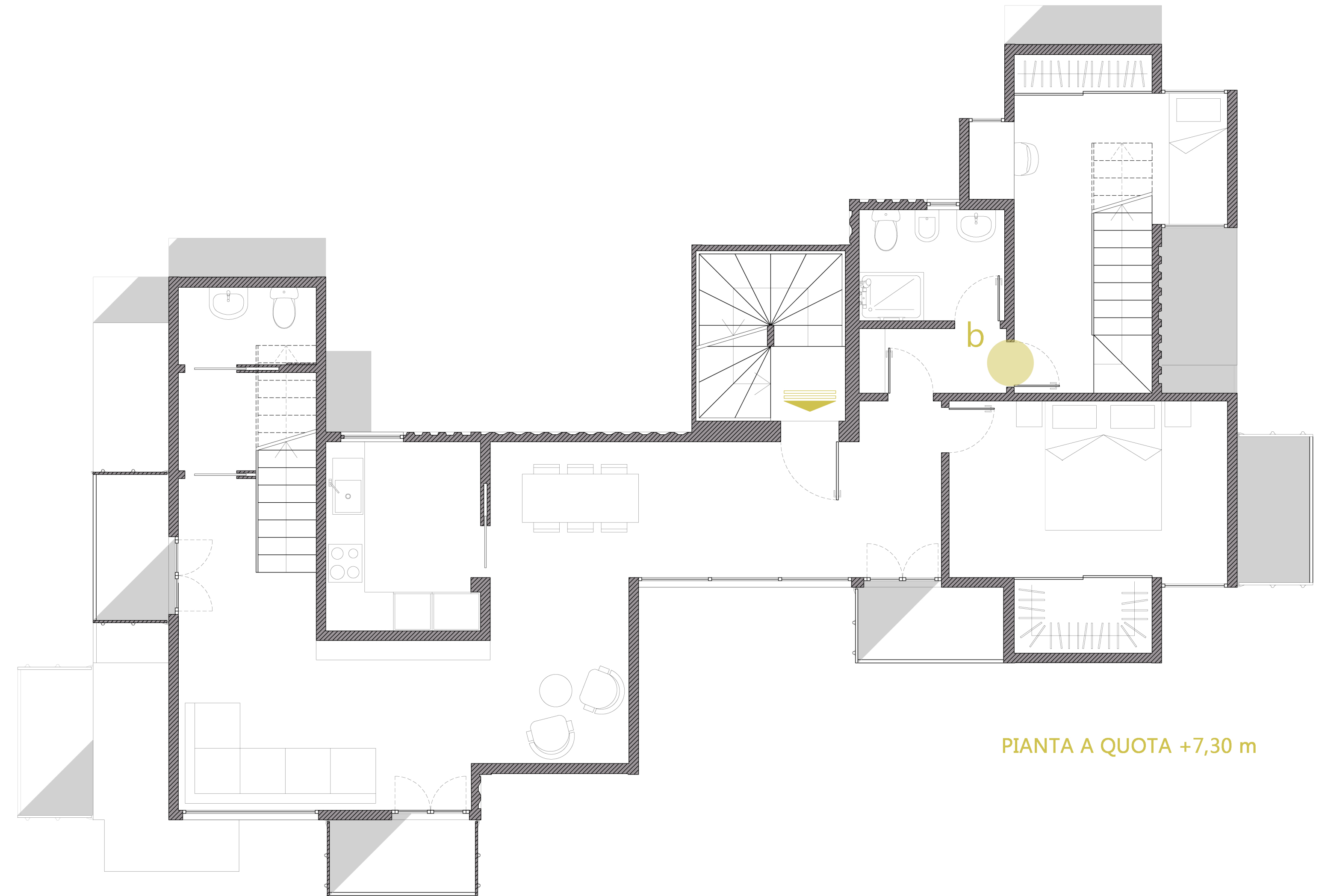
SEZIONE AA



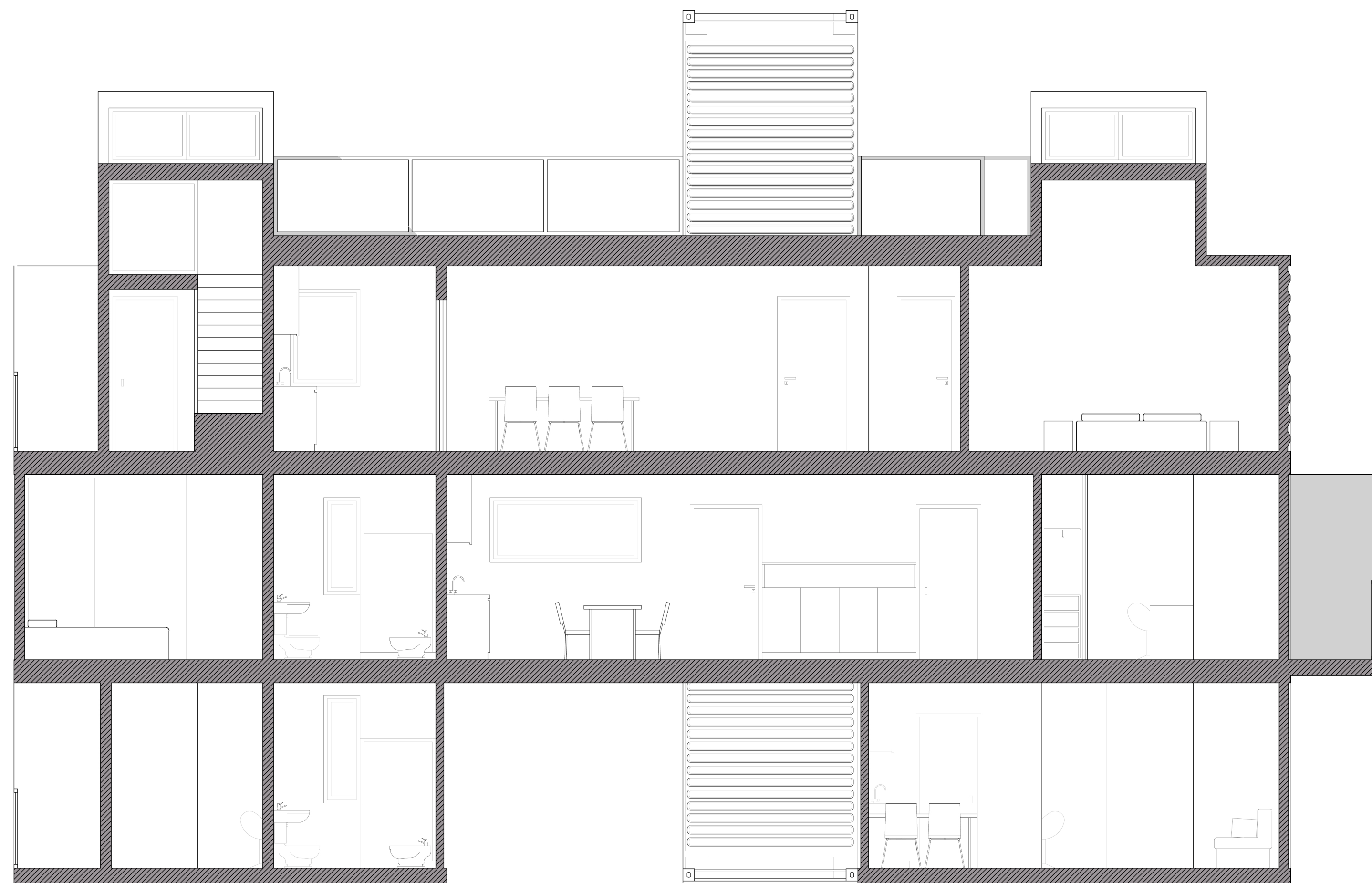




PIANTA A QUOTA +4,40 m



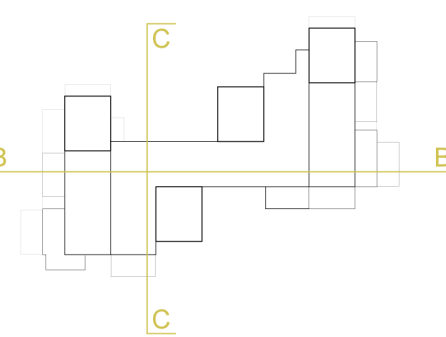
PIANTA A QUOTA +7,30 m



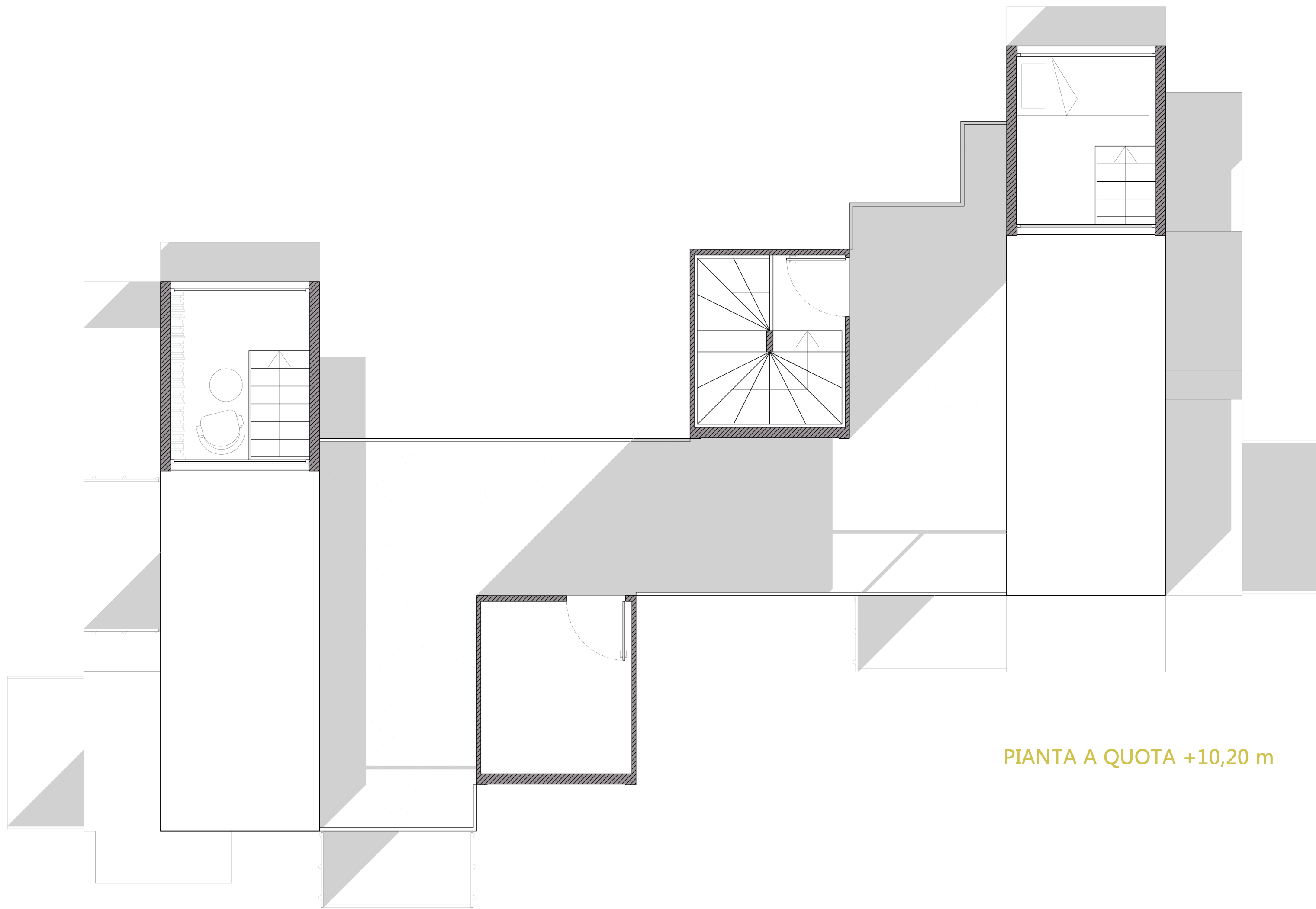
SEZIONE BB



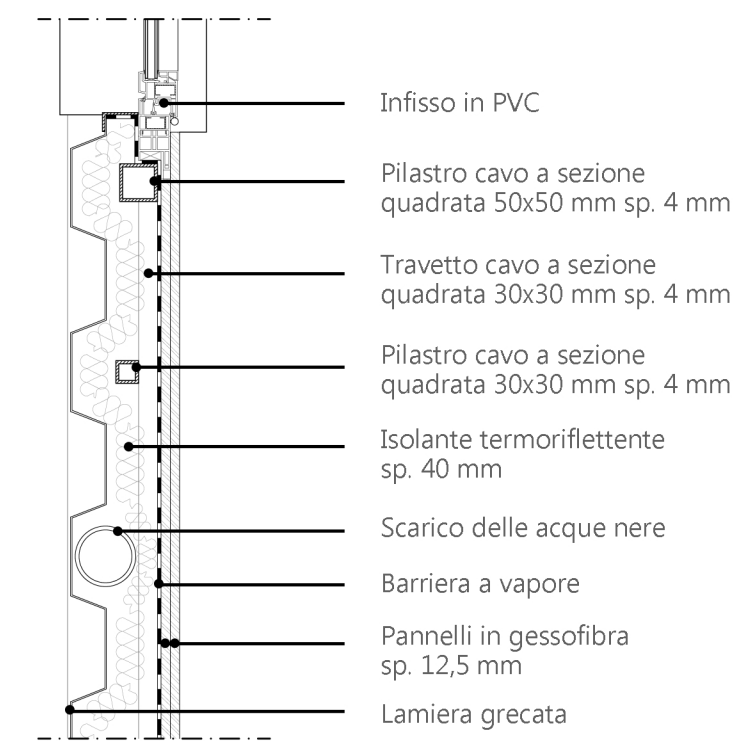
SEZIONE CC



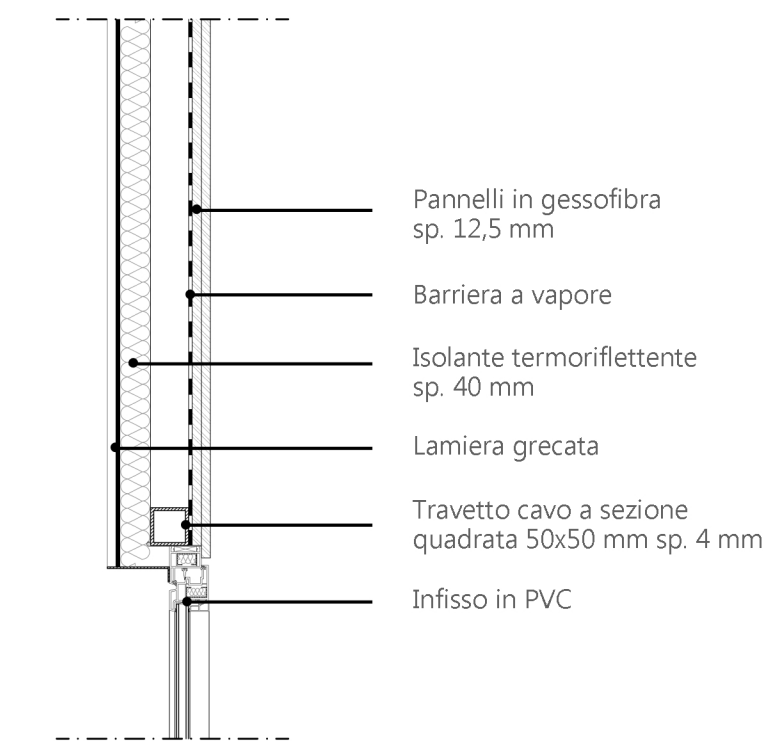




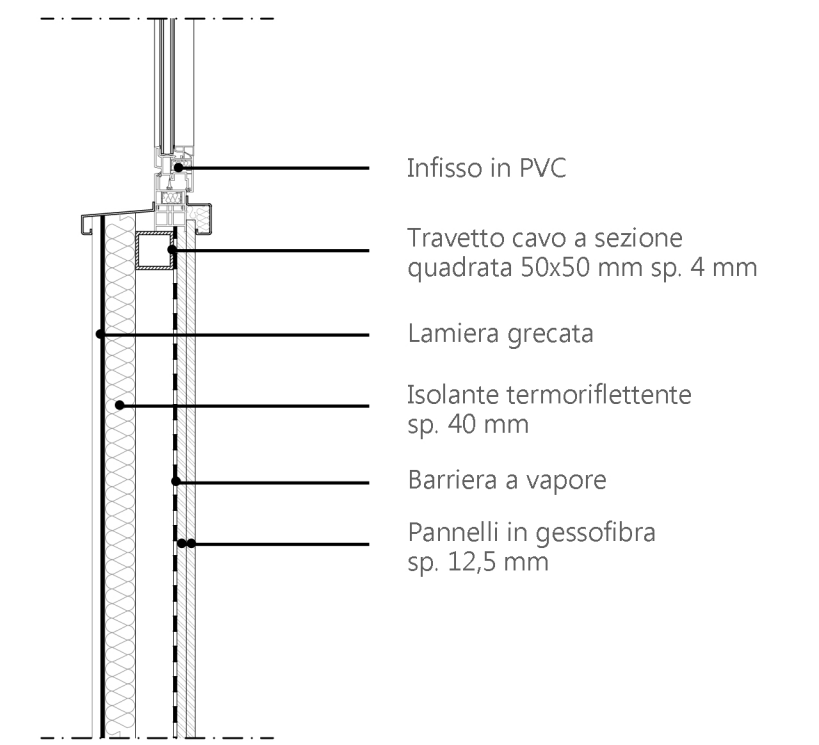
PIANTA A QUOTA +10,20 m



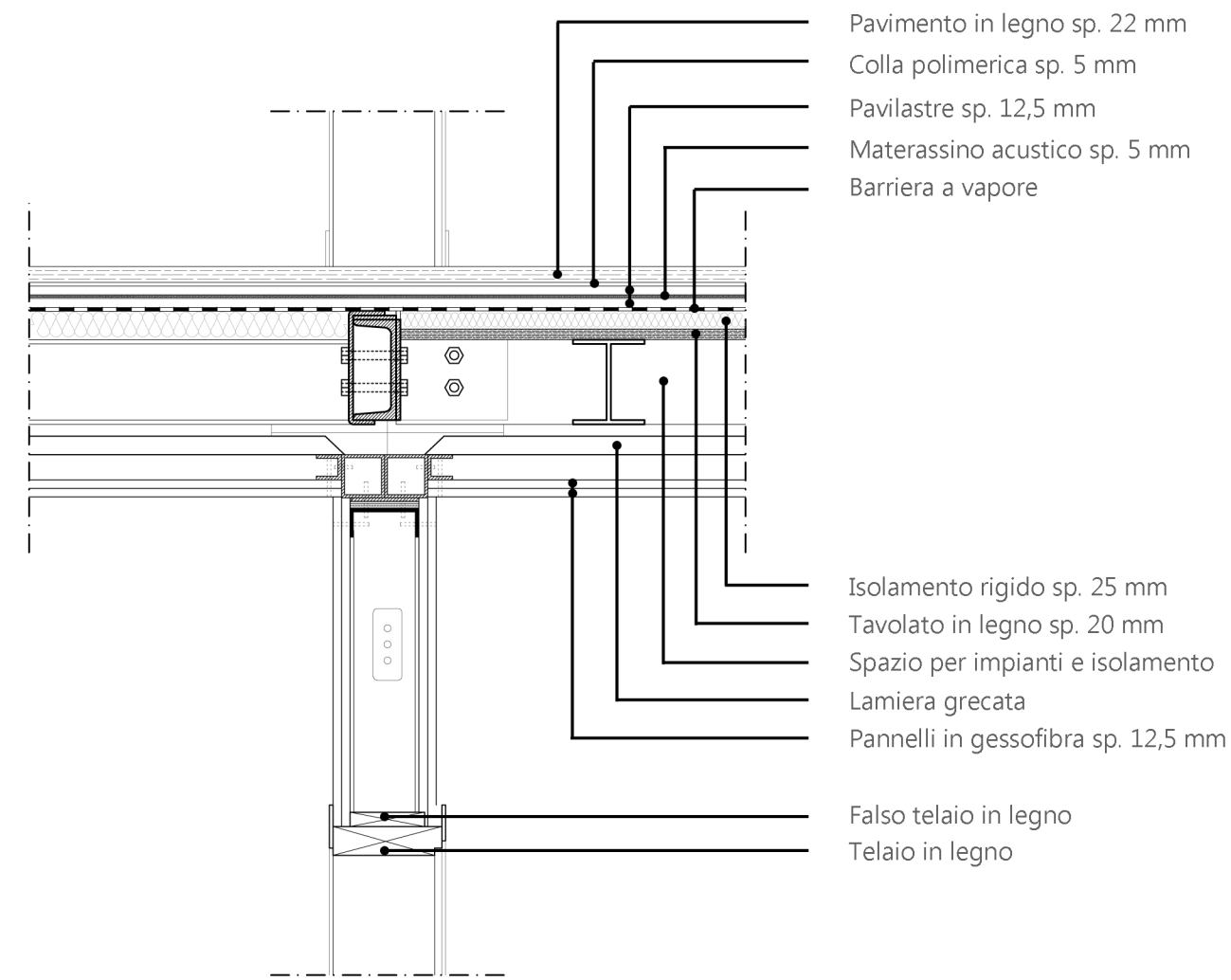
PIANTA SEZIONATA\_Nodo a



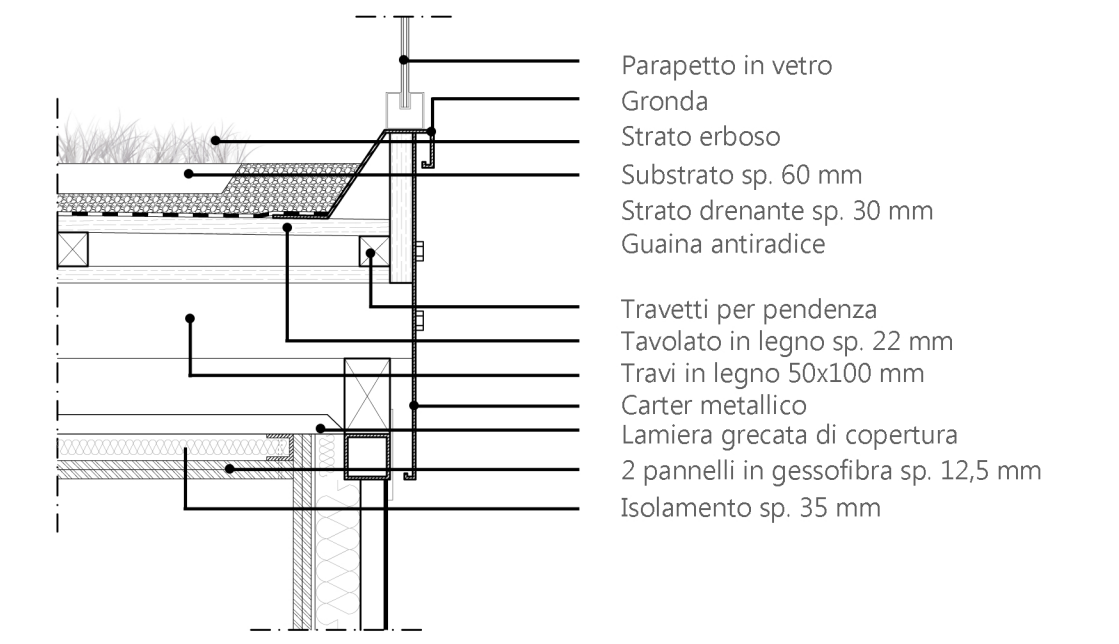
SEZIONE VERTICALE\_Nodo a



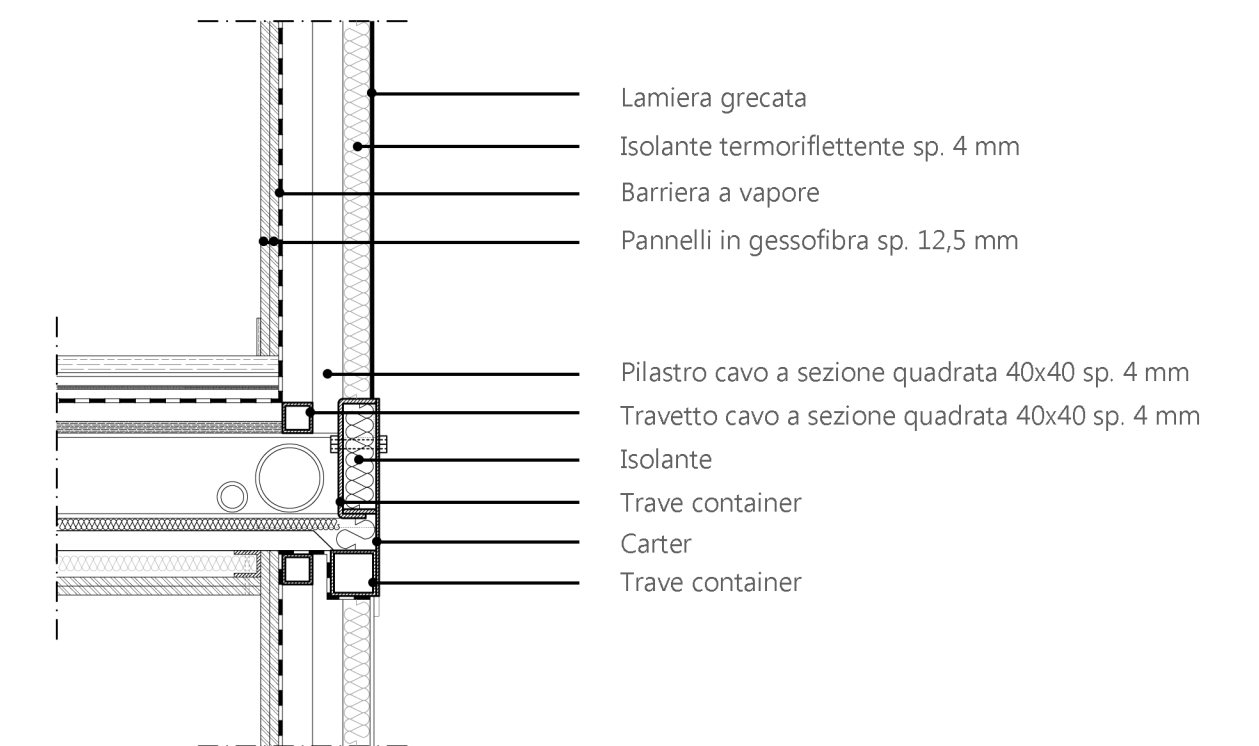
SEZIONE VERTICALE\_Nodo a



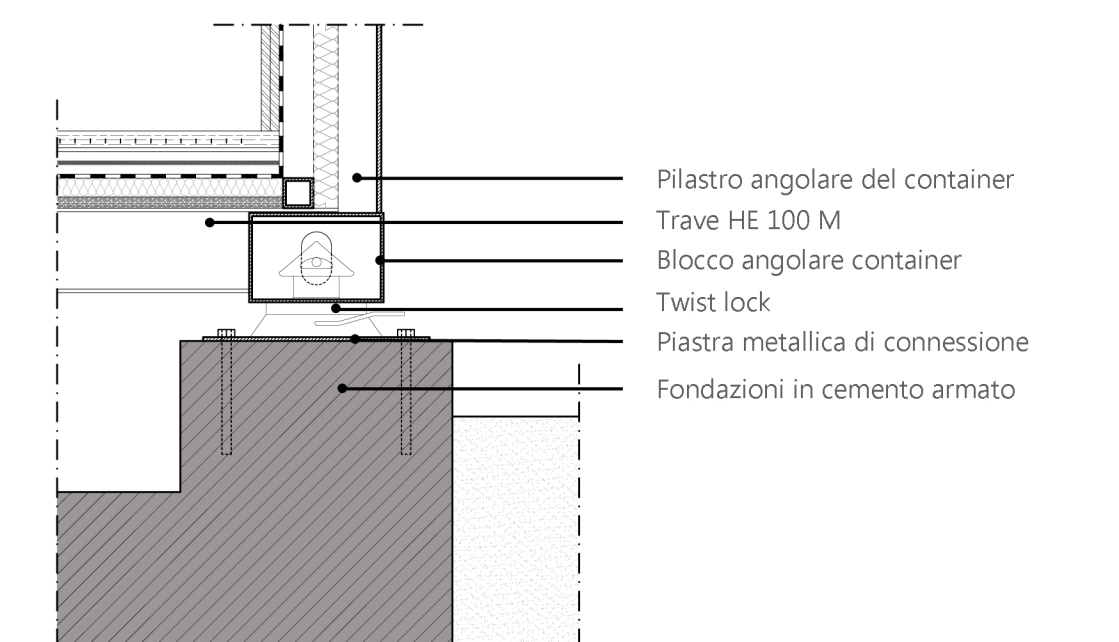
SEZIONE VERTICALE\_Nodo b



SEZIONE VERTICALE\_Nodo c



SEZIONE VERTICALE\_Nodo d



SEZIONE VERTICALE\_Nodo e



SEZIONE DD



SEZIONE EE

