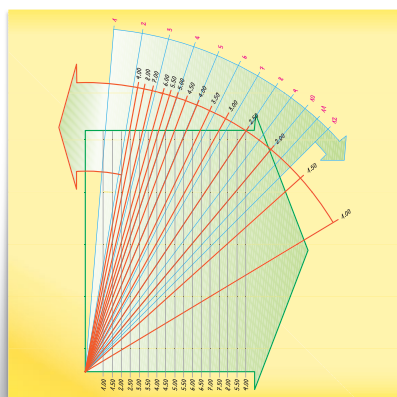


Gianni Michele De Gaetanis

PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

ACCIAIO, MURATURA, LEGNO E CEMENTO ARMATO

- Lettura architettonica degli elementi e dell'organismo edilizio
- Lettura strutturale dell'organismo edilizio
- Criteri e metodi del predimensionamento
- Dettagli dal progetto architettonico
- Prospetti e tabelle
- Esempi applicativi: strutture monopiano e multipiano di calcestruzzo, strutture di muratura, strutture d'acciaio



SOFTWARE INCLUSO

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),
Test iniziale (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



GRAFILL

INDICE GENERALE

Prefazione	p.	1
Indice analitico	"	3
Elenco dei simboli	"	5

LETTURA ARCHITETTONICA DEGLI ELEMENTI

E DELLO ORGANISMO EDILIZIO	"	7
Introduzione	"	9
Convenzioni grafiche	"	9
Formati standard	"	9
Linee e loro spessori	"	10
Squadratura, organizzazione dello spazio del foglio e cartiglio	"	13
Zona per il disegno	"	16
Zona per il testo	"	16
Zona per le iscrizioni (cartiglio)	"	17
Frontespizio e formati non standard	"	18
Piegatura	"	20
Campiture	"	20
Scale di rappresentazione	"	22
Colori normati	"	22
Elementi verticali	"	23
Orizzontamenti, solai e coperture	"	24
Scale e rampe	"	24
Scale	"	24
Rampe	"	27
Porte e finestre	"	28
Aperture, fori e incassi	"	30
Riferimenti normativi e bibliografici	"	31

LETTURA STRUTTURALE

DELL'ORGANISMO EDILIZIO	"	33
Introduzione	"	34
Generalità	"	35
Regolarità in pianta	"	35
Regolarità in altezza	"	36
Duttilità	"	36
Tipologie strutturali	"	37
Strutture di calcestruzzo armato	"	38
Strutture di muratura	"	44
Strutture di acciaio	"	47
Strutture di legno	"	50
Riferimenti normativi e bibliografici	"	52

CRITERI E METODI

DEL PREDIMENSIONAMENTO	p.	53
Introduzione: modellazione strutturale e meccanismi resistenti	"	55
Solai	"	57
Tipologie	"	57
Solai di legno	"	58
Solai di ferro	"	58
Solai laterocementizi	"	59
Solai di calcestruzzo armato	"	60
Strutture di calcestruzzo	"	60
Travi	"	60
Tipologie	"	60
Predimensionamento geometrico	"	62
Predimensionamento meccanico	"	63
Pilastrini	"	64
Tipologie	"	64
Predimensionamento geometrico	"	65
Predimensionamento meccanico	"	66
Pareti	"	67
Generalità	"	67
Predimensionamento geometrico	"	67
Predimensionamento meccanico	"	68
Strutture di muratura	"	68
Generalità	"	68
Predimensionamento meccanico	"	69
Strutture di acciaio	"	70
Generalità	"	70
Travi	"	70
Pilastrini	"	70
Strutture di legno	"	71
Generalità	"	71
Travi	"	71
Pilastrini	"	71
Opere di fondazione	"	71
Plinti	"	72
Predimensionamento geometrico	"	72
Predimensionamento meccanico	"	72
Travi rovesce	"	73
Predimensionamento geometrico	"	73
Predimensionamento meccanico	"	73
Riferimenti normativi e bibliografici	"	75

DETTAGLI DAL PROGETTO ARCHITETTONICO:

CENNI	"	77
Introduzione	"	79
Dettagli pre-esecutivo	"	79
Coperture, orizzontamenti e vespai	"	81

Strutture verticali.....	p.	82
Strutture sospese	"	82
Incidenza degli impianti tecnologici	"	82
PROSPETTI E TABELLE	"	85
Introduzione.....	"	87
Solai.....	"	87
Elementi di calcestruzzo armato.....	"	88
Travi	"	88
Pilastrini.....	"	93
Pareti	"	97
Maschi murari	"	98
Strutture di acciaio.....	"	99
Strutture di legno	"	102
Opere di fondazione	"	102
Plinti.....	"	102
Travi rovesce	"	102
ESEMPI APPLICATIVI.....	"	105
Introduzione.....	"	107
Step del pre-dimensionamento	"	107
Livelli	"	108
Fili fissi.....	"	109
Esempio 1: struttura monopiano di calcestruzzo.....	"	110
Esempio 2: struttura multipiano di calcestruzzo	"	133
Esempio 3: struttura di muratura	"	162
Esempio 4: struttura di acciaio	"	179
INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	181
Note sul software incluso.....	"	183
Requisiti hardware e software	"	183
Download del software		
e richiesta della password di attivazione	"	183
Installazione ed attivazione del software	"	183

Il predimensionamento delle strutture è una delle attività di progettazione meno considerate se non, in alcuni casi, del tutto trascurata ed omessa.

Solo pochi decenni fa, prima nell'era del regolo calcolatore e, dopo, in quella della calcolatrice scientifica, i tempi di calcolo erano decisamente più lunghi e il progettista doveva, già in fase di predimensionamento, fare le scelte giuste: il rischio era quello di sprecare tempo inutile in calcoli non adeguati.

Oggi giorno, lo sviluppo dei calcolatori e la versatilità dei programmi di calcolo strutturale consentono, nel giro di poche decine di minuti, la progettazione di strutture e/o la loro modifica senza grandi incombenze procedurali nell'inserimento dei dati di progetto.

Ciò si traduce nel fatto che se una struttura non soddisfa i criteri di norma la si può modificare, negli elementi non idonei, e in poco tempo rifare il calcolo e le nuove verifiche.

Questa possibilità, di fatto, non è esente da errori di concezione strutturale e i software non sono in grado di evidenziarli in modo efficace e del tutto compiuto.

Il predimensionamento, quindi, assume un ruolo fondamentale nelle prime scelte strutturali e soprattutto nel definirle in modo coerente e staticamente adeguato.

Il predimensionamento, facendo riferimento a parametri prettamente geometrici e trascurando alcuni elementi che potrebbero avere un certo peso, in ogni caso, richiede che il progettista abbia adeguate conoscenze di base sulla meccanica strutturale.

È ovvio che, trattandosi di specificare le strutture in prima approssimazione, deve essere chiaro che si tratta di una delle possibili soluzioni strutturali e che non è da escludere che potrebbe essere necessario modificare, in fase di calcolo esecutivo, alcune delle scelte operate nel predimensionamento.

Si può quindi concludere che il predimensionamento, pur richiedendo compiute conoscenze di base sul funzionamento delle strutture e la loro meccanica, è una fase che viene svolta solo tramite un approccio geometrico e richiama molto marginalmente, se non le esclude, le proprietà meccaniche di materiali e terreno di fondazione.

Settembre 2015

A		
Aperture, fori e incassi	p.	30
C		
Campiture	"	20
Cartiglio	"	17
Colori normati	"	22
Convenzioni grafiche	"	9
Coperture	"	81
D		
Dettagli pre-esecutivo	"	79
Duttilità	"	36
E		
Elementi verticali	"	23
F		
Finestre	"	28
Formati standard	"	9
Formati non standard	"	18
Frontespizio	"	18
I		
Incidenza degli impianti tecnologici	"	82
L		
Linee	"	10
M		
Meccanismi resistenti	"	55
Modellazione strutturale	"	55
O		
Opere di fondazione	"	71
Orizzontamenti	"	24
P		
Pareti	"	67
Piegatura	"	20
Pilastrì di acciaio	"	70
Pilastrì di calcestruzzo	"	64
Pilastrì di legno	"	71
Plinti	"	72
Porte	"	28
R		
Rampe	"	27

PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Regolarità in altezza	p.	36
Regolarità in pianta	"	35

S

Scale di rappresentazione	"	22
Scale	"	24
Solai di calcestruzzo armato	"	60
Solai di ferro	"	58
Solai di legno	"	58
Solai laterocementizi	"	59
Spessori delle linee	"	10
Squadratura	"	13
Strutture di acciaio	"	70
Strutture di calcestruzzo armato	"	60
Strutture di legno	"	71
Strutture di muratura	"	68
Strutture sospese	"	82
Strutture verticali	"	82

T

Tipologie strutturali	"	37
Travi rovesce	"	73
Travi di calcestruzzo	"	60
Travi di acciaio	"	70
Travi di legno	"	71

V

Vespai	"	81
--------------	---	----

Z

Zona per il disegno	"	16
Zona per il testo	"	16
Zona per le iscrizioni	"	17

Φ	Coefficiente di riduzione della resistenza di una muratura
γ_d	Peso specifico di progetto di una muratura
φ	Fattore di aumento delle murature
λ	Snellezza di una muratura
σ_c	Tensione di compressione nel calcestruzzo
ξ	Fattore di fondazione
A	Area trasversale di un maschio murario
B	<ul style="list-style-type: none">• Dimensione di base di una trave a spessore di calcestruzzo• Dimensione di base di una trave di legno
b	Dimensione di base di una trave scalata di calcestruzzo
b_c	Dimensione di base di un pilastro di calcestruzzo
B_p	Dimensione di base di un plinto di calcestruzzo
b_p	Dimensione di base di una parete di calcestruzzo
D_f	Dimensione trasversale minima della base dell'opera di fondazione
D_p	Dimensione di un elemento strutturale (suscettibile di essere calcolata in relazione a valori specifici della grandezza ℓ)
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo
f_{ck}	Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo
f_d	Resistenza di calcolo a compressione di una muratura
H	<ul style="list-style-type: none">• Altezza di una trave di calcestruzzo• Altezza di una trave di legno
h	Altezza di un maschio murario
h_c	Dimensione dell'altezza di un pilastro di calcestruzzo
h_{li}	Altezza di interpiano di una parete di calcestruzzo
H_{pf}	Profondità media dall'opera di fondazione rispetto al piano campagna
H_S	Altezza totale di un solaio
L	<ul style="list-style-type: none">• Luce di un elemento strutturale• Campata di un solaio Luce di una trave
L_{\perp}	Luce di un elemento strutturale misurata in direzione perpendicolare a L

PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

l	Lunghezza di un maschio murario
ℓ	Generica lunghezza di un elemento strutturale (susceptibile di assumere valori specifici in relazione al calcolo di una specifica dimensione)
L_p	Dimensione in lunghezza di un plinto di calcestruzzo
l_p	Lunghezza di una parete di calcestruzzo
L_{tot}	Lunghezza totale di un elemento strutturale
L_x	Dimensione dell'area di influenza di un pilastro lungo la direzione X
L_y	Dimensione dell'area di influenza di un pilastro lungo la direzione Y
m	Momento adimensionalizzato
M	Momento flettente
n	Identificativo di un livello
N_d	Azione normale di progetto
n_t	Numero totale di livelli di una struttura
Q	Carico (di progetto) uniformemente distribuito per unità di lunghezza
q_d	Carico di progetto uniformemente distribuito per unità di superficie
R_d	Resistenza di progetto di un terreno
S	Spessore della soletta di un solaio
s	Spessore di un maschio murario
S_{min}	<ul style="list-style-type: none">• Spessore minimo di un maschio murario• Distanza fra il bordo di un pilastro e il bordo dell'opera di fondazione

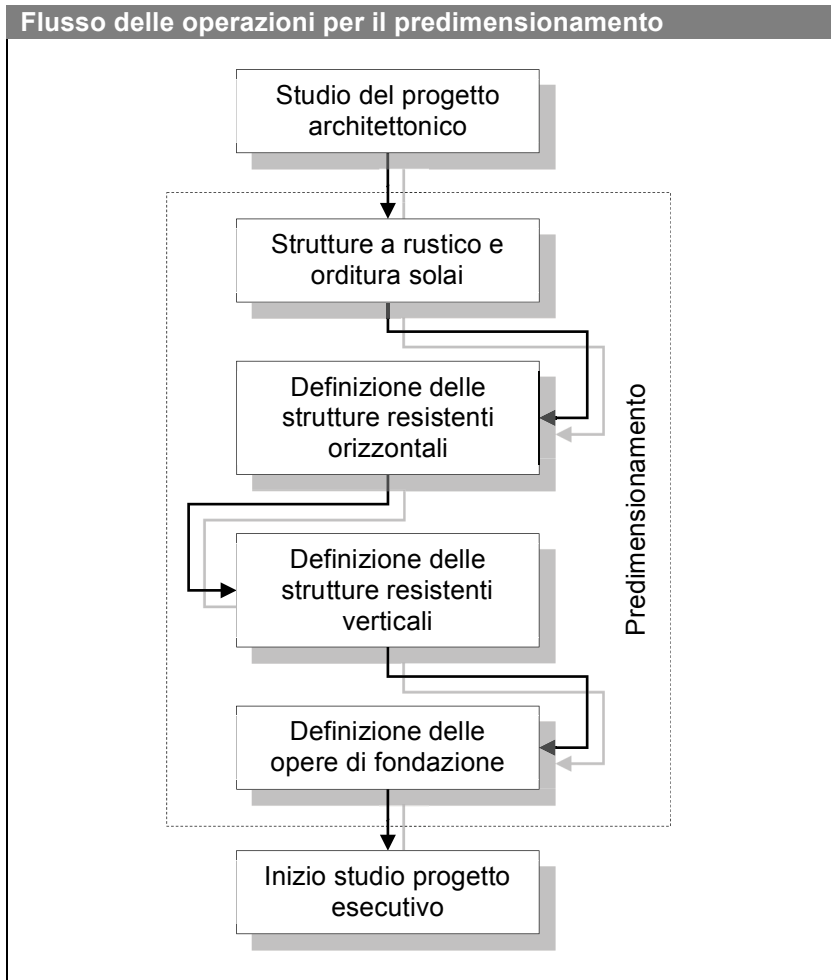
ESEMPI APPLICATIVI

Preliminarmente a qualunque operazione di progettazione è necessario definire alcune operazioni.

Tali operazioni rientrano in una procedura standardizzata funzionale alla razionale gestione del progetto dalla sua concezione fino alla realizzazione pratica.

Si può considerare il flusso logico delle operazioni di seguito riportato:

Introduzione
Step del
predimensionamento



Il primo passo dello studio, in termini di predimensionamento, consiste nella definizione dell'orientamento dei solai o delle strutture orizzontali.

La direzione di orditura determina l'appoggio di scarico del solaio medesimo: è palese, quindi, che tale scelta ha importanti conseguenze sulle strutture sia orizzontali che verticali.

Quale che possa essere il criterio di studio ed analisi del solaio, la cui modellazione è a trave continua, i momenti sono relazionati alle luci, campate, del solaio.

È evidente, quindi, che minori risultano essere le luci del solaio, minore è lo stato sollecitativo: ciò si traduce nella necessità di ordire il solaio secondo tale condizione geometrica.

Tale indicazione di massima, come premesso, deve tuttavia essere relazionata alle strutture resistenti orizzontali e verticali in quanto in talune situazioni, la ricerca del minore stato di cimento del solaio può risultare più gravosa per gli altri elementi resistenti.

Quindi, pur adottando quanto riportato quale criterio generale, è necessario verificare, a-posteriori, che non si siano aggravati sollecitati sulle rimanenti strutture resistenti, sia orizzontali che verticali.

Definito il solaio, il passo successivo è la definizione delle strutture resistenti orizzontali, includendovi le eventuali travi o solette inclinate di collegamento fra piani consecutivi.

La definizione degli elementi strutturali orizzontali è condotta identificando quello che è l'asse dell'elemento stesso.

Il tracciamento delle travi, nelle direzioni in cui la struttura è sviluppata e funzionalmente agli appoggi del solaio, consente di delineare un reticolo.

Tale reticolo, quindi, oltre a definire il sistema di elementi resistenti orizzontali o inclinati, fornisce informazioni su quelli che devono essere gli elementi resistenti verticali.

Gli elementi verticali possono essere sia puntuali che lineari: ossia si può trattare sia di pilastri che di pareti o maschi murari.

Come si chiarirà nel seguito, il reticolo e le sue intersezioni, senza escludere che alcuni elementi resistenti verticali possano essere ubicati anche fuori dalle intersezioni reticolari, definisce un insieme di livelli-fili che, negli attuali strumenti di calcolo, sono alla base dell'inserimento della struttura.

In corrispondenza, infine, degli elementi resistenti verticali si definisce il complesso delle opere di fondazione.

Livelli I livelli di una struttura, ossia degli impalcati della stessa, indicano quello che è lo sviluppo in senso verticale di un edificio.

Il termine di livello non ha, in genere, una indicazione ampia ma è ristretto a specifiche quote della struttura.

Infatti, con il termine livello si suole indicare, ordinariamente, l'orizzontamento che, nella modellazione strutturale, concorre fornendo un centro di massa, e conseguentemente una eccentricità, in termini di analisi sismica.

Un livello, dal punto di vista della rappresentazione geometrica, è un piano: tuttavia il livello è utilizzato per rappresentare una struttura che, in alcune circostanze, potrebbe non essere possibile riguardare come piana.

È ovvio che si tratta di una schematizzazione ingegneristica. Un semplice esempio per tutti, senza che ciò sia riduttivo del problema: un solaio, pur avendo uno spessore di gran lunga inferiore delle dimensioni in pianta, in ogni caso, non è un piano ma una struttura tridimensionale.

Tuttavia, l'elemento di riferimento è costituito dal livello, ossia da un piano. Quindi, rispetto alla struttura tridimensionale che si tra descrivendo, il livello dove si colloca?

Questa informazione è puramente convenzionale e deve essere esplicitata dal progettista: sovente tale scelta è condizionata dagli strumenti di calcolo utilizzati in fase propriamente esecutiva.

In altri termini, il livello può rappresentare il piano medio di un solaio, il suo estradosso, l'intradosso, ecc. Ordinariamente, con il termine livello si indica l'estradosso di un orizzontamento/impalcato ma anche il piano dello spessore medio del solaio.

Un modo poco ortodosso di identificare un livello è quello di considerarlo coincidente con ogni piano della struttura escludendo, tuttavia, che gli interpiani oppure i dislivelli di travi inclinate, ecc., siano considerati tali, ossia livelli.

Nell'analisi di una struttura e nella impostazione del progetto esecutivo, sin dalle prime fasi del predimensionamento, è necessario identificare quelli che sono gli allineamenti degli elementi strutturali.

In buona sostanza, si tratta di definire i riferimenti costanti delle strutture portanti ai vari livelli. Nella pratica professionale, tali riferimenti costanti sono indicati quali fili fissi.

Un filo fisso, quindi, è definito dalla intersezione di due piani (verticali) descrittivi specifiche superfici di riferimento di un elemento strutturale: di fatto si tratta della traccia dei piani, ossia della retta definita dall'intersezione dei piani in questione.

La caratteristica fondamentale dei fili fissi è la immutabilità della loro posizione per tutta l'altezza della struttura.

L'uso dei fili fissi, unitamente ai livelli, consente la definizione di una griglia di riferimento per gli elementi strutturali: in questi termini, non solo è possibile una semplice ed immediata identificazione della disposizione delle struttura ma si possono evitare errori posizionando elementi in falso o fuori filo.

Ordinariamente, gli strumenti di calcolo identificano quali fili fissi i baricentri degli elementi strutturali verticali, consentendo la possibilità di introdurre disassamenti: tali elementi sono indicati, nel presente testo, quali fili strutturali.

I fili fissi, inoltre, portano a definire il complesso degli ingombri spaziali entro i quali sono contenuti gli elementi strutturali.

Relativamente alla numerazione, ordinariamente si utilizza una numerazione in senso orario ma non è una regola fissa: l'unica raccomandazione è seguire un criterio, quale esso sia, e non sistemare la numerazione in ordine sparso e senza logica.

Fili fissi

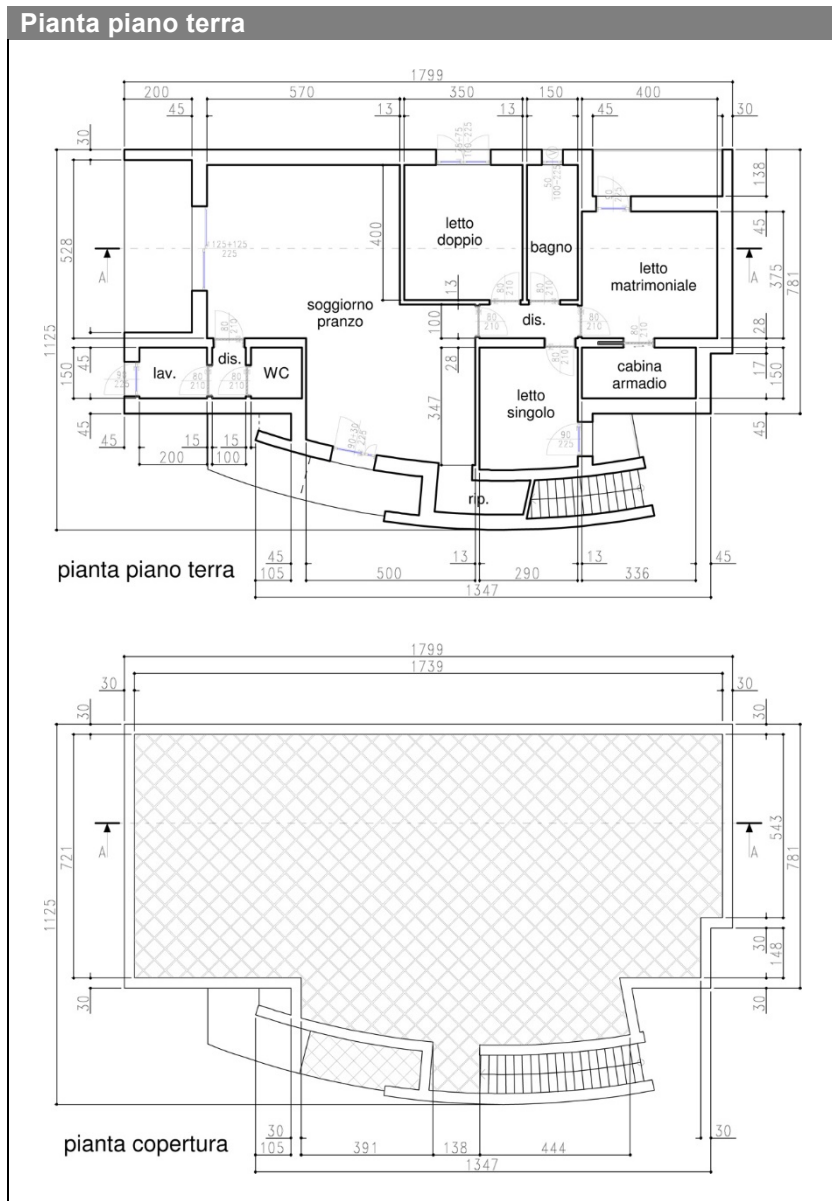
PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Esempio 1: struttura monopiano di calcestruzzo

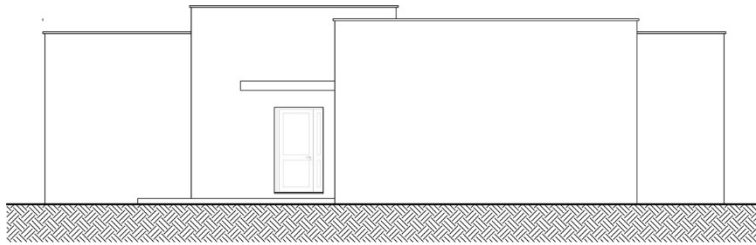
Si esegua il predimensionamento della struttura monopiano riportata nelle immagini seguenti.

Si tratta di una struttura da adibire a civile abitazione strutturata per accogliere una famiglia di non più di 5 soggetti.

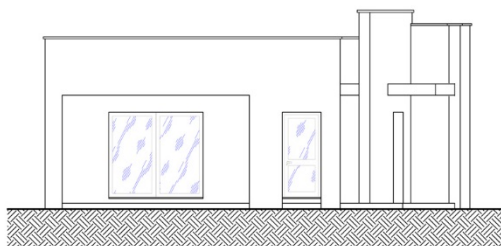
Il sito è caratterizzato da argilla compatta alla profondità di 1 m dal piano campagna.



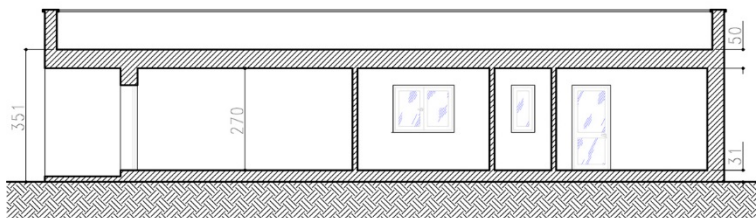
Prospetti e sezione



prospetto principale



prospetto laterale



sezione A-A

RISOLUZIONE

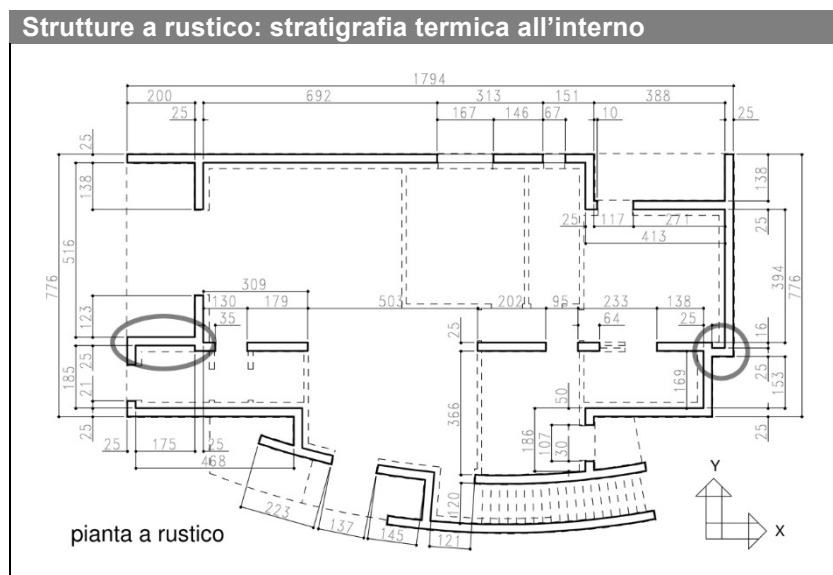
Dallo studio della composizione architettonica dell'edificio emerge una certa coerenza strutturale che suggerisce, già ad un primo approccio le soluzioni da utilizzare.

Comunque, secondo lo schema logico delineato nell'introduzione, si considerano dapprima i solai e il loro orientamento previa definizione delle strutture a rustico.

Le strutture a rustico, messo in conto la quota parte di spessore dei tamponi atta a garantire le caratteristiche termo-igrometriche, sono riportate nell'immagine seguente: per quello che è l'assetto archi-

tettonico e le verifiche per il rispetto dei parametri termici, si considerano gli elementi stratigrafici funzionali al rispetto della normativa in termini di risparmio energetico all'interno dell'edificio.

Nell'immagine seguente, il filo esterno al finito degli elementi dell'edificio è riportato tratteggiato, inclusi i tramezzi, mentre con linea continua è indicata la struttura a rustico.



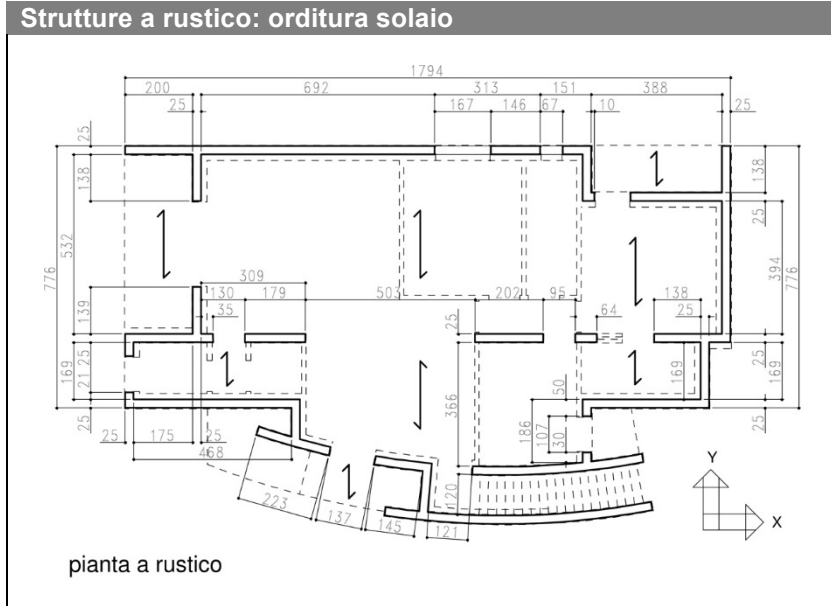
Come si può riscontrare in quanto rappresentato, dallo studio delle strutture a rustico emerge in modo chiaro e diretto che:

- l'orditura del solaio, viste le luci, dovrebbe essere fatta lungo la direzione Y;
- le strutture di spina presentano, agli estremi, disassamenti rispetto allo sviluppo longitudinale degli elementi edilizi (elementi cerchiati nell'immagine precedente);
- la scala può essere strutturata con soletta rampante e la parte superiore, inclusa la pensilina, a sbalzo.

Ciò precisato, si opta per un solaio ordito lungo la direzione Y e si definisce anche la modifica degli elementi disallineati rispetto allo sviluppo longitudinale della struttura di spina.

In buona sostanza, previa verifica della fattibilità dal punto di vista del rispetto delle caratteristiche termo-igrometriche delle strutture, per le parti in esame, si opta per disporre la stratigrafia per l'isolamento termico all'esterno dell'edificio e non all'interno.

Le strutture a rustico, quindi, divengono (inclusa rappresentazione dell'orditura del solaio):



Definito il solaio, si passa a considerare le strutture resistenti orizzontali: si tratta di definire la posizione delle travi sulle quali in solaio appoggia, ossia le travi identificate con O1, O2 e O3 nell'immagine seguente (Cfr. immagine pagina successiva).

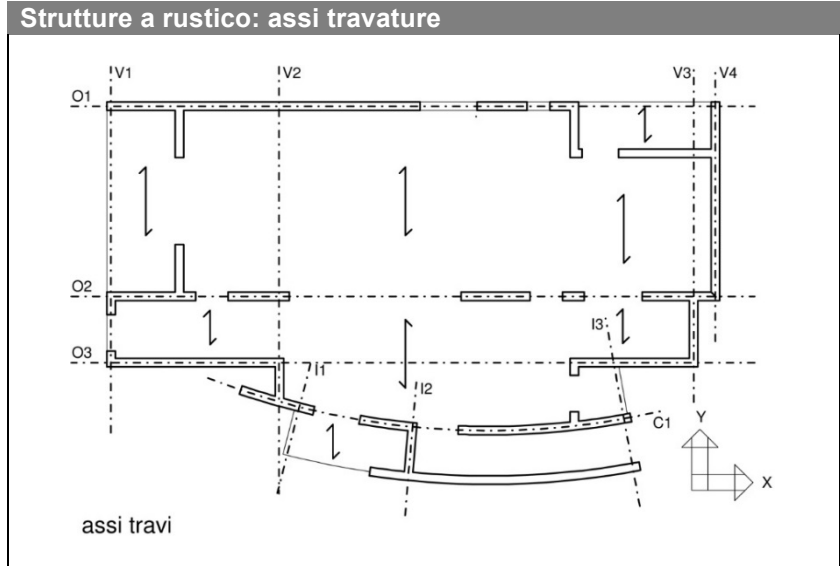
Sicuramente agli estremi del solaio è necessario considerare una travatura, sia per la parte dritta che per la parte curva, adiacente alla scala: le travature in esame sono identificate con V1, V2, V3, V4 e C1 (Cfr. immagine pagina successiva).

Relativamente all'appoggio intermedio, si considera una ulteriore travatura in corrispondenza delle strutture di spina, ossia O2 (Cfr. immagine pagina successiva).

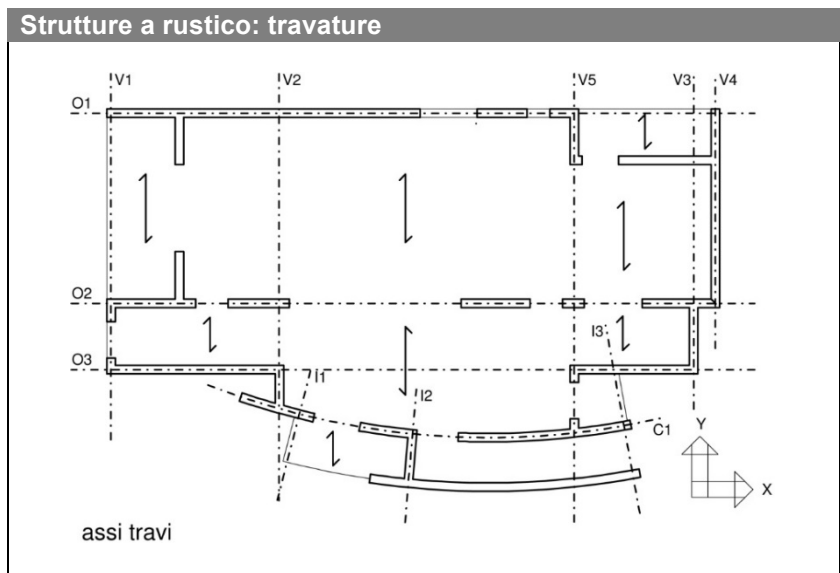
Definite le travature ortogonali all'orditura del solaio è necessario definire gli elementi resistenti orizzontali nella direzione di orditura del solaio: si tratta di elementi atti a chiudere e delimitare il solaio, in aggiunta a quelli già definiti, ossia I1, I2 e I3. Quando considerato è riportato nell'immagine seguente (Cfr. immagine pagina successiva) anche se deve intendersi quale situazione provvisoria.

Dallo studio della struttura, inoltre, è necessario considerare una ulteriore travatura in corrispondenza degli ambienti "letto matrimoniale" e "cabina armadio": tale asse è identificato con V5: anche tale nuova situazione deve intendersi quale provvisoria e da modificare ed integrare in relazione agli elementi resistenti verticali.

Un tale contesto si traduce nella possibilità di modifica e di introduzione di nuove travature in relazione alle caratteristiche meccaniche degli elementi resistenti verticali.

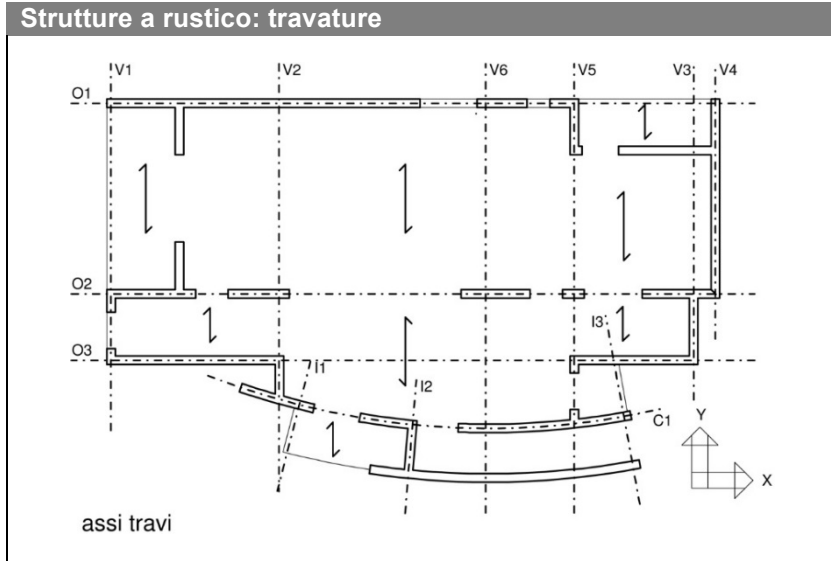


Quindi (introduzione asse V5):

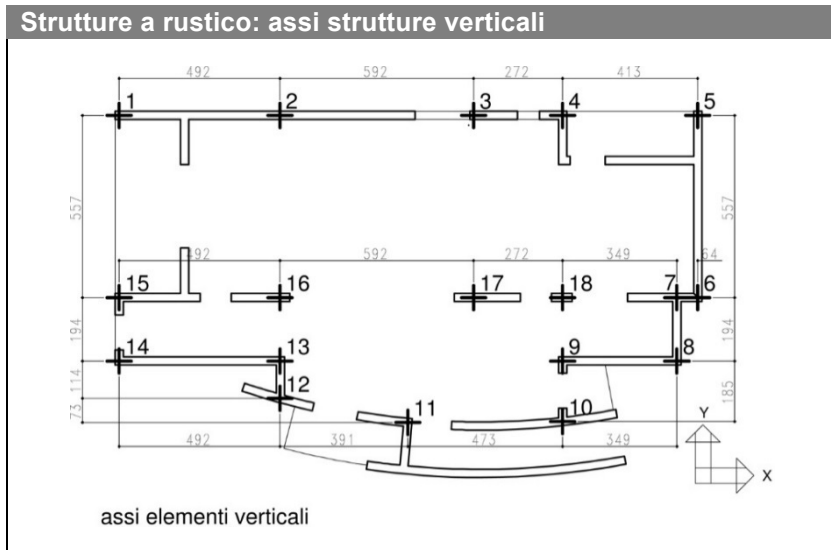


A questo punto si può passare a definire i fili fissi: prima di ciò è necessario considerare che la trave lungo l'asse O2, presumibilmente una trave a spessore, richiede un ulteriore appoggio intermedio e, analogamente, anche la trave, presumibilmente scalata, lungo l'asse O1.

Contestualmente alla definizione dei fili fissi, si definisce un nuovo asse in cui inserire una trave, presumibilmente a spessore, lungo l'asse Y. Precisamente (asse V6):



Si procede, quindi alla definizione degli assi delle strutture resistenti verticali: per il momento si identificano tali elementi rimandando alla fase finale del predimensionamento la definizione dei fili fissi. Quindi gli assi degli elementi verticali strutturali, unitamente alle distanze relative fra essi, sono:

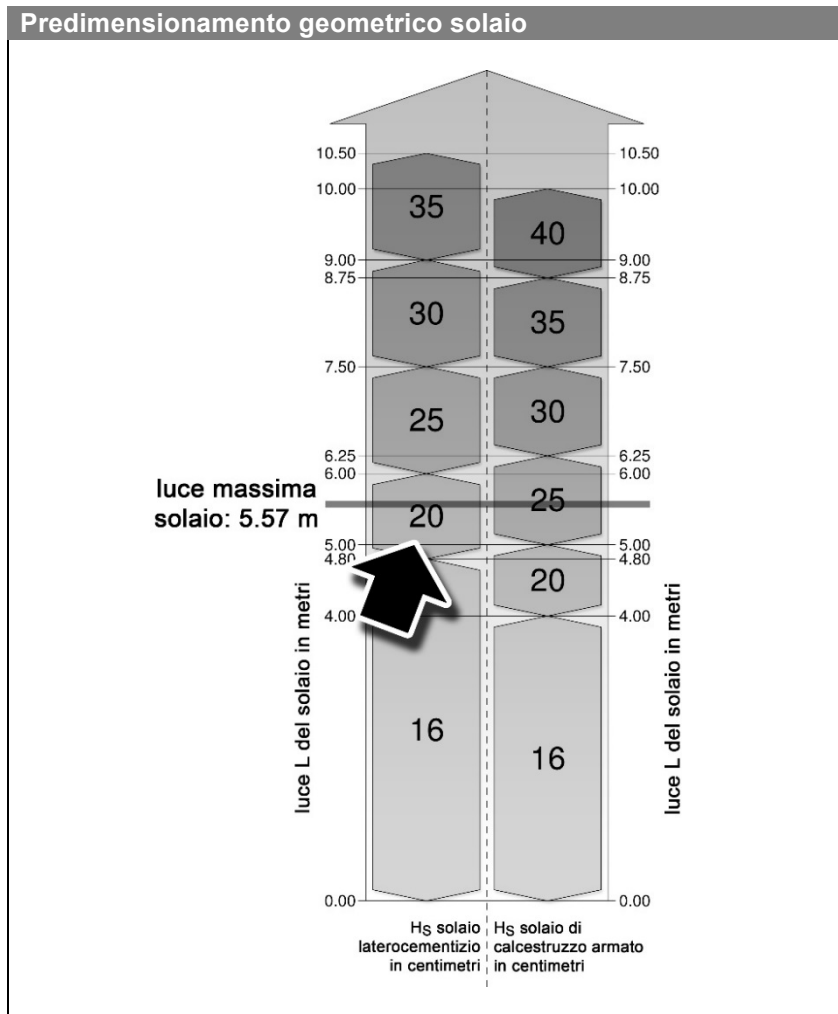


PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

A questo punto si passa a dimensionare gli elementi. Si procede dapprima con il predimensionamento geometrico del solaio: si considera una soletta di 4 cm e un'altezza totale di circa $10L/3$, prevedendo un solaio laterocementizio di luce massima 5.57 m. Numericamente, l'altezza del solaio H_S è calcolata secondo la (L in metri e H_S in centimetri):

$$H_S \approx \frac{10}{3}L = \frac{10}{3} \cdot 5.57 \text{ cm} = 18.57 \text{ cm}$$

Si assume un'altezza del solaio, secondo i tagli commerciali, di 20 cm. Allo stesso risultato si giunge considerando il relativo grafico:



Identificata la luce massima del solaio si valuta l'altezza del solaio tramite la colonna di sinistra: 20 cm. Quindi, si procede al dimensionamento geometrico.

PREDIMENSIONAMENTO GEOMETRICO

Lo studio inizia con il dimensionamento della travatura lungo l'asse O2: la travatura è identificata attraverso i fili 15-16-17-18-7-6. La trave prevista è del tipo a spessore calcolata secondo la:

$$B \approx 17 \cdot L$$

verificando, contestualmente, che:

$$\frac{B}{H} \geq 0.25$$

con L in metri e B in centimetri. Quindi:

Predimensionamento geometrico trave a spessore (asse O2)			
Fili	Luce (m)	B (cm)	B/H \geq 0.25
15-16	4.92	83.64	4.18
16-17	5.92	100.64	5.03
17-18	2.72	46.24	2.31
18-7	3.49	59.33	2.97
7-6	0.64	10.88	0.03

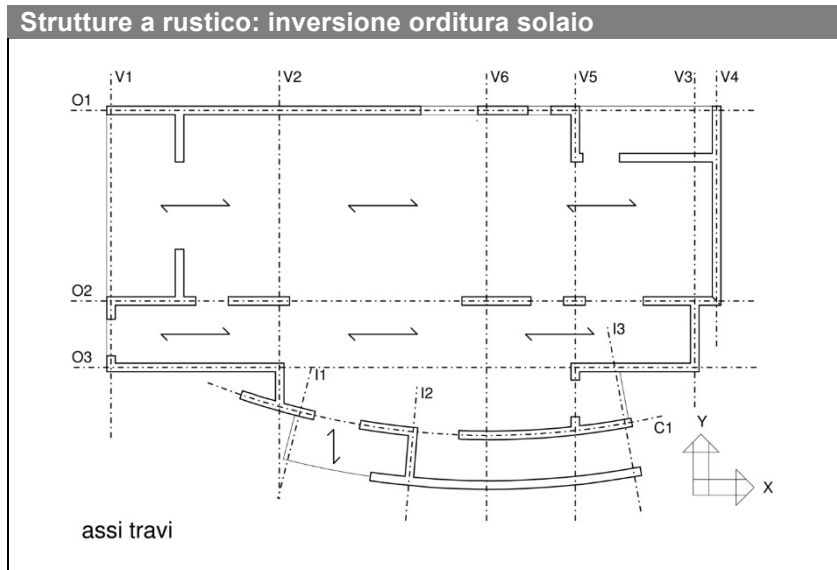
Sulla base delle calcolazioni previste appare evidente che la base della trave deve essere assunta dell'ordine dei 100 cm, uniformemente. Ciò significa che $B/H = 100/20 = 5 \geq 0.25$. Ma, analogamente, è evidente che tale dimensione di base non serve dovunque.

Inoltre, assumendo ovunque 100 cm di base, essendo 20 cm lo spessore del solaio, la dimensione dei pilastri su cui la trave è incastrata deve rispettare la condizione:

$$b_c \geq \max \left\{ B - H_s, \frac{B}{2}, 25 \right\} = \max \left\{ 100 - 20, \frac{100}{2}, 25 \right\} = \\ = \max \{ 80, 50, 25 \} = 80 \text{ cm}$$

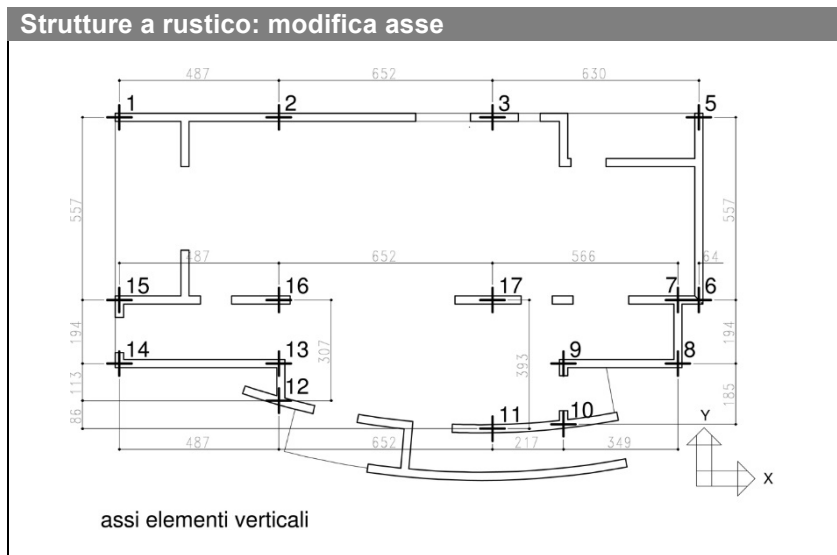
Una tale dimensione emergerebbe dai tramezzi e sporgerebbe negli ambienti per cui non risulta accettabile: il vincolo architettonico è inderogabile.

Quindi, si opta per un cambio di impostazione ruotando di 90° l'orditura del solaio e mantenendo una certa flessibilità, di pochi centimetri, sugli assi verticali V_i .

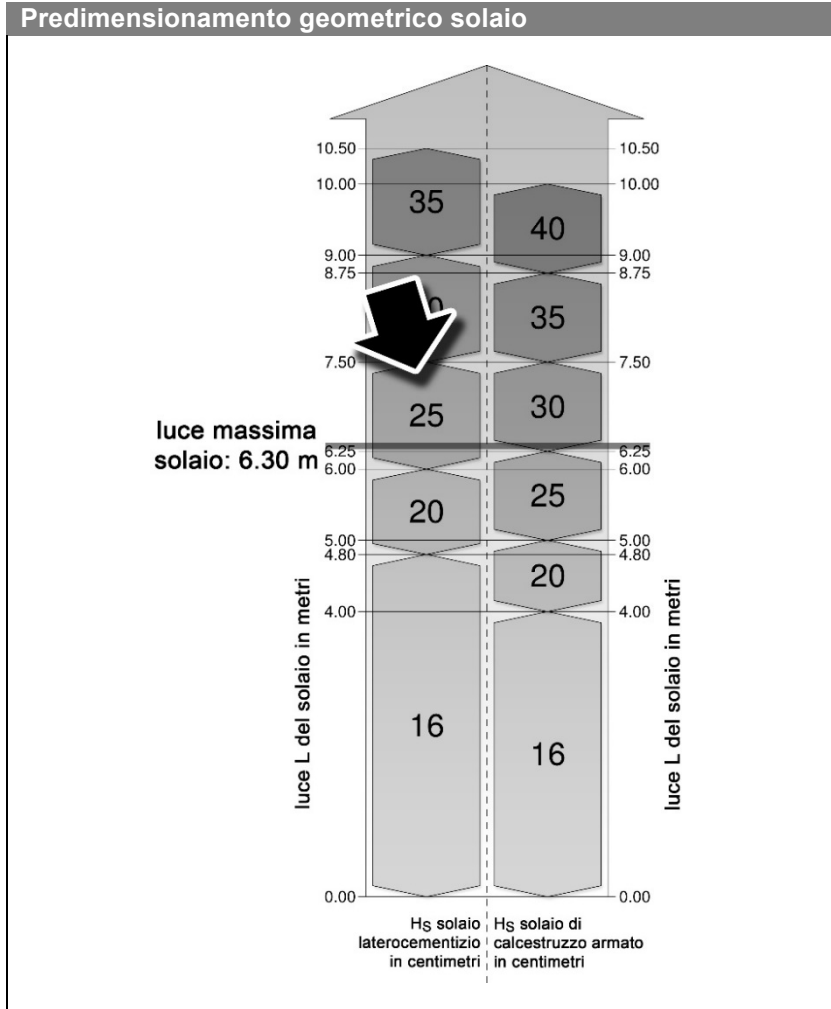


La premessa variabilità della posizione degli assi porta a considerare una relativa variabilità sulle luci del solaio e una rimodulazione della posizione dei fili fissi.

In particolare, i fili 4 e 18 possono essere omessi e il filo 11 deve essere rimodulato sull'asse V6. Ciò fatto, gli assi V2 e V3 sono rimodulati effettuando una piccola traslazione. Ossia:



Inoltre, avendo cambiato per luci, è necessario ricalcolare e rimodulare il solaio. Quindi, essendo la luce massima del solaio pari a 6.30 m, si calcola:



Quindi si assume uno spessore di solaio $H_s = 25$ cm mantenendo una soletta di 4 cm. Ciò fatto si passa a calcolare la trave a spessore lungo gli assi V2 e V6:

Predimensionamento geometrico trave a spessore (asse V2)

Fili	Luce (m)	B (cm)	B assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
2-16	5.57	94.69	90.00	3.60
16-12	3.07	52.19	90.00	3.60

e

Predimensionamento geometrico trave a spessore (asse V6)				
Fili	Luce (m)	B (cm)	B assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
3-17	5.57	94.69	90.00	3.60
17-11	3.93	66.81	90.00	3.60

Si assume, quindi, B uniforme e pari a 90 cm. Relativamente alle travi lungo gli assi V1, V3 e V4 si predimensionano travi fuori spessore. Quindi:

$$H \approx 8 \div 10 \cdot L$$

verificando, contestualmente, che:

$$\frac{B}{H} \geq 0.25$$

con L in metri e H in centimetri. Quindi, assumendo una base della trave di 25 cm:

Predimensionamento geometrico trave scalata (asse V1)				
Fili	Luce (m)	H (cm)	H assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
1-15	5.57	44.56 ÷ 55.70	50.00	0.50
15-14	1.94	15.52 ÷ 19.40	25.00	1.00

Analogamente:

:

Predimensionamento geometrico trave scalata (asse V3, V4 e V5)				
Fili	Luce (m)	H (cm)	H assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
Asse V3				
7-8	1.94	15.52 ÷ 19.40	25.00	1.00
Asse V4				
5-6	5.57	44.56 ÷ 55.70	50.00	0.50
Asse V5				
9-10	1.85	14.80 ÷ 18.50	25.00	1.00

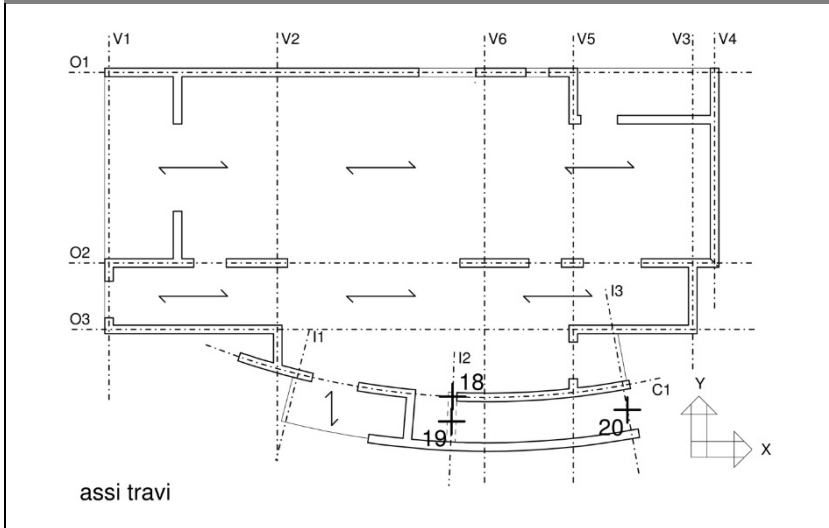
In aggiunta si considera una trave di spina lungo l'asse O2: si tratta di una trave a spessore di base 25 cm (con qualche problema di rigidità).

Relativamente ai balconi vengono realizzati in continuità con il soffitto ad eccezione della pensilina in corrispondenza dell'ingresso della struttura e in continuità con la rampa della scala.

A questo proposito si può ravvisare che il pianerottolo di arrivo della scala può essere realizzato in continuità con la pensilina di ingresso

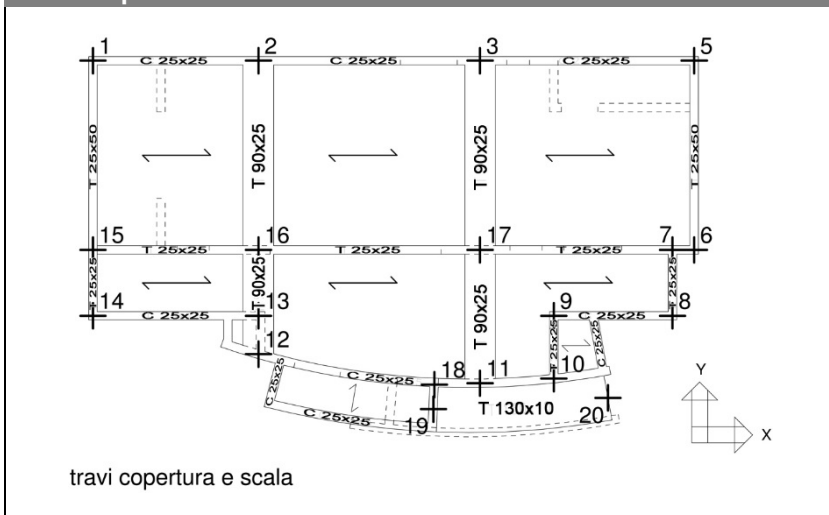
e che la scala, definita quale soletta rampante, deve terminare con una trave: appare opportuno, quindi, modificare la posizione dell'asse I2 e del relativo elemento strutturale. Si inseriscono ulteriori tre fili ad identificare la trave (soletta rampante) della scala e la trave a sbalzo a cui la soletta è incastrata. Ossia:

Strutture a rustico: modifiche assi



Relativamente alla scala, si considera una trave dello spessore di 10 cm, esclusi i gradini e della dimensione di base, obbligata dal punto di vista architettonico, di 130 cm.

Travi copertura



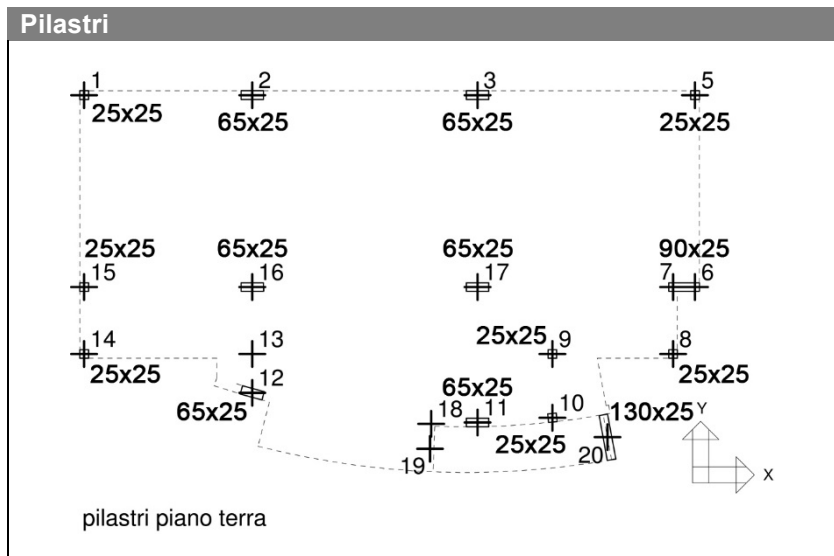
Si passa, quindi, al predimensionamento di pilastri: vista la profondità di posa della fondazione, l'altezza netta dei pilastri è di 4 m.

Si considerano i pilastri identificati dai fili strutturali 2, 3, 11, 12, 16 e 17. La dimensione del pilastro ortogonale all'asse della trave a spessore è calcolabile secondo la:

$$b_c \geq \max\left\{B - H_s, \frac{B}{2}, 25\right\} = \max\left\{90 - 25, \frac{90}{2}, 25\right\} = \max\{65, 45, 25\} = 65 \text{ cm}$$

e la sua altezza è di 25 cm. Relativamente agli altri pilastri si considera, direttamente, una sezione 25 x 25 cm². Considerando, inoltre, la contiguità dei pilastri 6 e 7 si considera un solo elemento strutturale.

Relativamente alla partenza della scala si predimensiona un pilastro tozzo delle dimensioni pari alla larghezza della soletta rampante e di spessore 25 cm. Quindi, posizionando i pilastri risulta:



Si prosegue, infine, al predimensionamento delle opere di fondazione. Ipotizzando di non avere problemi in termini di cedimenti differenziali, si considera un sistema di fondazioni a plinti per cui il predimensionamento geometrico è condotto considerando:

$$B_p \approx 4 \cdot b_c$$

e

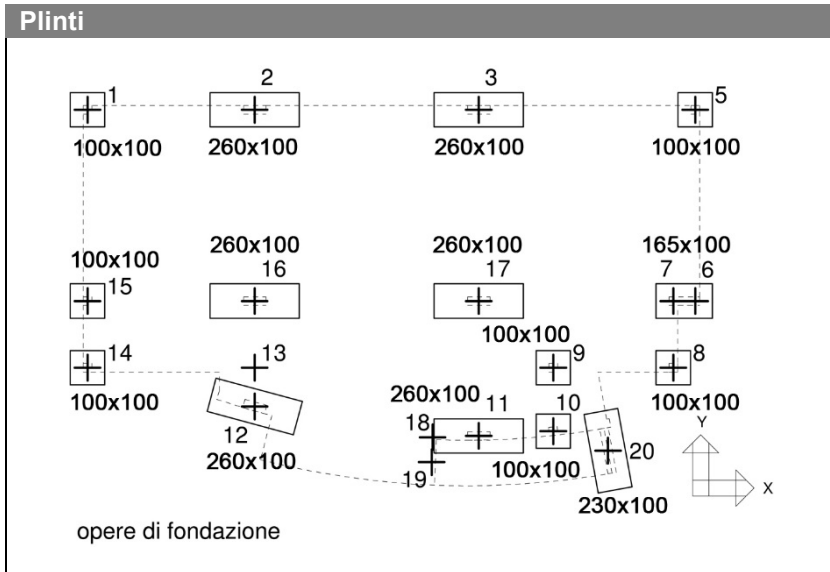
$$L_p \approx 4 \cdot h_c$$

Quindi, in relazione alle dimensioni dei pilastri risulta:

Predimensionamento geometrico plinti				
Filo	b_c (cm)	B_p (cm)	h_c (cm)	L_p (cm)
1, 5, 7, 6, 8, 9, 14, 15	25	100	25	100
2, 3, 11, 12, 16, 17	65	260	25	100

Relativamente ai plinti 6 e 7, essendo l'elemento strutturale un corpo unico, la dimensione maggiore del plinto viene assunta calcolando dall'asse strutturale dei pilastri uno sbalzo di 50 cm. Quindi si considera un plinto di dimensioni 165 x 100 cm².

Per quanto riguarda la fondazione di partenza della scala, secondo le dimensioni del pilastro, dovrebbe essere 520 x 100 cm². Una tale dimensione è letteralmente vergognosa per cui si opta, fuori calcolo, per un plinto 230 x 100 cm. Quindi:



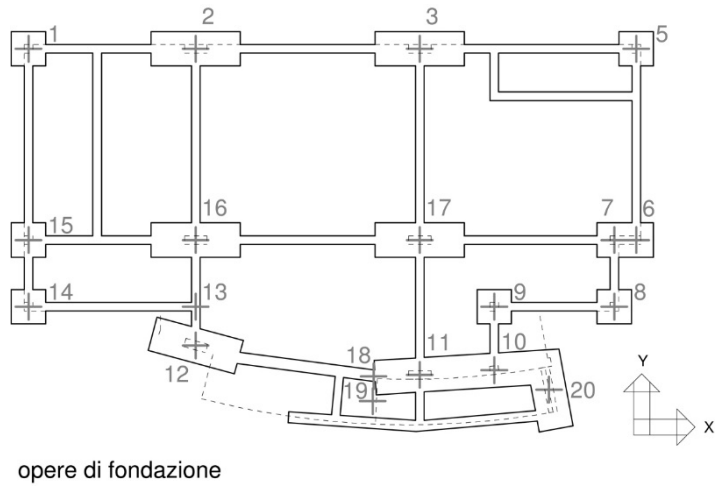
Si osserva che le opere di fondazione relative ai pilastri 10, 11 e 20 si possono unire a formare un corpo unico.

Si considerano, infine, i cordoli di collegamento aventi una doppia funzione: collegare i plinti e costituire opera di fondazione per i tom-pagni. La struttura che ne risulta è rappresentata nelle immagini seguenti: il solaio, nei rendering 3D, è rappresentato in trasparenza in modo da consentire la vista delle strutture sottostanti (Cfr. immagini pagine successive).

PREDIMENSIONAMENTO MECCANICO

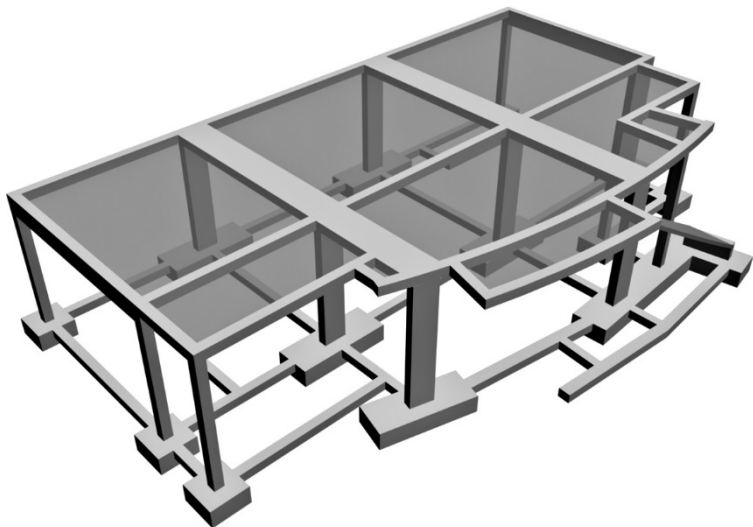
Lo studio, quindi, procede con il predimensionamento meccanico.

Opere di fondazione

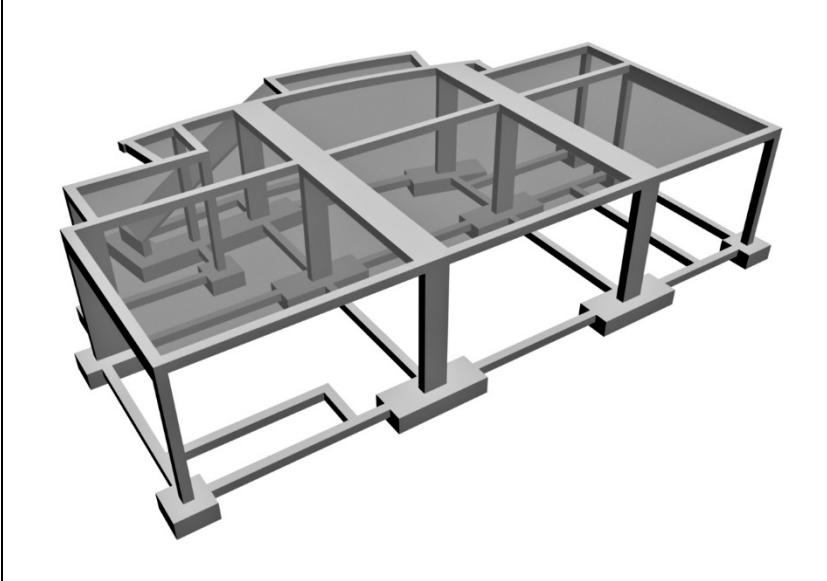


In particolare, alcune delle soluzioni adottate nel predimensionamento geometrico sono considerate anche in quello meccanico: il riferimento è all'orditura del solaio.

Struttura (rendering 3D)



Struttura (rendering 3D)



Infatti si potrebbe ripartire da zero e considerare il solaio ordito lungo la direzione Y ma i risultati non cambierebbero: quindi, al fine di non ripetere un lavoro che risulterebbe inutile, si assume l'orditura lungo la direzione X. Il solaio, come per il predimensionamento geometrico, è dello spessore di 25 cm e la soletta è di 4 cm.

Quindi si procede al predimensionamento delle travi a spessore secondo la:

$$B \approx 0.50 \cdot L_{\perp} L^2$$

Per le due travature è necessario considerare L_{\perp} : trattandosi un una grandezza variabile con la campata della trave e nell'ambito della campata, si assume un valore medio. Per la travatura 2-16-12 risulta:

$$L_{\perp} = \frac{4.87 + 6.52}{2} \text{ m} = 5.69 \text{ m}$$

Il calcolo:

Predimensionamento meccanico trave a spessore (asse V2)				
Fili	Luce (m)	B (cm)	B assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
2-16	5.57	88.26	85.00	3.40
16-12	3.07	26.81	85.00	3.40

assumendo una dimensione uniforme $B = 85 \text{ cm}$ e relativamente alla travatura 3-17-11:

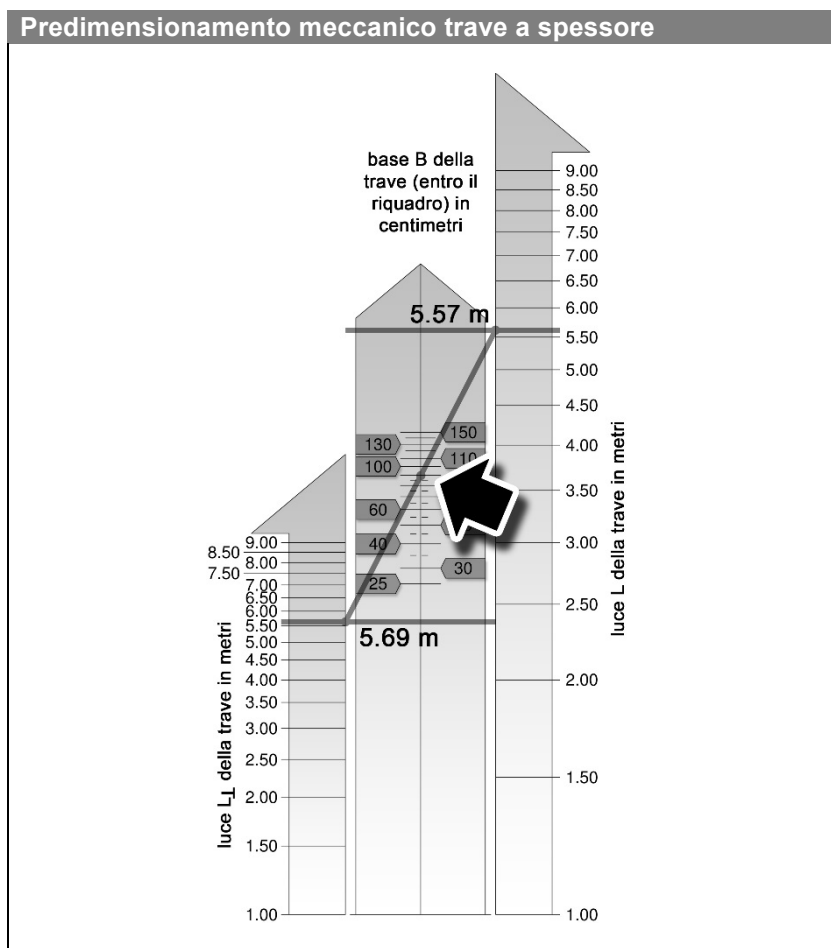
PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

$$L_{\perp} = \frac{6.52 + 6.30}{2} \text{ m} = 6.41 \text{ m}$$

e calcolando:

Predimensionamento meccanico trave a spessore (asse V6)				
Fili	Luce (m)	B (cm)	B assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
3-17	5.57	99.43	100	4.00
17-11	3.93	49.50	100	4.00

assumendo una dimensione uniforme B = 100 cm. Allo stesso risultato si perviene considerando il relativo grafico. Presa in esame la travatura 2-16-12, campata 2-16, $L_{\perp} = 5.69 \text{ m}$ e $L = 5.57$:



Relativamente alle travi scalate, la relazione da considerare è:

$$H \approx 4.5 \cdot L \sqrt{L_{\perp}}$$

e passando al calcolo di L_{\perp} :

Calcolo L_{\perp}	
Asse trave	L_{\perp} (m)
V1	4.87/2 m = 2.43 m
V3	5.66/2 m = 2.83 m
V4	6.30/2 m = 3.15 m
V5	2.17/2 + 1.55 m = 2.63 m

Passando al calcolo di H:

Predimensionamento meccanico trave scalata (asse V1, V3, V4 e V5)				
Fili	Luce (m)	H (cm)	H assunto (cm)	B/H ≥ 0.25
Asse V1				
1-15	5.57	39.07	40.00	1.60
15-14	1.94	13.61	25.00	1.00
Asse V3				
7-8	1.94	14.69	25.00	1.00
Asse V4				
5-6	5.57	44.49	45.00	1.80
Asse V5				
9-10	1.85	13.50	25.00	1.00

In aggiunta si considera una trave di spina lungo l'asse O2: si tratta di una trave a spessore di base 25 cm (con qualche problema di rigidità).

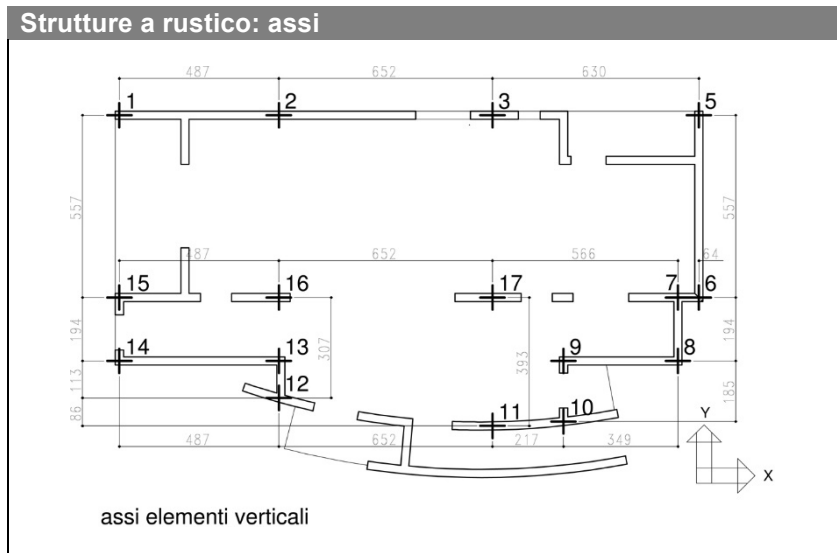
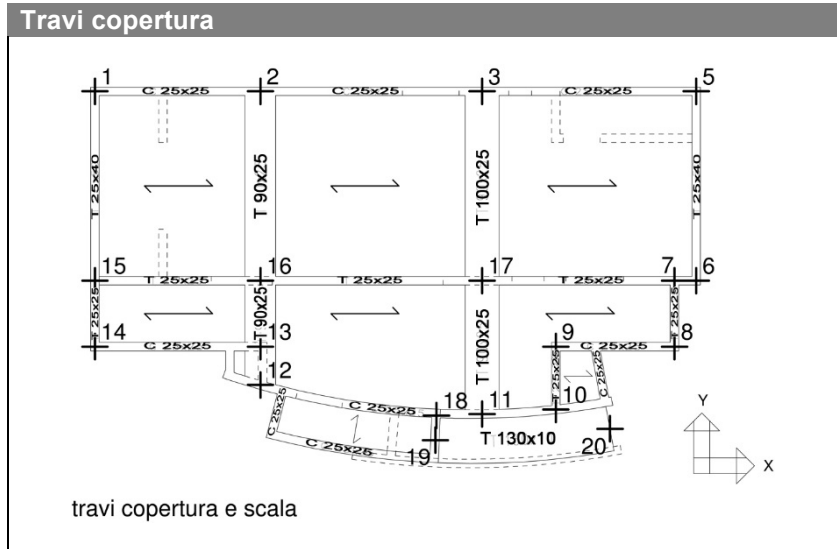
Analogamente a quanto già fatto:

- balconi vengono realizzati in continuità con il solaio ad eccezione della pensilina in corrispondenza dell'ingresso della struttura e in continuità con la rampa della scala;
- il pianerottolo di arrivo della scala è realizzato in continuità con la pensilina di ingresso;
- la scala, definita quale soletta rampante dello spessore di 10 cm e larghezza di 130 cm, termina con una trave.

La geometria delle travi di copertura è di seguito riportata (Cfr. immagine pagina successiva). Si passa, quindi, al predimensionamento meccanico di pilastri: vista la profondità di posa della fondazione, l'altezza netta dei pilastri è di 4 m. Il calcolo è condotto secondo la:

$$b_c \approx 0.60 \cdot n \cdot L_x L_y$$

Preventivamente, quindi, è necessario determinare L_x e L_y per ogni pilastro.



Risulta:

Predimensionamento meccanico pilastri		
Pil.	L_x (m)	L_y (cm)
1	$4.87/2 = 2.43$	$5.57/2 = 2.78$
2	$(4.87+6.52)/2 = 5.69$	$5.57/2 = 2.78$

continua

3	$(6.52+6.30)/2 = 6.41$	$5.57/2 = 2.78$
5	$6.30/2 = 3.15$	$5.57/2 = 2.78$
6	$0.64/2 = 0.32$	$5.57/2 = 2.78$
7	$(5.66+0.64)/2 = 3.15$	$(5.57+1.94)/2 = 3.76$
8	$3.49/2 = 1.75$	$1.94/2 = 0.97$
9	$(2.17+3.49)/2 = 2.83$	$(1.85+1.94)/2 = 1.89$
10	$(2.17+3.49)/2 = 2.83$	$1.85/2 = 0.92$
11	$(6.52+2.17)/2 = 4.34$	$3.93/2 = 1.96$
12	$(4.87+6.52)/2 = 5.69$	$3.07/2 = 1.54$
14	$4.87/2 = 2.43$	$1.94/2 = 0.97$
15	$4.87/2 = 2.43$	$(5.57+1.94)/2 = 3.76$
16	$(4.87+6.52)/2 = 5.69$	$(5.57+1.94)/2 = 3.76$
17	$(6.52+6.30)/2 = 6.41$	$(5.57+3.93)/2 = 4.75$

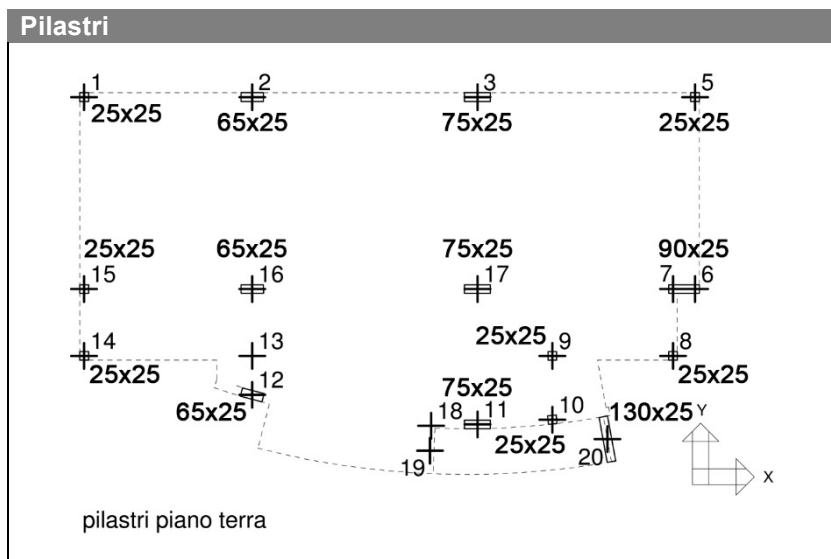
Passando al calcolo (b_c assunto asteriscato indica il rispetto del vincolo con la trave innestata), considerando per i pilastri $h_c = 25.00$ cm:

Predimensionamento meccanico pilastri: $n = 1$				
Pil.	L_x (m)	L_y (cm)	b_c (cm)	b_c assunto (cm)
1	2.43	2.78	4.05	25.00
2	5.69	2.78	9.49	65.00 *
3	6.41	2.78	10.69	75.00 *
5	3.15	2.78	5.25	25.00
6	0.32	2.78	0.53	25.00
7	3.15	3.76	7.11	25.00
8	1.75	0.97	1.02	25.00
9	2.83	1.89	3.21	25.00
10	2.83	0.92	1.56	25.00
11	4.34	1.96	5.10	75.00 *
12	5.69	1.54	5.26	65.00 *
14	2.43	0.97	1.41	25.00
15	2.43	3.76	5.48	25.00
16	5.69	3.76	12.83	65.00 *
17	6.41	4.75	18.27	75.00 *

Anche nel predimensionamento meccanico, i pilastri 6 e 7 vengono realizzati un unico corpo strutturale e la partenza della scala è assunta 25.00×130.00 cm².

Quindi, posizionando i pilastri risulta (Cfr. immagine pagina seguente).

Si prosegue, infine, al predimensionamento delle opere di fondazione. Ipotizzando di non avere problemi in termini di cedimenti differenziali, e, a vantaggio di sicurezza considerare l'argilla compatta quale terreno di media resistenza, si dimensiona l'opera di fondazione secondo la:



$$D_p \approx 27\sqrt{n_t} \cdot \ell$$

considerando ℓ secondo le dimensioni L_x e L_y già calcolate ed essendo il numero totale di piani unitario.

Avendo assunto i pilastrì 6-7 quale unico corpo strutturale si assume $L_x = 5.66/2 + 0.64 \text{ m} = 3.47 \text{ m}$ e $L_y = (5.57 + 1.94)/2 \text{ m} = 3.76 \text{ m}$. Quindi in corrispondenza di L_x e L_y si determinano, rispettivamente, B_p e H_p del plinto assumendo una dimensione minima di 50.00 cm:

Predimensionamento meccanico pilastrì: $n_t = 1$

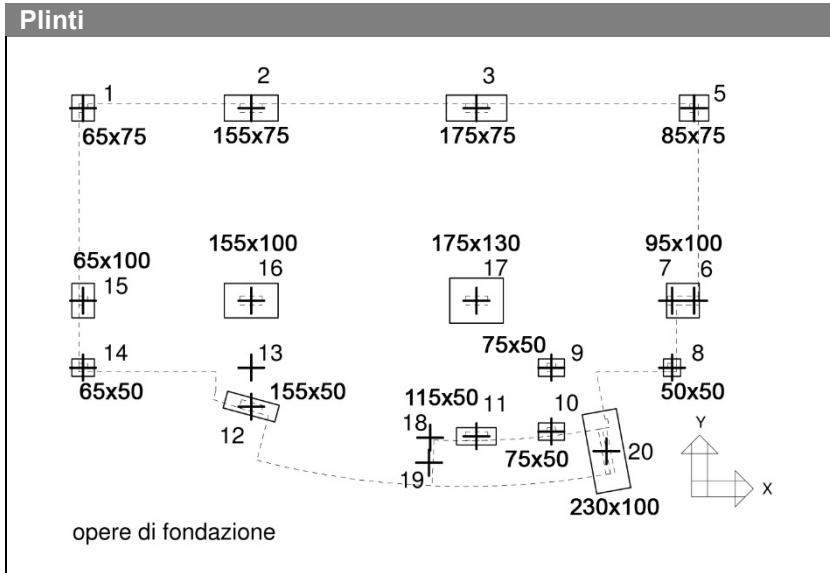
Pilastrì n°	L_x (m)	B_p (cm)	B_p assunto (cm)	L_y (cm)	H_p (cm)	H_p assunto (cm)
1	2.43	65.61	65.00	2.78	75.06	75.00
2	5.69	153.63	155.00	2.78	75.06	75.00
3	6.41	173.07	175.00	2.78	75.06	75.00
5	3.15	85.05	85.00	2.78	75.06	75.00
6-7	3.47	93.69	95.00	3.76	101.52	100.00
8	1.75	47.25	50.00	0.97	26.35	50.00
9	2.83	76.41	75.00	1.89	51.03	50.00
10	2.83	76.41	75.00	0.92	24.84	50.00
11	4.34	117.18	115.00	1.96	52.92	50.00
12	5.69	153.63	155.00	1.54	41.58	50.00
14	2.43	65.61	65.00	0.97	26.19	50.00
15	2.43	65.61	65.00	3.76	101.52	100.00

continua

16	5.69	153.63	155.00	3.76	101.52	100.00
17	6.41	173.07	175.00	4.75	128.25	130.00

Relativamente alla rampa si considera un plinto 230.00x75.00 cm².

Quindi:



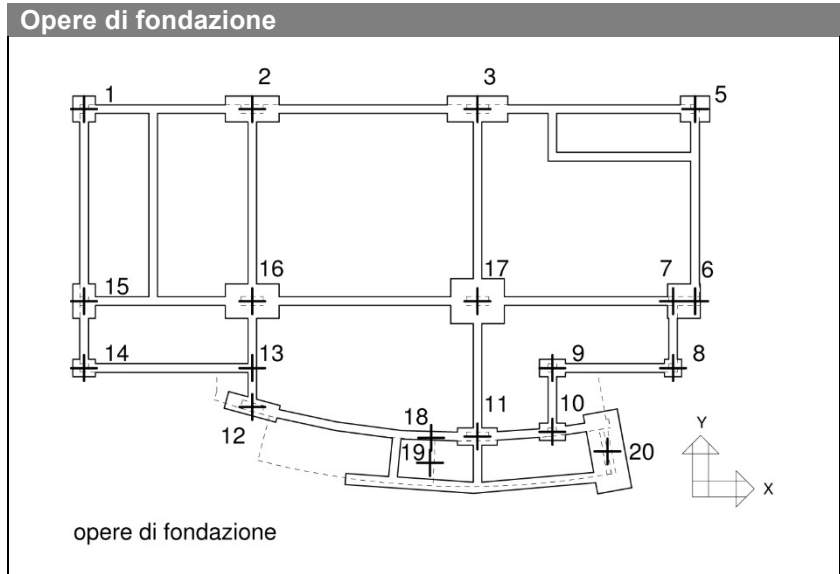
Le opere di fondazione relative ai pilastri 10, 11 e 20 si possono unire a formare un corpo unico, rimodulando anche le dimensioni del plinto 20. In questo caso, essendo di dimensioni ridotte le si lasciano inalterate.

Si considerano, infine, i cordoli di collegamento aventi una doppia funzione: collegare i plinti e costituire opera di fondazione per i tompani.

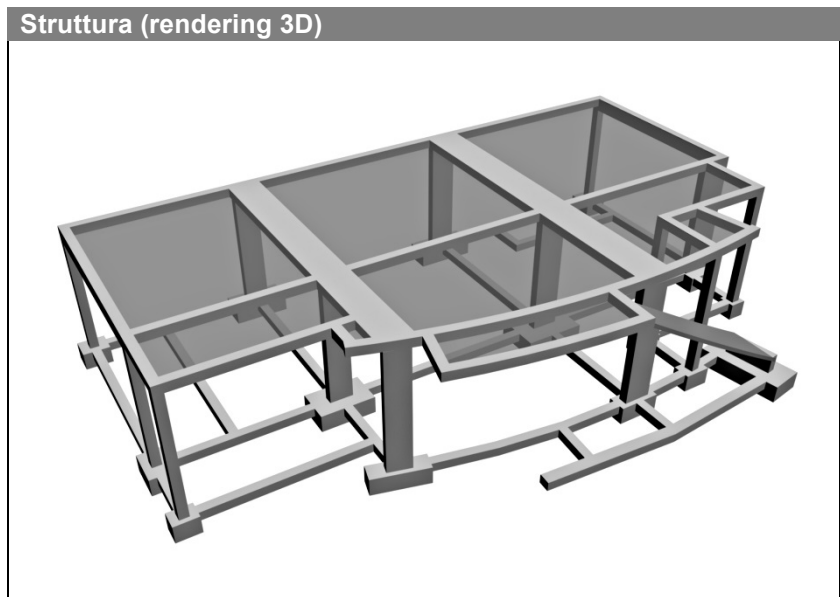
Prima di chiudere è necessaria una precisazione: i plinti sembrano essere ruotati di 90° rispetto alle travi. In effetti, nel predimensionamento, è necessario tener conto di come è strutturato il telaio per cui si possono invertire i valori di L_x e L_y in modo da renderli più coerenti con la reale struttura fisica dell'edificio.

La struttura che ne risulta è rappresentata nelle immagini seguenti: il solaio, nei rendering 3D, è rappresentato in trasparenza in modo da consentire la vista delle strutture sottostanti (Cfr. immagini pagine successive).

In aggiunta i rendering 3D sono realizzati in modo da mettere in evidenza le principali differenze con il predimensionamento geometrico: tali differenze sono identificate principalmente nelle fondazioni.



I rendering 3D (Cfr. immagine seguente e pagina seguente):



Il passo finale, prima fase del progetto esecutivo, consiste nel definire i fili fissi: quelli usati nel predimensionamento, infatti, sono i fili strutturali ma la carpenteria, soprattutto nelle strutture multipiano, deve indicare i riferimenti da utilizzare in cantiere per definire la struttura e gli elementi strutturali.