OGGETTO	**Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Fontanella**
COMMITTENTE	**Comune di Empoli**
UBICAZIONE	**Via Salaiola, località Fontanella** **Comune di Empoli**

A8 RELAZIONE DI CALCOLO

Sommario

A8 RELAZIONE DI CALCOLO 3

Normativa di riferimento 4

Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento 4

Materiali impiegati e resistenze di calcolo....5

Terreno di fondazione 7

Analisi dei carichi....8

Valutazione dell'azione sismica 12

Elementi di fondazione. 15

Metodo di Analisi e criteri di verifica. 17

Azioni sulla struttura....19

Codice di calcolo impiegato....30

Modellazione 31

Verifica degli elementi strutturali 37

Validazione del calcolo 47

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

A8 RELAZIONE DI CALCOLO

Nel presente fascicolo vengono indicati i parametri di riferimento per la verifiche condotte sul fabbricato di nuova costruzione, per la realizzazione di loculi ed ossari nel cimitero di Fontanella.

Per la descrizione dell'intervento si rimanda al fascicolo A3.

Di seguito si riporta l'estratto che riguarda la descrizione delle strutture.

Le strutture dell'ampliamento saranno così composte:

- *Fondazioni su pali lunghi 10 m, con diametro di 60 cm. Sulla testa dei pali sarà realizzata una soletta di 20 cm. Le teste dei pali saranno collegate con un reticolo di travi parete larghe 35 cm, aventi altezza 90 cm. Tale altezza è quella che consente sia di impostare il piano dei loculi alla quota di +10 cm dal vialetto di accesso esistente, sia di limitare i movimenti di terra e di creare un piano nella zona del fabbricato, tenendo anche conto della presenza delle fondazioni del fabbricato esistente in adiacenza;*
- *Calpestio della cappella realizzato con solaio di tipo predalles con altezza 4+16+4 cm;*
- *Basamento di loculi e ossari formato da una soletta piena in c.a. su lastre per solaio tipo predalles con funzione di cassero. Le solette dei loculi dovranno essere inclinate verso l'esterno del fabbricato (pendenza 3 cm);*
- *Struttura verticale formata da setti in c.a. con spessore 20 cm, o 15 cm*
- *Struttura orizzontale di loculi, ossari e cinerari formata da solette in c.a. con spessore 10 cm;*
- *Paretine di separazione fra loculi ossari e cinerari realizzata in c.a. con spessore pari a 10 cm. Tali paretine, che si trovano in appoggio sul solaio del piano terra, sono state modellate come tamponamenti;*
- *Solaio di copertura di tipo bausta, con spessore 16+5 cm, in appoggio sui muri, o su travi in c.a.;*
- *Gronde in aggetto in c.a.*

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Normativa di riferimento

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)
  ”Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”

- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)
  ”Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”

- D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle“Norme Tecniche sulle Costruzioni”, nel seguito denominate NT (norme tecniche)

- *Circolare n. 7/CSLLPP del 21 gennaio 2019 "Istruzioni per l'applicazione dell’aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".*

Il calcolo delle sollecitazioni e la loro combinazione è stato eseguito seguendo le indicazioni delle NT secondo l'APPROCCIO 2

Vita nominale, classi d’uso e periodo di riferimento

La costruzione in oggetto è definita dalla seguente tipologia (p.to 2.4 delle NT):

Vita della struttura	
Tipo	Opere ordinarie (50-100)
Vita nominale(anni)	50.0
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1.000
Periodo di riferimento(anni)	50.000
Stato limite di esercizio - SLD	PVR=63.0%
Stato limite ultimo - SLV	PVR=10.0%
Periodo di ritorno SLD(anni)	TR=50.0
Periodo di ritorno SLV(anni)	TR=475.0

Per maggiori dettagli riguardo l'azione sismica si veda la definizione degli spettri di risposta

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Materiali impiegati e resistenze di calcolo

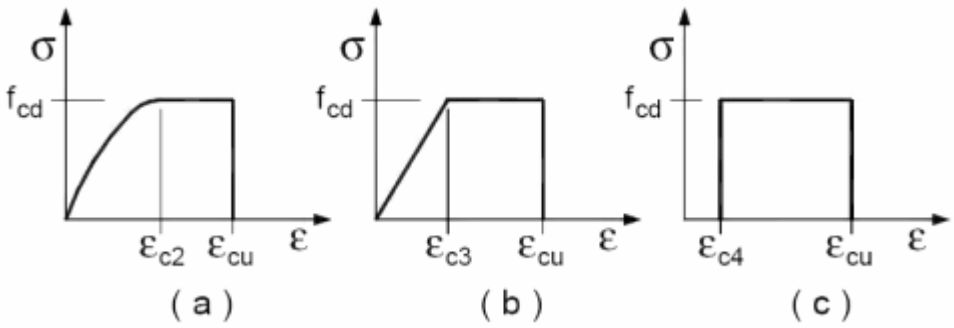
Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali, di cui si riportano nell' ordine le proprietà meccaniche adottate nel calcolo elastico e le resistenze di calcolo per le verifiche di sicurezza:

Materiali

Materiale: C28/35		
Peso specifico	kg/mc	2500
Modulo di Young E	kg/cmq	3E05
Modulo di Poisson ν		0.13
Coefficiente di dilatazione termica λ	1/°C	1e-05

Parti in calcestruzzo armato		
Classe calcestruzzo		**Cls C28/35**
Resistenza cubica **R**ck	kg/cmq	350
Resistenza di calcolo **f**cd	kg/cmq	165
Resistenza a trazione di calcolo **f**ctd	kg/cmq	13
Resistenza cilindrica **f**ck	kg/cmq	291
Resistenza a trazione media **f**ctm	kg/cmq	28
Classe di esposizione		XC3
Classe di consistenza		S4
Classe acciaio		**Acciaio B450C**
Resistenza allo snervamento fyk	kg/cmq	>=4500
Resistenza alla rottura ftk	kg/cmq	>=5400

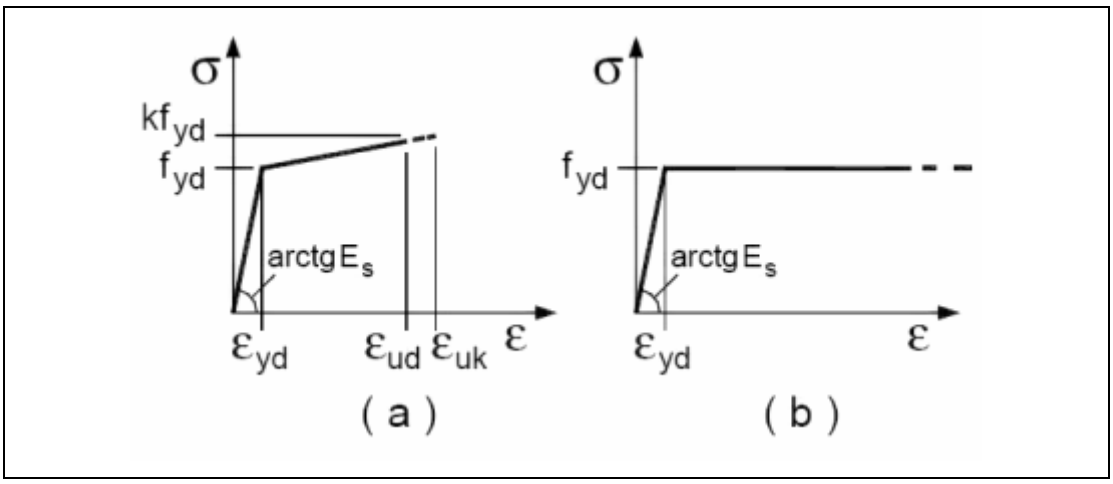
I diagrammi costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio per calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 delle NT; in particolare per le verifiche delle sezioni in calcestruzzo armato è stato adottato il modello di calcestruzzo riportato in (a) della figura seguente:



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

ed il modello di acciaio riportato in a) o b) della figura seguente



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione dell'acciaio per calcestruzzo.

La resistenza di calcolo è data da f_{yk} / γ_f. Il coefficiente di sicurezza è γ_f .

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

Riguardo ai coefficienti di sicurezza parziali, alle deformazioni del calcestruzzo e dell'acciaio per modello incrudente si faccia riferimento al tabulato dei *criteri di verifica*.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Terreno di fondazione

Il fabbricato in cui saranno inseriti i nuovi loculi avrà fondazioni profonde, formate da n. 12 pali con diametro di 60 cm e lunghezza pari a 10 m. Le teste dei pali saranno collegate con un reticolo di travi/pareti larghe 35 cm, aventi altezza 90 cm. Il dislivello di 20+90 cm fra la quota testa palo e la quota del piano terreno è dovuto all'andamento del terreno in situ e alla sua acclività (attualmente, il terreno nella zona d'intervento è più basso di circa 50 cm rispetto alla quota del vialetto dal quale si accederà e il dislivello aumenta allontanandosi dal muro di recinzione esistente). Per agevolare la realizzazione delle strutture, è stato previsto di creare un adeguato piano di lavoro alla quota di -1,1 m dal piano terra.

Dalla Relazione Geologica a firma del dott. geologo Alessandro Murratzu di IdroGeo Service s.r.l. risulta che nell'area in oggetto, si ha un terreno con le seguenti caratteristiche:

Estratto relazione geologica

…

Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ (°)	Cu (KN/m²)	C' (KN/m²)	Ed (KN/m²)	γ (KN/m³)
1	*Terreno rimaneggiato*	0,00÷-1,00	-	-	-	-	-
2	*limi argillosi da compatti a molto compatti*	-1,00÷-9,00	22	130	10	18.000	18,5
3	*limi sabbiosi molto consistenti*	-9,00÷-9,80 Rif.	30	150	5	30.000	18,5

dove:

ϕ= angolo di attrito

Cu= coesione non drenata

C'=Coesione efficace

Ed= modulo edometrico

γ= peso di volume del terreno

…

- Categoria di sottosuolo **C**
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica SS= 1,5 *(tabella 3.2.IV - NTC)*
- Coefficiente di amplificazione topografica ST= 1,20 *(tabella 3.2.V - NTC per categoria topografica T2 in tabella 3.2.III)*

Per la determinazione del carico limite del complesso terreno-fondazione, pertanto, si sono assunti i parametri fisico-meccanici precedentemente indicati. Per maggiori dettagli riguardo i parametri che caratterizzano il terreno si rimanda alla relazione geologica e a quella geotecnica (fascicolo A6).

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Analisi dei carichi

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni contenute nel **D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento "Norme tecniche per le costruzioni")**

I carichi adottati sono i seguenti:

NEVE

Provincia : FIRENZE

Zona : 2

Altitudine a_s : 80 m s.l.m.

Esposizione : Normale

Periodo di ritorno : 50 anni

Il carico neve sulle coperture viene valutato con la seguente espressione:

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$ kN/m^2

dove:

μ_i Coefficiente di forma della copertura

$C_E = 1.0$ Coefficiente di esposizione

$C_t = 1.0$ Coefficiente termico

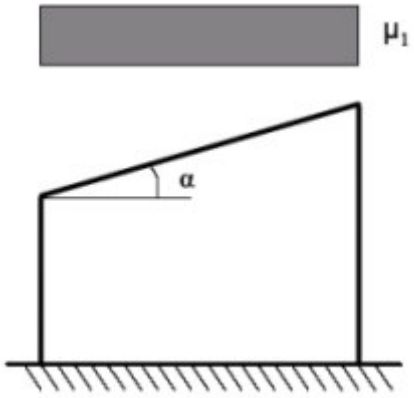
$q_{sk} = 1.00$ KN/m^2 Carico neve al suolo

Nel caso in esame (copertura ad una falda), con

$\alpha = 2.00^\circ$

il coefficiente di forma vale:

$\mu_1(\alpha) = 0.80$ => $q_s = 0.80$ kN/m^2 (80 kg/m^2)



Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

I carichi relativi ai pesi propri vengono valutati in automatico in funzione della geometria degli elementi ed al loro peso specifico.

I tamponamenti vengono valutati per metro lineare di trave su cui insistono. Nel caso in esame i divisori verticali aventi spessore pari a 10 cm, tra loculi e ossari, sono stati inseriti nel modello come tamponamenti. Ad essi è stato assegnato un peso specifico di 2500 kg/m^2. Maggiori dettagli ad essi relativi sono riportati nel tabulato di calcolo alla sezione dei carichi relativi alle aste, nodi ed shell.

I tamponamenti in laterizio sono stati assegnati come carichi su travi fittizie a sezione nulla a livello dell'impalcato del piano terra. Ad essi è stato assegnato un peso specifico pari a 600 kg/m^3.

Relativamente ai solai ed alle solette, i carichi adottati sono i seguenti:

Solaio predalles piano terra h=4+16+4

peso proprio		335	kg/m^2
	Tot G1	335	
massetto Hcalc 9 cm γ1400		126	kg/m^2
pavimento		35	kg/m^2
incidenza tramezzi		80	kg/m^2
	Tot G2	241	kg/m^2
variabile Qk cat C2		400	kg/m^2
	Tot var	400	kg/m^2

Non essendo esplicitamente compresa nella tabella 3.1.II della NTC 2018 la destinazione del fabbricato in progetto, si è ritenuto corretto assumere cautelativamente il valore del carico previsto per i solai della categoria C2, con i relativi coefficienti di combinazione della tabella 2.5.I.

Tab. 3.1.II - *Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni*

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
C	**Ambienti suscettibili di affollamento**			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Nel modello di calcolo, il carico permanente G2 è stato arrotondato a 250 kg/m^2.

Solaio copertura bausta h=16+5 cm

peso proprio		270	kg/m^2
	Tot G1	270	
muretti per pendenza		42	kg/m^3
isolamento e guaina		15	kg/m^2
pannelli lamiera		20	kg/m^2
varie		20	kg/m^2
intonaco		27	kg/m^2
	Tot G2	97	kg/m^2
Carico variabile Qk cat H		50	kg/m^2
	Tot var	50	kg/m^2

Nel modello di calcolo, il carico permanente G2 è stato arrotondato a 100 kg/m^2.

Carichi su soletta piano terra - loculi

peso proprio soletta 20 cm (calcolo automatico)		500	kg/m^2
lastra 4 cm		100	kg/m^2
	Tot G1	600	kg/m^2
incidenza rivestimenti		30	kg/m^2
	Tot G2	30	kg/m^2
carico variabile Qk		250	kg/m^2
dpr 285/1990 art. 76	Tot var	250	kg/m^2

Lo stesso carico variabile è stato assegnato anche a ossari e cinerari.

Con riferimento ai coefficienti di combinazione della tabella 2.5.I, a tale carico sono stati applicati i coefficienti della categoria E (*Aree per immagazzinamento* …).

In merito all'entità dei carichi variabili sugli ossari, benché nel 2018 il Comitato Tecnico Scientifico della Regione Toscana si sia espresso nella direzione di poter considerare dei sovraccarichi più bassi, trattandosi di un parere e non di una prescrizione normativa, si è ritenuto corretto procedere nel rispetto dell'unica norma presente, benché l'entità del carico prescritto sia, di fatto, oltremodo sovrabbondante.

Per completezza, si allega il parere citato.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

REGIONE TOSCANA
Giunta Regionale

Direzione Ambiente ed Energia

Settore Sismica

10. D.P.R. 20/09/1990 N. 285 art. 76 – Loculi cimiteriali

QUESITO

In merito al dimensionamento di un loculo per tumulazione il D.P.R. 20/09/1990 n. 285 all'art. 76 afferma che *"Le solette orizzontali devono essere dimensionate per un sovraccarico di almeno 250 chilogrammi/metro quadrato".*
La prescrizione sopra citata si deve intendere valida strettamente per le solette dei singoli loculi o deve essere estesa anche alle strutture di sostegno dei gruppi di loculi stessi? Ovvero, prendendo ad esempio il caso di una fila di quattro loculi sovrapposti, la struttura di appoggio/sostegno deve essere dimensionata per un carico accidentale complessivo pari a 250x4=1000 kg/mq, oppure si può stimare il peso complessivo di feretro e cassa per ogni loculo e considerare la loro incidenza sulla superficie del loculo stesso, moltiplicata quindi per il numero dei loculi della fila? Inoltre, ai sensi della tab. 3.1.II NTC 2008, detto carico accidentale a quale categoria è ascrivibile?

RISPOSTA

Nel fornire una risposta ai quesiti si riportano alcune considerazioni preliminari.
In primo luogo si osserva che il peso complessivo di feretro e cassa è mediamente pari a 130-150 kg (valore ottenuto dalla somma del peso medio del feretro, circa 80 kg, e di quello della cassa, pari a 50-70 kg). Considerando una superficie media di un loculo pari a circa 2.00 mq, si ottiene un sovraccarico dovuto al peso di cassa e feretro di 75 kg/mq, notevolmente minore del valore di 250 kg/mq previsto dal DPR 285/90.
Al contrario se si considerasse il sovraccarico previsto dalla norma, applicato sull'impronta media di un loculo, si otterrebbe un peso equivalente di cassa e feretro pari a 500 kg, decisamente superiore al valore sopra quantificato.
Si ritiene quindi corretto:

- **dimensionare le solette dei singoli loculi nel rispetto del DPR 285/90 in considerazione del fatto che il peso di cassa e feretro, seppure sensibilmente minore, è concentrato nella parte centrale della struttura e che lo scopo è quello di sovradimensionare le strutture, spesso prefabbricate e di spessore ridotto;**
- **dimensionare le strutture che sostengono i loculi sovrapposti, siano esse fondazioni, solai, o telai metallici o in c.a., per carichi accidentali stimati in base all'effettivo peso di cassa e feretro, ossia considerando per ognuno di essi un carico accidentale pari a 150 kg, distribuito sull'impronta.**

Per quanto riguarda ossari e cinerari, si precisa quanto segue.
Il modello di calcolo, in quanto tale, è una rappresentazione schematica la struttura in progetto. La schematizzazione adottata è stata scelta tenendo conto sia la geometria e dei carichi reali della struttura in progetto, sia delle modalità di elaborazione dei dati del programma di calcolo.
Nello schema di calcolo, ossari e cinerari sono stati posti agli stessi livelli dei loculi. I due livelli ulteriori sono stati assegnati come carichi lineari permanenti, su travi poste al 3° e al 6° impalcato, in corrispondenza dei setti sui quali tali carichi andranno a gravare. L'entità di tali carichi è pari a 970 kg/m, derivante dall'aver moltiplicato i carichi al m^2 sopra indicati, per la larghezza di influenza (2,4/2=1,2 m).
Inoltre, dato che, a livello della copertura, in corrispondenza dei loculi e degli ossari, sono state modellate le solette con spessore di 10 cm, l'ulteriore solaio bausta di chiusura è stato introdotto come carico permanente sui setti e sulle travi sui quali realmente si va ad appoggiare.
Alle solette di copertura, oltre al peso proprio calcolato in automatico, sono stati assegnati i carichi utilizzati per il solaio tipo bausta di copertura.

Di seguito si riporta lo schema grafico dei carchi assegnati.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

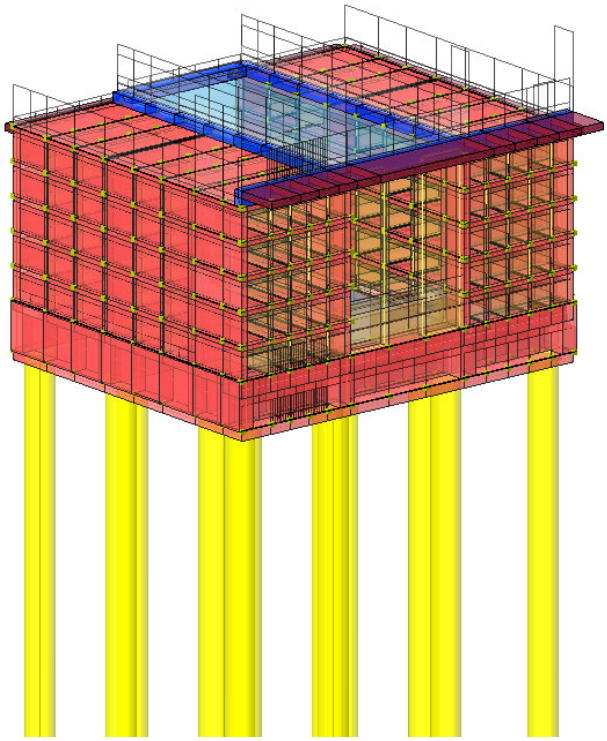


Figura 1 Modello strutturale con carichi applicati – vista frontale

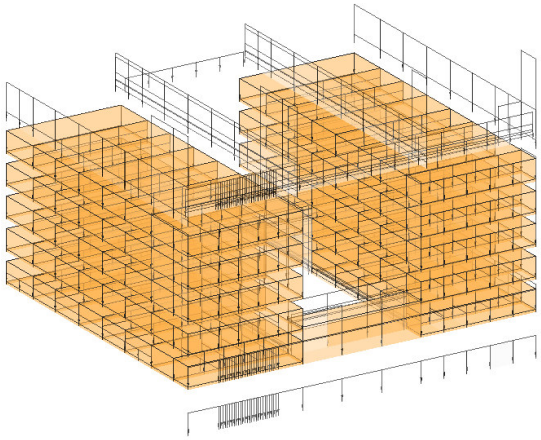


Figura 2 Schema dei soli carichi applicati

Valutazione dell'azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 delle NT

La valutazione degli spettri di risposta per un dato Stato Limite avviene attraverso le seguenti fasi:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, in base ai quali si determina il Periodo di Riferimento dell'azione sismica.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

- Determinazione attraverso latitudine e longitudine dei parametri sismici di base a_g, F_0 e T^*_c per lo Stato Limite di interesse; l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio secondo quanto disposto dall'allegato alle NTC "Pericolosità Sismica" , dove:
  - ag accelerazione orizzontale massima al sito;
  - Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
  - T*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerati, per ogni direzione dell'azione sismica.

Oltre alla determinazione dei parametri sismici del sito si è considerata la tipologia di terreno, la posizione topografica e la tipologia strutturale (classe di duttilità, regolarità, ecc..) che ha condotto alla determinazione dei seguenti spettri di risposta.

Spettri di risposta

Spettro :Spettro q1 NT_ 2018

Gli spettri sono stati calcolati per un terreno di tipo C, categoria topografica T2. Il fattore di comportamento è stato assunto pari a 1, ovvero la struttura è stata progettata assumendo un comportamento strutturale non dissipativo (membrature e collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; par. 7.2.2 NTC 2018)

Vita della struttura	
Tipo	Opere ordinarie (50-100)
Vita nominale(anni)	50.0
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1.000
Periodo di riferimento(anni)	50.000
Stato limite di esercizio - SLD	PVR=63.0%
Stato limite ultimo - SLV	PVR=10.0%
Periodo di ritorno SLD(anni)	TR=50.0
Periodo di ritorno SLV(anni)	TR=475.0

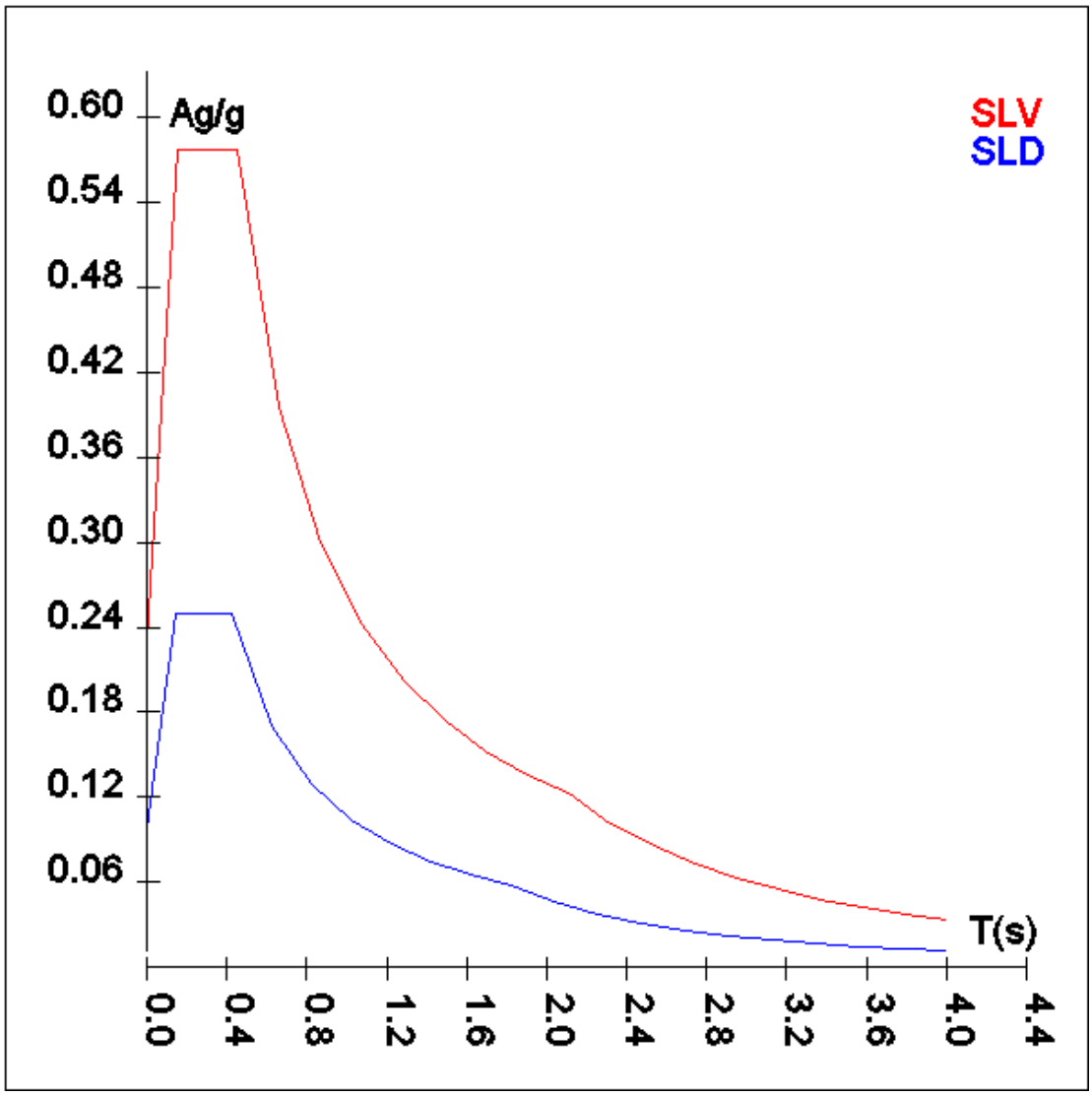
Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Parametri del sito	
Comune	Empoli
Longitudine	10.9455
Latitudine	43.6583
Id reticolo del sito	20498-20499-20277-20276
Valori di riferimento del sito	
Ag/g(TR=50.0) SLD	0.0541
F0(TR=50.0) SLD	2.5658
T*C(TR=50.0) SLD	0.260
Ag/g(TR=475.0) SLV	0.1279
F0(TR=475.0) SLV	2.5011
T*C(TR=475.0) SLV	0.283
Coefficiente Amplificazione Topografica	St=1.200
Categoria terreno C	
stato limite SLV	
	Ss=1.50
	TB=0.15
	TC=0.45
	TD=2.11
stato limite SLD	
	Ss=1.50
	TB=0.14
	TC=0.43
	TD=1.82
Fattore di comportamento (SLV)	
Classe duttilità	B
Fattore per spettro elastico	**1.000**
Fattore di comportamento (SLD)	1.000

TSLV [s]	**SLV**[a/g]	**TSLD** [s]	**SLD**[a/g]
0.00000	0.23028	0.00000	0.09742
0.15041	0.57595	0.14194	0.24997
0.45123	0.57595	0.42582	0.24997
0.65879	0.39449	0.62448	0.17044
0.86635	0.29997	0.82315	0.12931
1.07391	0.24200	1.02182	0.10417
1.28148	0.20280	1.22049	0.08721
1.48904	0.17453	1.41916	0.07500
1.69660	0.15318	1.61782	0.06579
1.90416	0.13648	1.81649	0.05860
2.11172	0.12307	2.03484	0.04670
2.32153	0.10183	2.25319	0.03808
2.53134	0.08565	2.47154	0.03165
2.74115	0.07304	2.68990	0.02672
2.95096	0.06302	2.90825	0.02286

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

3.16077	0.05493	3.12660	0.01978
3.37057	0.04831	3.34495	0.01728
3.58038	0.04281	3.56330	0.01523
3.79019	0.03820	3.78165	0.01352
4.00000	0.03430	4.00000	0.01208



Elementi di fondazione.

Il calcolo della struttura di fondazione è condotto considerando le azioni che la struttura sovrastante le trasmette amplificate per un γRd pari a 1,1 in CD “B” e 1,3 in CD “A”, e comunque non maggiori di quelle derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di comportamento q=1 e non maggiori delle resistenze degli elementi

sovrastanti la fondazione. Le precedenti limitazioni comprendo anche il caso di struttura calcolata con spettro elastico o con q=1.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Metodo di Analisi e criteri di verifica.

Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito in analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare. La masse sono applicate nei nodi del modello queste vengono generate attraverso i carichi agenti sulle membrature che collegano i nodi come la massa relativa alla azione di incastro perfetto del carico considerato. La risposta massima di una generica caratteristica E, conseguente alla sovrapposizione dei modi, è valutata con la tecnica della combinazione probabilistica definita CQC (Complete Quadratic Combination - Combinazione Quadratica Completa):

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$

con:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 \cdot (1+\beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1-\beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1+\beta_{ij}^2)} \qquad \beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

dove:

- n è il numero di modi di vibrazione considerati
- · è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;
- $\cdot_{ij}$ è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state calcolate per varie posizioni dei baricentri delle masse e composte secondo combinazioni di posizioni prestabilite, come riportato in seguito, il risultato di tali combinazioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Per tener conto della eccentricità accidentale delle masse si sono considerate varie posizioni delle masse ad ogni impalcato modificando la posizione del baricentro di una distanza, rispetto alla posizione originaria, come percentuale della dimensione della struttura nella direzione considerata. Le azioni risultanti dai calcoli per le varie posizioni delle masse, in fase di verifica vengono combinati al fine di ottenere le azioni più sfavorevoli; di seguito vengono riportate sia le posizioni che le combinazioni delle masse, le due tabelle vanno lette nel seguente modo:
la prima indica la percentuale delle dimensione della struttura secondo cui viene spostato il baricentro ad ogni impalcato la percentuale è assegnata nelle due direzioni ortogonali secondo cui agisce il sisma, per ognuna di tali posizioni è eseguito un calcolo modale della struttura; la seconda tabella è usata in fase di verifica per la valutazione dell'azione sismica nel seguente modo l'effetto del sisma in una direzione è combinato con quello ortogonale di un'altra posizione con i fattori specificati nelle due colonne:

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Percentuali Spostamento masse impalcati

Posizione	% Spostamento direzione X	% Spostamento direzione Y
1	0	-5
2	5	0
3	0	5
4	-5	0

Combinazioni del Sisma in X e Y e Verticale

Comb	Pos. SismaX	Pos. SismaY	Fx	Fy	Fz
1	1	2	1	0.3	0
2	1	2	0.3	1	0
3	1	4	1	0.3	0
4	1	4	0.3	1	0
5	3	2	1	0.3	0
6	3	2	0.3	1	0
7	3	4	1	0.3	0
8	3	4	0.3	1	0

Comb. = Numero di combinazione dei sismi

Pos. SismaX = Posizione in cui viene scelto il sisma in direzione X

Pos. SismaY = Posizione in cui viene scelto il sisma in direzione Y

Fx = Fattore con cui il sisma X partecipa

Fy = Fattore con cui il sisma Y partecipa

Fz = Fattore con cui il sisma Verticale partecipa (quando richiesto)

Ogni combinazione genera al massimo 8 sotto-combinazioni in base a tutte le combinazioni possibili dei segni di Fx ed Fy ed Fz

Si è considerato un numero di modi di vibrazione sufficiente ad eccitare almeno l'85% della massa sismica in ogni posizione delle masse, di seguito si riportano i risultati salienti dell'analisi modale sia per il calcolo allo Stato Limite Ultimo che per quello di Esercizio.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Azioni sulla struttura

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del **D.M. 17.01.2018**. I carichi agenti sui solai, derivanti dall'analisi dei carichi, vengono assegnati alle aste in modo automatico in relazione all'influenza delle diverse aree di carico. I carichi dovuti ai tamponamenti, sia sulle travi di fondazione che su quelle di piano, sono schematizzati come carichi lineari agenti esclusivamente sulle aste. In presenza di platee il tamponamento è inserito considerando delle speciali aste (aste a sezione nulla) che hanno la sola funzione di riportare il carico su di esse agente nei nodi degli elementi della platea ad esse collegati. Su tutti gli elementi strutturali è inoltre possibile applicare direttamente ulteriori azioni concentrate e/o distribuite. Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, accidentali e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.
I solai, oltre a generare le condizioni di carico per carichi fissi e variabili, generano anche altre condizioni di carico che derivano dal carico accidentale moltiplicati per i coefficienti $\psi 0$, $\psi 1$ e $\psi 2$ da utilizzare per le varie combinazioni di carico e per la determinazione delle masse sismiche.
Le azioni sono state assegnate su aste e piastre, definendo le seguenti condizioni di carico:

Descrizione	**Tipo**
Peso Proprio	Automatica
QP Solai	Automatica
QFissi Solai	Automatica
QV Solai	Automatica
QV SolaiPsi0	Automatica
QV SolaiPsi1	Automatica
QV SolaiPsi2	Automatica
Tamponamento	Automatica
Neve	Utente
Vento X	Utente
Vento Y	Utente
Carichi termici	Utente
G2_loculi_altri perm	Utente
Var_loculi	Utente

In fase di combinazione delle condizioni di carico si è agito su coefficienti moltiplicatori delle condizioni per definirne l'esatto contributo sia in termini di carico che di massa, e sono stati infine definiti gli scenari di calcolo come gruppi omogenei di combinazioni di carico. Di seguito vengono riportate le combinazioni di carico usate per lo Stato Limite Ultimo e per lo Stato Limite di Esercizio. Le verifiche sono riportate nel fascicolo dei calcoli.
Le tabelle riportano nell'ordine:

- il nome della combinazione di carico
- il tipo di analisi svolta: STR=Strutturale, Statica STR=Sismica statica Strutturale, Modale STR=Sismica modale strutturale, SLE Rara=Stato Limite Esercizio combinazione rara, SLE Freq=Stato Limite Esercizio combinazione frequente, SLE Q.Perm=Stato Limite Esercizio combinazione quasi Permanente, GEO=Geotecnica,

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Statica GEO=Sismica Statica Geotecnica, Modale GEO=Sismica modale Geotecnica, STR+GEO=Strutturale+Geotecnica, Statica STR+GEO=Sismica Statica Strutturale+Geotecnica, Modale STR+GEO=Sismica modale Strutturale+Geotecnica, Modale SLE= Combinazione sismica modale con spettro di progetto SLD,Statica SLE=Combinazione sismica statica con spettro di progetto SLD. I termini "**Strutturale**", "**Geotecnica**" e "**Strutturale+Geotecnica**" indicano che la combinazione è usata dal programma per la determinazione delle verifiche di resistenza degli elementi strutturali, delle sole verifiche geotecniche, sia per le verifiche strutturali che geotecniche.

- lo spettro usato, se sismica
- il fattore amplificativo del sisma
- l'angolo di ingresso del sisma, se trattasi di analisi sismica
- il nome della condizione di carico e per ogni condizione di carico
- il fattore di combinazione per i carichi verticali
- se la condizione (con il suo coefficiente di peso) è inclusa nella combinazione (colonna Attiva)
- se la condizione partecipa alla formazione della massa (colonna Massa)
- il fattore con cui partecipa alla formazione della massa (se non è esclusa dalla formazione della massa)

Scenario di calcolo

Scenario : Set_NT_SLV_SLD_A2_STR/GEO_2018

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
1) AD QVSolai	STR+GEO				0.90					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.9	Si	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
2) AD QVSolai	STR+GEO				0.90					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	0.9	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
3) AD Neve	STR+GEO				0.80					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	1.5	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.9	Si	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
4) AD Neve	STR+GEO				0.80					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	1.5	Si	No	1
						Vento X	0.9	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
5) AD VentoX	STR+GEO				0.90					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	1.5	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
6) AD VentoY	STR+GEO				0.90					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1.5	Si	No	1
						Carichi termici	0.9	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
7) AD Termici	STR+GEO				-1.00					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	0.9	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1.5	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
8) AD Termici	STR+GEO				-1.00					
						Peso Proprio	1.3	Si	Si	1
						QP Solai	1.3	Si	Si	1
						QFissi Solai	1.5	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1.5	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1.5	Si	Si	1
						Neve	0.75	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.9	Si	No	1
						Carichi termici	1.5	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1.5	Si	No	1
						Var_loculi	1.5	Si	Si	0.8
9) SISMAX_SLV	Modale STR+GEO	Spettro q1 NT_ 2018	1	0	1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
10) SISMAY_SLV	Modale STR+GEO	Spettro q1 NT_ 2018	1	90	1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	No	Si	0.8
11) AD QVSolai	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	0.6	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
12) AD QVSolai	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.6	Si	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
13) AD Neve	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						Neve	1	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.6	Si	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
14) AD Neve	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	Si	No	1
						Vento X	0.6	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
15) AD VentoX	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	1	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
16) AD vento Y	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	Si	No	1
						Carichi termici	0.6	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
17) AD Termici	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	0.6	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
18) AD Termici	SLE Rara				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	Si	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.5	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.6	Si	No	1
						Carichi termici	1	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	1	Si	Si	0.8
19) AD QVSolai	SLE Freq.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	Si	No	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						QV SolaiPsi2	1	No	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.9	Si	Si	0.8
20) AD Neve	SLE Freq.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0.2	Si	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
21) AD VentoX	SLE Freq.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	0.2	Si	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
22) AD Vento Y	SLE Freq.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	0	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	0.2	Si	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
23) AD Termici	SLE Freq.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	0.5	Si	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
24) Quasi P1	SLE Q.Perm.				1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
25) SISMAX_SLD	Modale SLE	Spettro q1 NT_ 2018	1	0	1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Combinazione	Tipo	Spettro	F.Sisma	α	K mod	Cond.Carico	Fatt. cv.	Attiva	Massa	Fattore m.
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8
26) SISMAY_SLD	Modale SLE	Spettro q1 NT_ 2018	1	90	1.00					
						Peso Proprio	1	Si	Si	1
						QP Solai	1	Si	Si	1
						QFissi Solai	1	Si	Si	1
						QV Solai	1	No	No	1
						QV SolaiPsi0	1	No	No	1
						QV SolaiPsi1	1	No	No	1
						QV SolaiPsi2	1	Si	Si	1
						Tamponamento	1	Si	Si	1
						Neve	1	No	No	1
						Vento X	1	No	No	1
						Vento Y	1	No	No	1
						Carichi termici	1	No	No	1
						G2_loculi_altri perm	1	Si	No	1
						Var_loculi	0.8	Si	Si	0.8

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Codice di calcolo impiegato

Autori:	dott. ing. Dario PICA prof. ing. Paolo BISEGNA dott. ing. Donato Sista
Produzione e distribuzione	SOFT.LAB srl via Borgo II - 82030 PONTE (BN) tel. ++39 (824) 874392 fax ++39 (824) 874431 internet: http://www.soft.lab.it e.mail: info@soft.lab.it
Sigla:	IperSpaceBIM 2.1.0
Licenza n.	Concesso in licenza a BUCELLI SERENA codice utente C04592

Il modello di calcolo assunto è di tipo spaziale e l'analisi condotta è una Analisi Elastica Lineare. Esso è fondamentalmente definito dalla posizione dei nodi collegati da elementi di tipo Beam o elementi di tipo shell a comportamento sia flessionale che membranale. L'elemento finito shell utilizzato è anche in grado di esprimere una rigidezza rotazionale in direzione ortogonale al piano dello shell.

L'analisi sismica utilizzata è l'analisi modale con Combinazione Quadratica Completa degli effetti del sisma. Il modello è stato analizzato sia per le combinazioni dei carichi verticali sia per le combinazioni di carico verticale e sisma. Un particolare chiarimento richiede la definizione delle masse nell'analisi sismica. Pur avendo considerato il modello con impalcati rigidi non si rende necessario calcolare il modello con la metodologia del MASTER-SLAVE, in quanto gli impalcati rigidi sono stati modellati con elementi di tipo shell a comportamento membranale in corrispondenza dei campi di solaio. Per ottenere tale modellazione il programma inserisce in automatico elementi di tipo shell a comportamento membranale in corrispondenza del campo di solaio intercluso tra una maglia di travi, la loro rigidezza membranale è sufficientemente alta da rendere il campo di solaio rigido nel proprio piano, ma tale da non mal condizionare la matrice di rigidezza della struttura. Qualora una maglia di travi non è collegata da solaio lo shell non viene inserito rendendo tale campo libero di deformarsi con il solo vincolo dato dalle travi della. La loro rigidezza flessionale è trascurabile rispetto a quella degli elementi che contornano il campo, per cui lo shell impone un vincolo orizzontale solo nel piano dell'impalcato tra i nodi collegati, quindi non è necessario definire preventivamente definire il centro di massa e momento d'inerzia delle masse, questo perché le masse sono trasferite direttamente nei nodi del modello (modello Lumped Mass) dal codice di calcolo, il metodo per calcolare le masse nei nodi può essere quello per aree di influenza, ma questa richiederebbe l'intervento diretto dell'operatore. Il codice di calcolo utilizza una metodologia leggermente più raffinata per tener

conto del fatto che su un elemento il carico portato non è uniforme, quindi il codice di calcolo considera i carichi presenti sull'asta che sono stati indicati come quelli che contribuiscono alla formazione della massa (tipicamente G + $\psi 2 * Q$) e calcola le reazioni di incastro perfetto verticali, tali reazioni divise per l'accelerazione di gravità g danno il contributo dell'elemento alla massa del nodo, sommando i contributi di tutti gli elementi che convergono nel nodo si ottiene la massa complessiva nel nodo; per gli elementi shell invece si utilizza il metodo delle aree di influenza ossia in ognuno dei 3 oppure 4 nodi che definiscono lo shell si assegna 1/3 oppure ¼ del peso dello shell e 1/3 oppure ¼ dell'eventuale carico variabile ridotto, sommando su tutti gli shell che convergono nel nodo si ottiene la massa da assegnare al nodo.

Modellazione

Ogni struttura modellata è costituita da diversi elementi, distinti in base alla loro funzione.
I livelli di sicurezza scelti in funzione del tipo e dell'uso della struttura, nonché in funzione delle conseguenze del danno, con riguardo a persone, beni, e possibile turbativa sociale, compreso il costo delle opere necessarie per la riduzione del rischio di danno o di collasso, hanno indirizzato al progetto di una struttura con i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU)
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE)
- sicurezza nei confronti di deformazioni permanenti inaccettabili: Stato Limite di Danno (SLD).

La struttura è stata schematizzata con un modello spaziale agli elementi finiti che tengono conto dell'effettivo stato deformativo e di sollecitazione. I vincoli esterni della struttura sono stati caratterizzati, a seconda degli elementi in fondazione con: travi winkler e platee; ovvero con vincoli perfetti di incastro, appoggio, carrello, ecc. I vincoli interni sono stati schematizzati secondo le sollecitazioni mutuamente scambiate tra gli elementi strutturali, inserendo, ove opportuno, il rilascio di alcune caratteristiche della sollecitazione per schematizzare il comportamento di vincoli interni non iperstatici (cerniere, carrelli, ecc.). Il modello agli elementi finiti è stato calcolato tenendo conto dell'interazione tra strutture in fondazione e strutture in elevazione, consentendo un'accurata distribuzione delle azioni statiche e sismiche; il calcolo viene eseguito considerando il comportamento elastico lineare della struttura. I solai sono schematizzati come aree di carico, sulle quali vengono definiti i carichi permanenti (QP Solai), carichi fissi (QFissi Solai) e variabili (QV solai). Tali carichi vengono assegnati alle aste in modo automatico in relazione all'influenza delle diverse aree di carico. Le masse corrispondenti ai carichi variabili sui solai nelle combinazioni sismiche vengono trattate in maniera automatica mediante un coefficiente moltiplicativo definito insieme alla tipologia del solaio.
Il modello utilizzato è stato valutato alla luce dei diversi scenari di carico a cui viene sottoposta la struttura durante la sua costruzione e la sua vita, atto a garantire la sicurezza e la durabilità della stessa. Per la tipologia strutturale affrontata non è stato necessario definire scenari di contingenza, quindi non è stata schematizzata la struttura durante le fasi costruttive, e si ritiene

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

che non ci siano variazioni del modello di calcolo e degli schemi di vincolo, durante la vita dell'opera.

Il progetto e la verifica degli elementi strutturali è stato effettuato seguendo la teoria degli Stati limite.

Il solutore agli elementi finiti impiegato nell'analisi è SpaceSolver, per il calcolo di strutture piane e spaziali schematizzabili da un insieme di elementi finiti tipo

BEAM,

PLATE-SHELL,

WINK,

BOUNDARY,

interagenti tra loro attraverso i nodi, con la possibilità di tenere in conto tutti i possibili disassamenti, mediante l'introduzione di conci rigidi e traslazioni degli elementi bidimensionali. Il solutore lavora in campo elastico lineare, si basa sulle routines di Matlab ed è stato sviluppato in collaborazione con l'Università di Roma – Tor Vergata. Il solutore offre la possibilità di risolvere anche travi su suolo alla Winkler con molle spalmate sull'intera suola, anziché sul solo asse, plinti diretti e su pali, pali singoli, platee, piastre sottili e spesse con controllo delle rotazioni attorno all'asse normale alla piastra (drilling). Inoltre, per gli elementi BEAM considera il centro di taglio e non il baricentro.

L'affidabilità del solutore è stata testata su una serie di esempi campioni calcolati con altri procedimenti o con formule note, di cui si rende disponibile la documentazione.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Affidabilità dei codici utilizzati

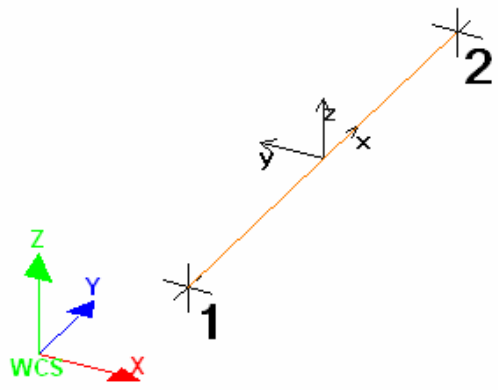
Il programma è dotato di una serie di filtri di auto diagnostica che segnalano i seguenti eventi:

- labilità della struttura
- assenza di masse
- nodi collegati ad aste nulle
- mancanza di terreno sugli elementi in fondazione
- controllo sull'assegnazione dei nodi all'impalcato
- correttezza degli spettri di progetto
- fattori di partecipazione modali
- assegnazione dei criteri di verifica agli elementi
- numerazione degli elementi strutturali
- congruenza delle connessioni tra elementi shell
- congruenza delle aree di carico
- definizione delle caratteristiche d'inerzia delle sezioni
- presenza del magrone sotto la travi tipo wink
- elementi non verificati per semi progetto allo SLU, con inserimento automatico delle armature secondo i criteri di verifica.
- elementi non verificati allo SLU per armature già inserite nell'elemento strutturale
- elementi non verificati allo SLE per armature già inserite nell'elemento strutturale

Presentazione dei risultati

I disegni dello schema statico adottato sono riportati nei fascicoli dei calcoli relativi ad ogni struttura modellata

E' stato impiegato il Sistema Internazionale per le unità di misura, con riferimento al daN per le forze.

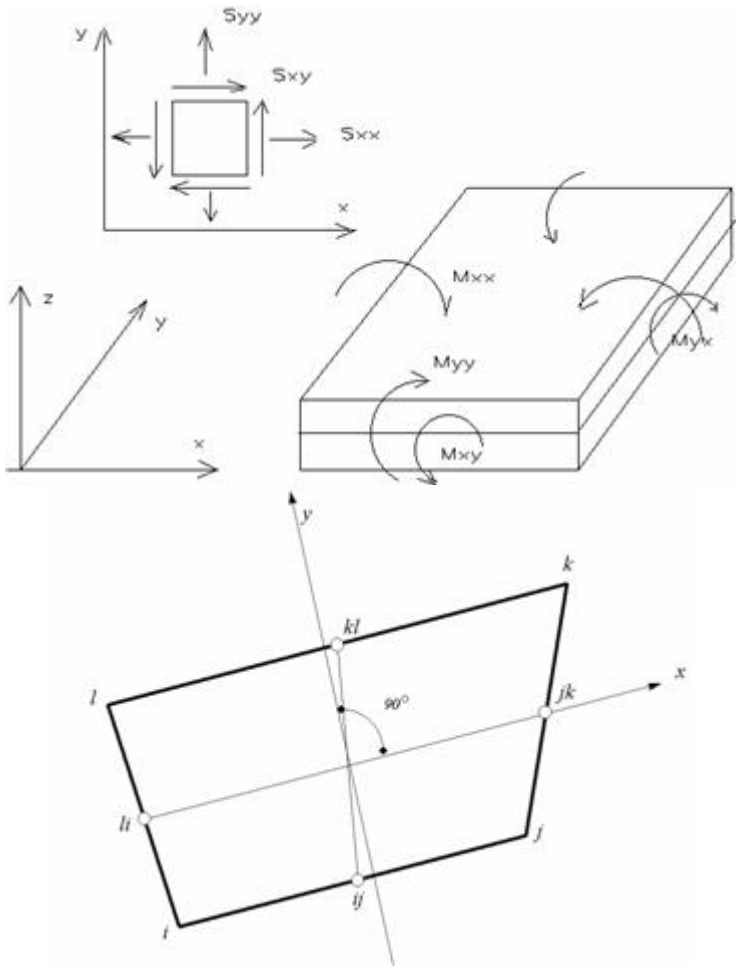


Il sistema di riferimento globale rispetto al quale è stata riferita l'intera struttura è una terna di assi cartesiani sinistrorsa OXYZ (X,Y, e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).
La terna di riferimento locale per un'asta è pure una terna sinistrorsa O'xyz che ha l'asse x orientato dal nodo iniziale I dell'asta verso il nodo finale J e gli assi y e z diretti secondo gli assi geometrici della sezione con l'asse y orizzontale e orientato in modo da portarsi a coincidere con l'asse x a mezzo di una rotazione oraria di 90° e l'asse z di conseguenza.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Per un'asta comunque disposta nello spazio la sua terna locale è orientata in modo tale da portarsi a coincidere con la terna globale a mezzo di rotazioni orarie degli assi locali inferiori a 180°.

Le forze, sia sulle aste che sulle pareti o lastre, sono positive se opposte agli assi locali;
Le forze nodali sono positive se opposte agli assi globali;
Le coppie sono positive se sinistrorse.
Le caratteristiche di sollecitazione sono positive se sulla faccia di normale positiva sono rappresentate da vettori equiversi agli assi di riferimento locali. In particolare il vettore momento positivo rappresenta una coppia che ruota come le dita della mano destra che si chiudono quando il pollice è equi verso all'asse locale.
Le traslazioni sono positive se concorde con gli assi globali;
Le rotazioni sono positive se sinistrorse.
Il sistema di riferimento locale per gli elementi bidimensionali è quello riportato in figura



La terna locale per l'elemento shell è costituita dall'asse x locale che va dal nodo li al nodo jk, l'asse y è diretto secondo il piano dell'elemento e orientato verso il nodo l e l'asse z di

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

conseguenza in modo da formare la solita terna sinistrorsa. L'asse z locale rappresenta la normale positiva all'elemento.

Le sollecitazioni dell'elemento sono:

a) sforzi membranali.

Sxx = sx

Syy = sy

Sxy = txy

b) sforzi flessionali:

Mxx momento flettente che genera sx, cioè intorno ad y.

Myy momento flettente che genera sy, cioè intorno ad x

Mxy momento torcente che genera txy.

Le sollecitazioni principali dell'elemento sono:

$$M_{1,2} = \frac{M_{xx} + M_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{xx} - M_{yy}}{2}\right)^2 + M^2_{xy}}$$

$$S_{1,2} = \frac{S_{xx} + S_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{xx} - S_{yy}}{2}\right)^2 + S^2_{xy}}$$

$$tg2\theta = \frac{M_{xy}}{M_{xx} - M_{yy}}$$

dove q è l'angolo formato dagli assi principali di M1 e M2 con quelli di riferimento e

$$tg2\psi = \frac{S_{xy}}{S_{xx} - S_{yy}}$$

dove è l'angolo formato dagli assi principali di S1 e S2 con quelli di riferimento

L'elemento shell usato come piastra dà i momenti flettenti e non i tagli in direzione ortogonale all'elemento che possono ottenersi come derivazione dei momenti flettenti;

Tzx = Mxx,x + Mxy,y

Tzy = Mxy,y + Myy,y

quando invece viene usato come lastra ci restituisce una 's' costante ed una 't' costante non adatti a rappresentare momenti flettenti, ma solo sforzi normali e tagli nel piano della lastra.

Il tabulato di calcolo (fascicolo A9) contiene due sezioni principali: la descrizione del modello di calcolo e la presentazione dei risultati.

La descrizione del modello di calcolo contiene:

- i dati generali (dimensioni)

- le coordinate nodali;
- i vincoli dei nodi e i vincoli interni delle aste, con le eventuali sconnessioni;
- le caratteristiche sezionali;
- le caratteristiche dei solai;
- le caratteristiche delle aste;
- i carichi sulle aste, sui nodi e sui muri (inclusa la distribuzione delle distorsioni impresse, e delle variazioni e dei gradienti di temperatura);
- le caratteristiche dei materiali;
- legami costitutivi e criteri di verifica;
- le condizioni di carico;

La stampa dei risultati contiene:

- le combinazioni dei carichi;
- le forze sismiche agenti sulla struttura;
- gli spostamenti d'impalcato, se l'impalcato è rigido;
- gli spostamenti nodali;
- le verifiche delle membrature;
- la tensioni sul terreno sotto travi di fondazione o platee;
- i diagrammi significativi delle sollecitazioni.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Verifica degli elementi strutturali

La verifiche di resistenza degli elementi è condotta considerando le sollecitazioni di calcolo ed imponendo che le resistenze siano superiori alle azioni. Gli elementi sono verificati e/o progettati applicando, quando l'analisi non è condotta in campo elastico, la gerarchia delle resistenze in particolare la gerarchia flessione-taglio per la verifica/progetto dell'elemento e la gerarchia pilastro-trave per la determinazione delle resistenze del pilastro. Le verifiche sono condotte secondo i seguenti criteri di verifica validi sia per lo SLU che per lo SLD. I criteri di verifica sono una raccolta di parametri che vengono usati in fase di verifica secondo le esigenze strutturali, ognuno di essi contiene i dati per tutti gli elementi. E' sottointeso che nella verifica di un elemento (es. trave) non sono presi in considerazione i dati relativi agli altri elementi (ad es. se si verifica una trave non sono presi in considerazione i dati relativi a pilastri e shell, così come se si esegue una verifica agli SLU non sono presi in considerazione i dati relativi agli SLE). Ognuno di essi è identificato da un nome a scelta dell'operatore, per cui nei tabulati di verifica il nome del criterio ne identifica i parametri usati. Riguardo alle verifiche agli SLU le resistenze sono determinate in base a quanto specificato dalla norma attraverso il modello plastico-incrudente o elastico-perfettamente plastico, la verifica consiste nel verificare che assegnate le sollecitazioni di verifica le deformazioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio siano inferiori a quelle ultime ciò equivale ad affermare che nello spazio tridimensionale N,My,Mz il punto rappresentativo delle sollecitazioni è interno al dominio di resistenza della sezione.

Le verifiche agli SLE riguardano le verifiche di:

- deformabilità degli impalcati con $\delta <= 0.0050*h$
- fessurazione
- tensioni in esercizio

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Criteri di verifica

Criterio di verifica: CLS_Pali		
Generici		
Resistenza caratteristica Rck	kg/cmq	350
Tensione caratteristica snervamento acciaio fyk	kg/cmq	4500
Deformazione unitaria εc0		0.002
Deformazione ultima εcu		0.0022
εfu (solo incrudimento)		0.00187
Modulo elastico E acciaio	kg/cmq	2E06
Copriferro di calcolo	cm	4.5
Copriferro di disegno	cm	2.5
Coefficiente di sicurezza γCls		1.5
Coefficiente di sicurezza γAcc		1.15
Riduzione fcd calcestruzzo		0.85
Usa staffe minime di normativa in assenza di sisma		Si
Usa staffe minime di normativa in presenza di sisma		Si
Generici N.T.		
Inclinazione bielle compresse cotg(θ)		1.00
Modello acciaio		Incrudente
Incrudimento Ey/E0		0.000
Elemento esistente		No
Generici D.M. 96 T.A.		
Tensione ammissibile □c	kg/cmq	110.0
Tensione ammissibile □c in trazione	kg/cmq	34.0
Tensione ammissibile □c acciaio	kg/cmq	2600.0
Tensione tangenziale ammissibile □c0	kg/cmq	6.7
Tensione tangenziale massima □c1	kg/cmq	19.7
Coefficiente di omogeneizzazione n		15
Coefficiente di omogeneizzazione n in trazione		0.5
Sezione interamente reagente		No
Fessurazioni		
Verifica a decompressione		No
Verifica formazione fessure		No
Verifica aperture fessure		No
Tensioni ammissibili di esercizio		
Verifica Combinazione Rara		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	174
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione QP		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	131
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione Freq.		No
Coeffcienti di omogeneizzazione		
Acciaio - Cls compresso		15

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Cls teso - Cls compresso		0.5
Armatura pali		
Diametro ferri palo	mm	20
Percentuale minima armatura superiore palo	%	1
Per una lunghezza di		10Ø
Percentuale minima armatura fusto palo		0.5
Massima percentuale armatura rispetto al Cls	%	6
Incremento angolo di attrito strato alla punta per carico limite punta dei pali battutti	°	0
Pali singoli		
Vincola pali in testa in direzione X		Si
Vincola pali in testa in direzione Y		Si
Verifica plinti/pali		
Copriferro verifiche	cm	4.0
Step armatura di verifica	cmq	0.50
Resistenza a taglio per elementi non armati		No
Verifica a pressoflessione deviata		Si
Verifica D.M. 96 plinti/pali		
Coefficiente di sicurezza per carico limite verticale □V		3.000
Coefficiente di sicurezza per carico limite orizzontale □H		1.700
Coefficiente di gruppo per carico limite verticale □v		1.000
Coefficiente di gruppo per carico limite orizzontale □h		1.000
Verifica N.T. plinti/pali		
Tecnologia pali		Trivellati
Coefficiente parziale sicurezza alla base □b		1.350
Coefficiente parziale sicurezza laterale in compressione □s		1.150
Coefficiente parziale sicurezza laterale in trazione □st		1.250
Coefficiente parziale sicurezza per carico limite orizzontale □T		1.300
Coefficiente di gruppo per carico limite verticale □v		1.000
Coefficiente di gruppo per carico limite orizzontale □h		1.000
Parametri meccanici del terreno		Valori medi
Numero di verticali indagate		2
Coefficiente di correlazione in funzione delle verticali □3		1.650
Coefficiente di correlazione in funzione delle verticali □4		1.550
Stampa plinti/pali		
Stampa verifiche per tutte le combinazione di carico		No
Stampa verifiche fusto pali		Si
Stampa verifiche per tutti i pali		No

Criterio di verifica: CLS_TraviAlte		
Generici		
Resistenza caratteristica Rck	kg/cmq	350
Tensione caratteristica snervamento acciaio fyk	kg/cmq	4500
Deformazione unitaria □c0		0.002
Deformazione ultima □cu		0.0022
εfu (solo incrudimento)		0.00187
Modulo elastico E acciaio	kg/cmq	2E06

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Copriferro di calcolo	cm	4.6
Copriferro di disegno	cm	3.0
Coefficiente di sicurezza □Cls		1.5
Coefficiente di sicurezza □Acc		1.15
Riduzione fcd calcestruzzo		0.85
Usa staffe minime di normativa in assenza di sisma		Si
Usa staffe minime di normativa in presenza di sisma		No
Generici N.T.		
Inclinazione bielle compresse cotg(θ)		1.00
Modello acciaio		Incrudente
Incrudimento Ey/E0		0.005
Elemento esistente		No
Generici D.M. 96 T.A.		
Tensione ammissibile □c	kg/cmq	110.0
Tensione ammissibile □c in trazione	kg/cmq	34.0
Tensione ammissibile □c acciaio	kg/cmq	2600.0
Tensione tangenziale ammissibile □c0	kg/cmq	6.7
Tensione tangenziale massima □c1	kg/cmq	19.7
Coefficiente di omogeneizzazione n		15
Coefficiente di omogeneizzazione n in trazione		0.5
Sezione interamente reagente		No
Fessurazioni		
Verifica a decompressione		No
Verifica formazione fessure		No
Verifica aperture fessure		Si
Classe di esposizione		XC3
Tipo armatura		Poco sensibile
Combinazione Rara		No
Combinazione QP		Si
W ammissibile Combinazione QP	mm	0.300
Combinazione Freq.		Si
W ammissibile Combinazione Freq.	mm	0.400
Valore caratteristico apertura fessure wk(*wm)		1
fc efficace	kg/cmq	28.35
Coefficiente di breve o lunga durata kt		0.40
Coefficiente di aderenza k1		0.80
Tensioni ammissibili di esercizio		
Verifica Combinazione Rara		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	174
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione QP		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	131
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione Freq.		No
Coeffcienti di omogeneizzazione		
Acciaio - Cls compresso		15
Cls teso - Cls compresso		0.5
Armatura travi		
Numero di bracci delle staffe		2

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Numero minimo di ferri superiori		2
Numero minimo di ferri inferiori		2
Numero minimo di ferri di parete		1
Numero reggistaffe superiori		0
Numero reggistaffe intermedi		0
Numero reggistaffe inferiori		0
Diametro ferri superiori	mm	16
Diametro ferri inferiori	mm	16
Diametro staffe	mm	8
Percentuale armatura rispetto alla base per verifica a taglio	%	100.00
Minima percentuale armatura compressa rispetto alla tesa	%	50.00
Minima percentuale armatura rispetto al Cls	%	0.31
Massima percentuale armatura rispetto al Cls	%	1.55
Calcolo travi		
Traslazione momento		Si
Verifica travi		
Verifica a torsione		No
Verifica a pressoflessione retta		No
Trave a spessore		No
Verifica N.T. travi		
Trave tozza		Si
Gerarchia Flessione-Taglio		No
Escludi dalla gerarchia trave-pilastro		No
Verifica a taglio travi		
Coefficiente di sovraresistenza □Rd		1.2
Includi effetto spinotto nel taglio		Si
Includi effetto della pressoflessione nel taglio		Si
Verifica a taglio N.T. travi		
Coefficiente di sovraresistenza γRd (CDA)		1.2
Coefficiente di sovraresistenza γRd (CDB)		1.1
Verifica Duttilta' N.T. 2018		
Verifica di duttilita'		NO
Fattore confinamento minimo		1.000
Calcolo Fattore confinamento		NO
Verifica a taglio D.M. 96 T.A. travi		
Percentuale taglio alle staffe	%	60
Percentuale taglio ferri parete	%	40
Considera la resistenza a taglio VRDns		NO
Stampa travi		
Stampa informazioni relative all'asse neutro		Si

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Criterio di verifica: CLS_Muri-20		
Generici		
Resistenza caratteristica Rck	kg/cmq	350
Tensione caratteristica snervamento acciaio fyk	kg/cmq	4500
Deformazione unitaria □c0		0.002
Deformazione ultima □cu		0.0022
εfu (solo incrudimento)		0.00187
Modulo elastico E acciaio	kg/cmq	2E06
Copriferro di calcolo	cm	3.1
Copriferro di disegno	cm	2.5
Coefficiente di sicurezza γCls		1.5
Coefficiente di sicurezza γAcc		1.15
Riduzione fcd calcestruzzo		0.85
Usa staffe minime di normativa in assenza di sisma		Si
Usa staffe minime di normativa in presenza di sisma		No
Generici N.T.		
Inclinazione bielle compresse cotg(θ)		1.00
Modello acciaio		Incrudente
Incrudimento Ey/E0		0.005
Elemento esistente		No
Generici D.M. 96 T.A.		
Tensione ammissibile σc	kg/cmq	110.0
Tensione ammissibile σc in trazione	kg/cmq	34.0
Tensione ammissibile σc acciaio	kg/cmq	2600.0
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	kg/cmq	6.7
Tensione tangenziale massima τc1	kg/cmq	19.7
Coefficiente di omogeneizzazione n		15
Coefficiente di omogeneizzazione n in trazione		0.5
Sezione interamente reagente		No
Fessurazioni		
Verifica a decompressione		No
Verifica formazione fessure		No
Verifica aperture fessure		Si
Classe di esposizione		XC3
Tipo armatura		Poco sensibile
Combinazione Rara		No
Combinazione QP		Si
W ammissibile Combinazione QP	mm	0.300
Combinazione Freq.		Si
W ammissibile Combinazione Freq.	mm	0.400
Valore caratteristico apertura fessure wk(*wm)		1
fc efficace	kg/cmq	28.35
Coefficiente di breve o lunga durata kt		0.40
Coefficiente di aderenza k1		0.80
Tensioni ammissibili di esercizio		
Verifica Combinazione Rara		Si

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Tensione ammissibile σCls	kg/cmq	174
Tensione ammissibile σAcciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione QP		Si
Tensione ammissibile σCls	kg/cmq	131
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione Freq.		No
Coeffcienti di omogeneizzazione		
Acciaio - Cls compresso		15
Cls teso - Cls compresso		0.5
Armatura muri		
Minima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione X	%	0.1
Minima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione Y	%	0.1
Massima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione X	%	2
Massima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione Y	%	2
Verifica muri		
Step incremento armatura	cmq	0.01
Verifica muri come pareti		No

Criterio di verifica: CLS_TraviSpessore 25		
Generici		
Resistenza caratteristica Rck	kg/cmq	350
Tensione caratteristica snervamento acciaio fyk	kg/cmq	4500
Deformazione unitaria □c0		0.002
Deformazione ultima □cu		0.0022
εfu (solo incrudimento)		0.00187
Modulo elastico E acciaio	kg/cmq	2E06
Copriferro di calcolo	cm	4.1
Copriferro di disegno	cm	2.5
Coefficiente di sicurezza □ Cls		1.5
Coefficiente di sicurezza □Acc		1.15
Riduzione fcd calcestruzzo		0.85
Usa staffe minime di normativa in assenza di sisma		Si
Usa staffe minime di normativa in presenza di sisma		No
Generici N.T.		
Inclinazione bielle compresse cotg(θ)		1.00
Modello acciaio		Incrudente
Incrudimento Ey/E0		0.005
Elemento esistente		No
Generici D.M. 96 T.A.		
Tensione ammissibile □c	kg/cmq	110.0
Tensione ammissibile □c in trazione	kg/cmq	34.0
Tensione ammissibile □c acciaio	kg/cmq	2600.0
Tensione tangenziale ammissibile □c0	kg/cmq	6.7
Tensione tangenziale massima □c1	kg/cmq	19.7
Coefficiente di omogeneizzazione n		15
Coefficiente di omogeneizzazione n in trazione		0.5
Sezione interamente reagente		No

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Fessurazioni		
Verifica a decompressione		No
Verifica formazione fessure		No
Verifica aperture fessure		Si
Classe di esposizione		XC3
Tipo armatura		Poco sensibile
Combinazione Rara		No
Combinazione QP		Si
W ammissibile Combinazione QP	mm	0.300
Combinazione Freq.		Si
W ammissibile Combinazione Freq.	mm	0.400
Valore caratteristico apertura fessure wk(*wm)		1
fc efficace	kg/cmq	28.35
Coefficiente di breve o lunga durata kt		0.40
Coefficiente di aderenza k1		0.80
Tensioni ammissibili di esercizio		
Verifica Combinazione Rara		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	174
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione QP		No
Verifica Combinazione Freq.		No
Coeffcienti di omogeneizzazione		
Acciaio - Cls compresso		15
Cls teso - Cls compresso		0.5
Armatura travi		
Numero di bracci delle staffe		2
Numero minimo di ferri superiori		2
Numero minimo di ferri inferiori		2
Numero minimo di ferri di parete		0
Numero reggistaffe superiori		0
Numero reggistaffe intermedi		0
Numero reggistaffe inferiori		0
Diametro ferri superiori	mm	16
Diametro ferri inferiori	mm	16
Diametro staffe	mm	8
Percentuale armatura rispetto alla base per verifica a taglio	%	100.00
Minima percentuale armatura compressa rispetto alla tesa	%	100.00
Minima percentuale armatura rispetto al Cls	%	0.31
Massima percentuale armatura rispetto al Cls	%	1.55
Calcolo travi		
Traslazione momento		Si
Verifica travi		
Verifica a torsione		No
Verifica a pressoflessione retta		No
Trave a spessore		Si
Verifica N.T. travi		
Trave tozza		No
Gerarchia Flessione-Taglio		No

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Escludi dalla gerarchia trave-pilastro		No
Verifica a taglio travi		
Coefficiente di sovraresistenza □Rd		1.2
Includi effetto spinotto nel taglio		Si
Includi effetto della pressoflessione nel taglio		Si
Verifica a taglio N.T. travi		
Coefficiente di sovraresistenza □Rd (CDA)		1.2
Coefficiente di sovraresistenza □Rd (CDB)		1.1
Verifica Duttilta' N.T. 2018		
Verifica di duttilita'		NO
Fattore confinamento minimo		1.000
Calcolo Fattore confinamento		NO
Verifica a taglio D.M. 96 T.A. travi		
Percentuale taglio alle staffe	%	1e+02
Percentuale taglio ferri parete	%	0
Considera la resistenza a taglio VRDns		NO
Stampa travi		
Stampa informazioni relative all'asse neutro		Si

Criterio di verifica: CLS_Muri-10		
Generici		
Resistenza caratteristica Rck	kg/cmq	350
Tensione caratteristica snervamento acciaio fyk	kg/cmq	4500
Deformazione unitaria □c0		0.002
Deformazione ultima □cu		0.0022
εfu (solo incrudimento)		0.00187
Modulo elastico E acciaio	kg/cmq	2E06
Copriferro di calcolo	cm	2.9
Copriferro di disegno	cm	2.5
Coefficiente di sicurezza □Cls		1.5
Coefficiente di sicurezza □Acc		1.15
Riduzione fcd calcestruzzo		0.85
Usa staffe minime di normativa in assenza di sisma		Si
Usa staffe minime di normativa in presenza di sisma		No
Generici N.T.		
Inclinazione bielle compresse cotg(θ)		1.00
Modello acciaio		Incrudente
Incrudimento Ey/E0		0.005
Elemento esistente		No
Generici D.M. 96 T.A.		
Tensione ammissibile □c	kg/cmq	110.0
Tensione ammissibile □c in trazione	kg/cmq	34.0
Tensione ammissibile □c acciaio	kg/cmq	2600.0
Tensione tangenziale ammissibile □c0	kg/cmq	6.7
Tensione tangenziale massima □c1	kg/cmq	19.7
Coefficiente di omogeneizzazione n		15
Coefficiente di omogeneizzazione n in trazione		0.5

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Sezione interamente reagente		No
Fessurazioni		
Verifica a decompressione		No
Verifica formazione fessure		No
Verifica aperture fessure		Si
Classe di esposizione		XC3
Tipo armatura		Poco sensibile
Combinazione Rara		No
Combinazione QP		Si
W ammissibile Combinazione QP	mm	0.300
Combinazione Freq.		Si
W ammissibile Combinazione Freq.	mm	0.400
Valore caratteristico apertura fessure wk(*wm)		1
fc efficace	kg/cmq	28.35
Coefficiente di breve o lunga durata kt		0.40
Coefficiente di aderenza k1		0.80
Tensioni ammissibili di esercizio		
Verifica Combinazione Rara		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	174
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione QP		Si
Tensione ammissibile □Cls	kg/cmq	131
Tensione ammissibile □Acciaio	kg/cmq	3600
Verifica Combinazione Freq.		No
Coeffcienti di omogeneizzazione		
Acciaio - Cls compresso		15
Cls teso - Cls compresso		0.5
Armatura muri		
Minima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione X	%	0.2
Minima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione Y	%	0.2
Massima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione X	%	2
Massima percentuale armatura rispetto al Cls in direzione Y	%	2
Verifica muri		
Step incremento armatura	cmq	0.01
Verifica muri come pareti		No

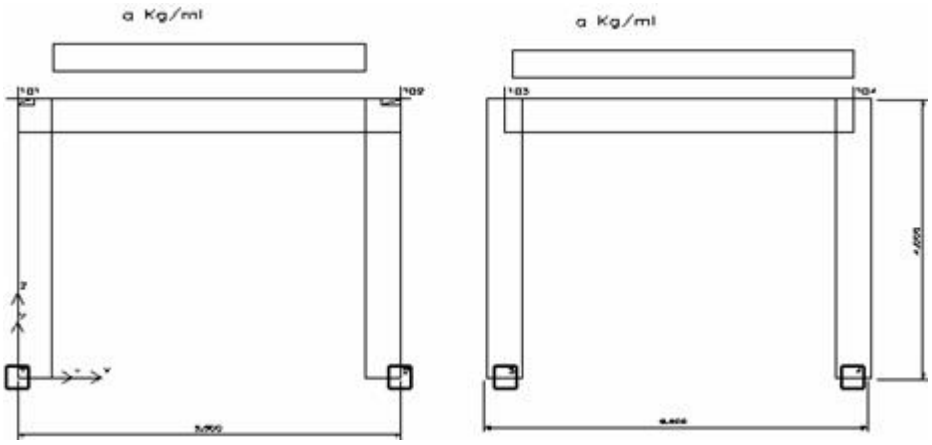
Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Validazione del calcolo

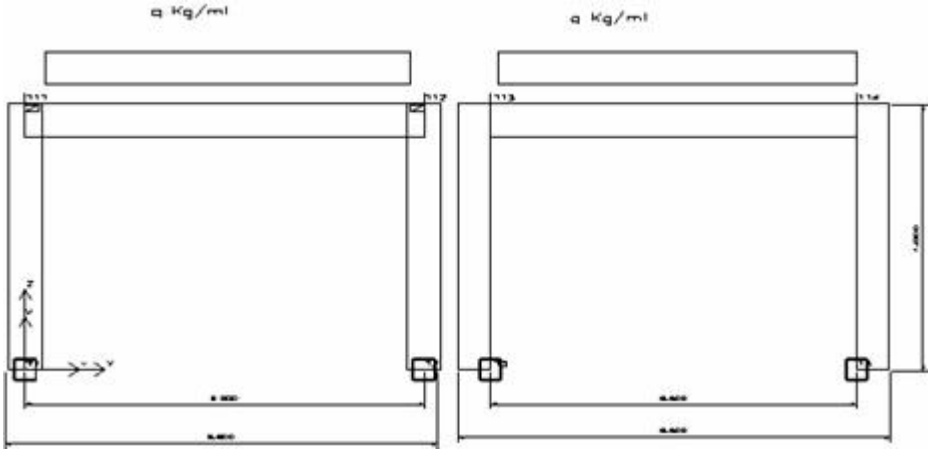
La valutazione sulla correttezza dei dati in ingresso e sulla accuratezza dei risultati è stata effettuata sia mediante le visualizzazioni grafiche del post processore sia mediante il controllo dei tabulati numerici, confrontando i risultati di alcuni elementi con quelli ottenuti calcolando gli stessi con metodi semplificati.

A conferma dell'attendibilità dei risultati forniti dal programma, si allegano due dei casi prova messi a disposizione dalla casa produttrice.

CASO PROVA 1 - Influenza della posizione dei nodi rispetto agli assi delle aste



I due portali sono due strutture identiche, ma il primo ha la luce teorica (da nodo a nodo) del traverso di lunghezza maggiore (5.50>5.00) e i risultati di calcolo sono diversi; se però si introducono nel traverso del primo telaio dei conci rigidi pari a 25 cm, cioè mezzo pilastro, allora la luce flessibile dei due telai coincide praticamente e i risultati sono perfettamente coincidenti.



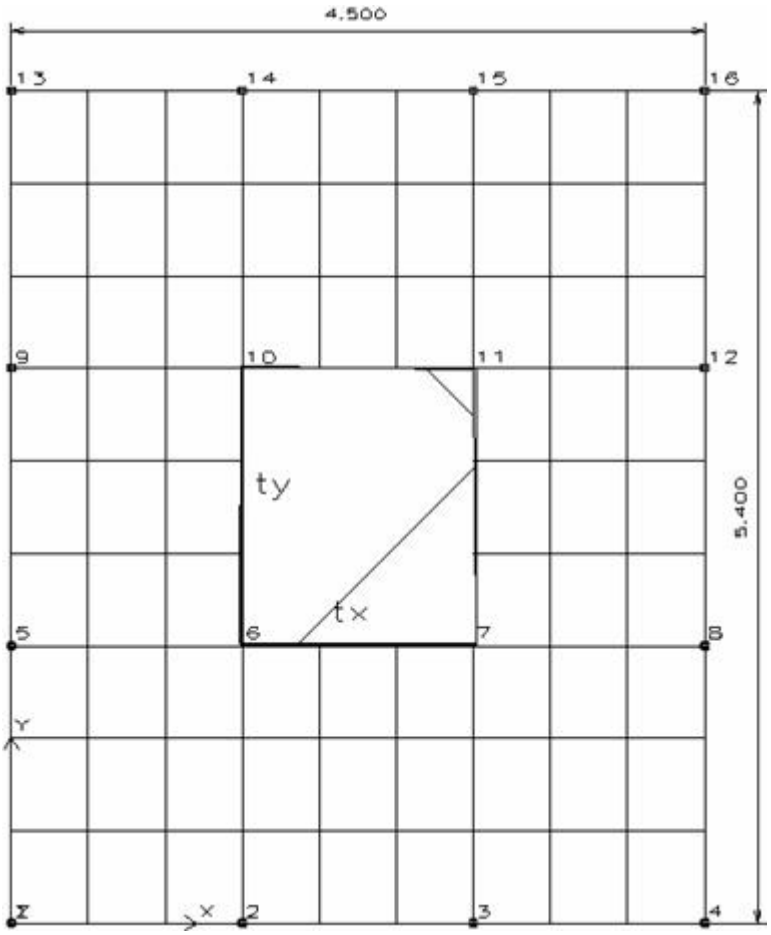
Anche in questo esempio i portali sono due strutture identiche, però il traverso del primo è più lungo e quindi i risultati saranno gli stessi se vengono introdotti sul traverso del primo portale dei conci rigidi pari a metà pilastro.

In entrambi gli esempi (anziché introdurre i conci rigidi) si potevano avere gli stessi risultati modificando il filo fisso del traverso del primo portale rispettivamente 8585 per l'esempio I e 8684 per l'esempio II.

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

Concludendo qualunque sia la posizione dei nodi rispetto agli assi delle travi e dei pilastri, le sollecitazioni (vengono prese sugli assi delle aste) sono sempre le stesse se la geometria 3D è la stessa e si scelgono oculatamente i fili fissi o si introducono i conci rigidi. Al riguardo si ribadisce che lo schema di calcolo è quello 3D e NON lo schema unifilare. Infine si fa notare che l'equilibrio nel nodo (ad esempio N° 101) non sussiste in quanto le sollecitazione nel traverso vengono prese sull'asse dello stesso, mentre le sollecitazioni del pilastro vengono prese nel nodo e quindi in punti diversi. Per l'equilibrio quindi non bisogna prendere in considerazione solo i momenti, ma anche gli effetti delle altre sollecitazioni sul nodo rigido.

CASO PROVA 2 - Piastra rettangolare



Siano Lx ed Ly i lati della piastra (Ly >= Lx) e tx ty i corrispondenti lati del rettangolo caricato, si ha:

p carico uniforme;

P = p . tx . ty carico totale;

Mxm = axm . P momento al centro, agente parallelamente al lato Lx (cioè nella sezione di mezzeria parallela al lato Ly);

Mym = aym . P momento al centro, agente parallelamente al lato Ly (cioè nella sezione di mezzeria parallela al lato Lx).

Nel caso in esame essendo:

Lx = 4.5 [m]; Ly = 5.4 [m]; tx = 1.5 [m]; ty = 1.8 [m]; p = 5000 [dN/mq]; si ha:

Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it

P = 13500 [dN]

e per n = 0 sarà: axm = 0.1377; aym = 0.1050 e pertanto si ha:

Mxm = 1860 [dNm]; Mym = 1418 [dNm].

Se consideriamo la piastra discretizzata come in figura (9 x 9) con IperSpace si hanno i seguenti valori:

Mxx =1731 [dNm]; Myy = 1314 [dNm] con un errore < 8 %

Se la discretizzazione è di 15 x 15 elementi i valori sono:

Mxx = 1810 [dNm]; Myy = 1382 [dNm] con un errore < 3 %

Se la discretizzazione è di 21 x 21 elementi i valori sono:

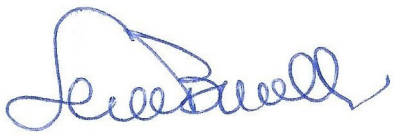
Mxx = 1832 [dNm]; Myy = 1400 [dNm] con un errore < 1.5 %.

Vinci, 22/11/2019

Il progettista

C.F. BCL SRN 70M46 D403O

Ordine Ingegneri Firenze n. 3931



Ing. Serena Bucelli
Via F. Filzi n. 31- Sovigliana
50059 Vinci (FI)
E-mail: s.bucelli@strutturalmente.it