

■ Relazione di calcolo e software strutturale

I software costruiscono automaticamente la *Relazione di calcolo* riportando, su indicazione dell'utente, i dati di input e di output, numerici e grafici che il progettista ritiene necessari a una presentazione chiara ed esauriente delle proprie ipotesi e verifiche strutturali. L'esempio riportato, eseguito con il modulo 3D di *Travilog Titanium*, è proposto dalla Logical Soft.

L'utente può intervenire riordinando, semplificando e adattando al proprio progetto la relazione proposta dal programma.

Si è preferito non intervenire né sul linguaggio né sui contenuti dell'elaborato, che rappresenta un esempio di *relazione professionale*.

Si noti:

- la completezza dei riferimenti normativi (paragrafo 4);
- le modalità (riprese dalla normativa) delle prove di accettazione dei materiali (paragrafo 6);
- la classificazione ambientale del sito di costruzione (paragrafo 7);
- le descrizioni molto dettagliate delle caratteristiche del codice di calcolo (paragrafo 8).



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Edificio in Zona 4

via G.Garibaldi
Milano (MI)



1. Premessa

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica, in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Relativamente al progetto in oggetto il documento descrive in particolare le modalità operative di applicazione della normativa vigente.

Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento. Si riporta di seguito in proposito l'insieme delle verifiche strutturali, atte a garantire la resistenza ed il comportamento della struttura sia in condizioni di esercizio che sotto l'azione di eventi di carico straordinari.

Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

2. Descrizione dell'opera

La presente relazione illustra la progettazione ed il calcolo degli elementi strutturali previsti nel progetto di nuova costruzione di un edificio residenziale in calcestruzzo armato con copertura in legno lamellare situato nel comune di Milano, in zona sismica 4.

L'organismo edilizio presenta 2 piani fuori terra, di cui uno mansardato, ad esclusivo uso abitativo ed un piano parzialmente interrato adibito a box e cantine.

Il complesso presenta uno sviluppo planimetrico costituito dall'associazione di tre blocchi disallineati, con rapporto tra lato minore e lato maggiore di circa 1/2. Le caratteristiche dimensionali principali sono:

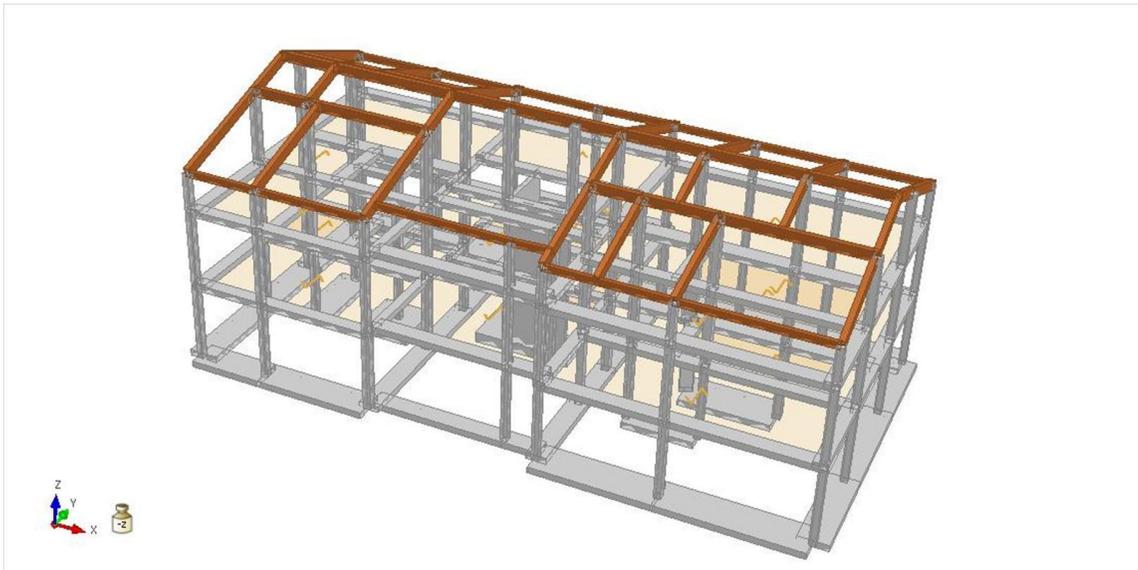
- Volume complessivo: 2550 m³;
- superficie in pianta: 300 m²;
- altezza massima: 9,50 m;
- altezza in gronda: 7,50 m;
- lunghezza massima: 23,53 m;
- larghezza massima: 11,87 m;

La tipologia strutturale prevede pilastri a gabbia di calcestruzzo armato connessi tra loro da travi in c.a. gettate in opera. Nel corpo centrale si inseriscono due setti in calcestruzzo a sostegno della scala di distribuzione verticale tra i piani.

I solai del piano terra e del piano primo sono in laterocemento con travetti semi-prefabbricati a traliccio, pignatte con funzione di alleggerimento di spessore 24 cm e cappa superiore in calcestruzzo e vermiculite.

Il carico proveniente dalla sovrastruttura viene trasferito al terreno mediante l'impiego di fondazioni dirette, travi rovesce e plinti, al di sotto dei pilastri e due platee al di sotto dei setti e del pilastro a sostegno della scala interna al primo dei tre corpi. Le prove effettuate in situ indicano un terreno tra il piano di imposta delle fondazioni ed il substrato di riferimento con caratteristiche di resistenza mediamente buona.

La struttura oggetto dell'analisi prevede un normale affollamento, non possiede caratteristiche di pericolosità per l'ambiente o funzioni pubbliche o sociali rilevanti.



4. Riferimenti normativi

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

Normativa nazionale

- *Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008*
"Norme Tecniche per le Costruzioni 2008"
- *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617*
"Circolare applicativa delle NTC2008 D.M. 14.01.2008 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)"
- *Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.*
"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. (G.U. 5-2-1996, N. 29)"
- *Circolare 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG.*
"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996"
- *Decreto Ministeriale 16 Gennaio 1996*
"Carichi e sovraccarichi - Norme tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, e dei carichi e sovraccarichi'. (G.U. 5-2-1996, N. 29)"
- *Circolare 4 luglio 1996, n. 156 AA.GG./STC.*
"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996. (G.U. 16-9-1996, n. 217 - supplemento)"
- *Decreto Ministeriale 9 Gennaio 1996*
"Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. (Da utilizzarsi nel calcolo col metodo degli stati limite) (G.U. 5-2-1996, N. 29)"
- *Circolare 15 ottobre 1996, n. 252 AA.GG./S.T.C.*
"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996. (G.U. 26-11-1996, n. 277 - suppl.)"
- *Decreto Ministeriale 20 novembre 1987*
"Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento. (Suppl. Ord. alla G.U. 5-12-1987, n. 285)"
- *Decreto Ministeriale dell'11-3-1988*
"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle opere di fondazione"
- *Decreto Ministeriale dell'14-2-1992 **
"Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche". (G.U. 18-3-1992, N. 65)

Eurocodici

- *UNI ENV 1993-1-1 del 30-06-1994 e A1 del 31-10-1998*
"Eurocodice 3, parte 1-1 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali e regole per gli edifici".
- *UNI ENV 1993-1-2 del 31-05-1998*
"Eurocodice 3, parte 1-2 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Progettazione della resistenza all'incendio".
- *UNI ENV 1993-1-3 del 31-01-2000*
"Eurocodice 3, parte 1-3 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".
- *UNI ENV 1993-1-4 del 31-10-1999*
"Eurocodice 3, parte 1-4 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Criteri supplementari per acciai inossidabili".

* *Metodo di calcolo alle tensioni ammissibili, con riferimento al § 2.7 delle Norme Tecniche del 2008*

Relativamente ai metodi di calcolo, è d'obbligo il Metodo agli stati limite di cui al § 2.6 delle Norme Tecniche del 2008.

È ammesso il Metodo di verifica alle Tensioni Ammissibili limitatamente ai casi che ricalcano i seguenti criteri:

- costruzioni di tipo 1 (opere provvisorie, opere provvisoriale, strutture in fase costruttiva con vita nominale < 10 anni) e di tipo 2 (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale con vita nominale > 50 anni);
- costruzioni di classe d'uso I (costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.) o di classe d'uso II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti);
- costruzioni in siti ricadenti in Zona 4.

Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle norme tecniche del 2008.

5. I materiali

I materiali ed i prodotti ad uso strutturale, utilizzati nelle opere oggetto della presente relazione, rispondono ai requisiti indicati dal capitolo 11 del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Questi sono stati identificati univocamente dal produttore, qualificati sotto la sua responsabilità ed accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Sulla base delle verifiche effettuate in sito ed in conformità alle disposizioni normative vigenti si prevede per la realizzazione del progetto in analisi l'adozione dei materiali di seguito descritti.

Descrizione	
Nome: C25/30 Classe di resistenza: C25/30 Descrizione:	Tipologia del materiale: calcestruzzo
Caratteristiche del calcestruzzo	
Densità ρ : 24.525 N/m ³ Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} : 24,9 N/mm ² Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} : 2,6 N/mm ² Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 5% $f_{ctk,5}$: 1,8 N/mm ² Modulo Elastico E_{cm} : 30.045,1 N/mm ² Coefficiente di dilatazione termica lineare α_t : 1E-05 Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo γ_c : 1,5 Resistenza a trazione di progetto, frattile 5% $f_{ctd,5}$: 1,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica a compressione R_{ck} : 2,9 N/mm ² Resistenza cilindrica media f_{cm} : 32,9 N/mm ² Resistenza media a flessione f_{ctm} : 3,1 N/mm ² Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 95% $f_{ctk,95}$: 3,3 N/mm ² Coefficiente di Poisson ν : 0,20 Coefficiente correttivo per la resistenza a compressione α_{cc} : 0,85 Resistenza a compressione di progetto f_{cd} : 14,1 N/mm ² Resistenza a trazione di progetto, frattile 95% $f_{ctd,95}$: 2,2 N/mm ²

6. Prove di accettazione

In questo paragrafo si riportano alcune indicazioni sui materiali impiegati per la realizzazione della costruzione al fine di garantire in fase di progetto la qualità e la resistenza degli stessi con riferimento a quanto richiesto nei capitoli 2 e 11 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008. Si forniscono in particolare importanti indicazioni in merito alle prove di accettazione del calcestruzzo, fornendo una stima del numero minimo di prelievi da effettuare per rendere attendibile la prova. E' compito del direttore dei lavori, rispetto ai criteri di accettazione dei materiali da costruzione, acquisire e verificare la documentazione di qualificazione e la marcatura CE dei materiali.

Controlli di qualità del calcestruzzo

Prelievo dei campioni

La seguente indicazione è una stima preventiva del numero di prelievi minimi di calcestruzzo da eseguire per attestare le caratteristiche dei materiali in uso; sarà compito del Direttore dei Lavori attestare che il prelievo di calcestruzzo sia effettuato in sua presenza, o in presenza di una persona da lui incaricata, e che siano così preparati i provini necessari in conformità a quanto prescritto dalle norme UNI EN 12390-1: 2002 e UNI EN 12390-2: 2002.

Classe	Quantità [m ³]	n° prelievi	Rck [N/mm ²]
Non presenti			

Controllo di tipo A (§ 11.2.5.1 delle NTC 2008)

Il controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³. Ogni controllo di accettazione di tipo A è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea. Ne risulta quindi un controllo di accettazione ogni 300 m³ di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo. Nelle costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

Controllo di tipo B (§ 11.2.5.2 delle NTC 2008)

Nella realizzazione di opere strutturali che richiedano l'impiego di più di 1500 m³ di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B). Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m³ di calcestruzzo. Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m³. Se si eseguono controlli statistici accurati, l'interpretazione dei risultati sperimentali può essere svolta con i metodi completi dell'analisi statistica assumendo anche distribuzioni diverse dalla normale. Si deve individuare la legge di distribuzione più corretta ed il valor medio unitamente al coefficiente di variazione (rapporto tra deviazione standard e valore medio). In questo caso la resistenza minima di prelievo R1 dovrà essere maggiore del valore corrispondente al frattile inferiore 1%.

Per calcestruzzi con coefficiente di variazione (s / R_m con s scarto quadratico medio e R_m resistenza media dei prelievi) superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.6 delle NTC 2008. Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0,3.

Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Al fine di validare, ma non sostituire, le prove di accettazione effettuate vengono riportate le prove previste per il calcestruzzo in opera.

L'analisi e la progettazione dell'opera non hanno alcun riferimento a elementi strutturali in cemento armato esistenti. Pertanto non viene prevista alcuna prova per il calcestruzzo in opera.

Prove complementari

Vengono qui riportate anche le prove eseguite per condizioni particolari di utilizzo e di messa in opera del calcestruzzo.

In fase progettuale non viene definita, né prevista, alcuna prova complementare di resistenza rispetto alle prove di accettazione del calcestruzzo già indicate.

7. Durabilità

Per garantire il requisito di durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si delineano qui di seguito le condizioni ambientali del sito dove sorgerà la costruzione. Tali condizioni possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III delle NTC 2008, con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Prospetto delle classi di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (riferimento a UNI EN 206-1)

X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato
XC2	Bagnato, raramente asciutto
XC3	Umidità moderata
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato
XD1	Umidità moderata
XD2	Bagnato, raramente asciutto
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua
XS2	Permanentemente sommerso
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1

Facendo riferimento a quanto indicato negli estratti normativi per l'individuazione e la classificazione delle condizioni ambientali, il sito di realizzazione dell'opera è classificabile come XC1.

L'opera infatti non è influenzata da particolari condizioni idrologiche e le parti strutturali in cemento armato risultano sufficientemente schemate in misura delle variazioni termoigrometriche previste.

In termini di protezione contro la corrosione delle armature metalliche l'ambiente è quindi definito come 'Ordinario'.

Copriferro minimo e regole di maturazione.

In fase di progetto vengono quindi prescritti, ai fini della durabilità dell'opera, i valori di copri ferro minimo e le regole di maturazione del calcestruzzo impiegato.

In funzione delle verifiche di resistenza e degli stati limite di fessurazione viene indicato come valore minimo di copri ferro:

$$c = 4 \text{ cm}$$

Per la fase di maturazione del calcestruzzo, oltre ad indicare il rispetto della buona pratica costruttiva e delle consuete regole di realizzazione del getto, è indicata una velocità 'MEDIA' di sviluppo della resistenza ed una maturazione della superficie del calcestruzzo in 3 giorni.

Eventuali prove di durabilità

Vengono inoltre previste le seguenti prove di penetrazione agli agenti aggressivi e di permeabilità, secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 12390-8: 2002.

In fase progettuale non viene definita alcuna prova specifica di durabilità. La previsione di queste prove e la definizione attuativa delle stesse viene demandata al tecnico eventualmente incaricato di effettuarle, nelle modalità e con la definizione tecnologica più appropriata definibili al momento dell'incarico.

8. Caratteristiche dell'Analisi e del Codice di Calcolo

L'analisi strutturale del progetto e le relative verifiche effettuate sono state condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. In conformità con quanto richiesto dalle NTC 2008 § 10.2 si riportano di seguito le caratteristiche riguardanti la tipologia di analisi svolta ed il codice di calcolo utilizzato.

8.1 Analisi svolta

Tipo di analisi svolta	Analisi sismica statica equivalente (metodo semplificato Zona 4)
Metodo numerico adottato	Metodo di calcolo agli elementi finiti
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas
Metodo di verifica	Verifica agli stati limite

Elementi adottati

Il telaio in oggetto è stato modellato con 2 tipologie di elemento finito:

- ASTA adatto per elementi aventi proprietà riconducibili a un comportamento unidirezionale, utilizzato in questo progetto per la modellazione di TRAVI, PILASTRI e TRAVI DI FONDAZIONE.
- SHELL per elementi aventi proprietà riconducibili a un comportamento bidimensionale, utilizzato in questo progetto per la modellazione dei setti al piano terra e piano primo.

8.2 Origine e Caratteristiche del Codice di Calcolo

Software	TRAVILOG TITANIUM 2 1
Autore, produttore e distributore	Logical Soft s.r.l – via Garibaldi 253, 20033 Desio (MB)
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas

La licenza di utilizzo del codice di calcolo è concessa da Logical Soft s.r.l a:

Logical Soft, Codice Cliente: 47927

Via Garibaldi, 253, 20832, Desio - MB

Numero di serie: 5296

Codice di abilitazione: 5YG5VENLQ9S29EFXGKVGfVQQLCT45A6

8.3 Caratteristiche dell'Elaboratore

Sistema Operativo	Sistema Operativo Nome: Microsoft® Windows Vista™ Home Premium Versione: 6.0.6002.131072 RAM: 3069 MByte
Processore	Processore computer Tipo CPU: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T7500 @ 2.20GHz x64 Family 6 Model 15 Stepping 11 Velocità CPU: 2201 MHz
Scheda Video	Scheda grafica Descrizione: NVIDIA GeForce 8600M GS Versione Driver: 7.15.11.5672 Modalità video: 1280 x 800 x 4294967296 colori Processore video: GeForce 8600M GS Accelerazione: sconosciuta RAM: 256 MByte

(cfr. NTC2008 - § 10.2)

8. Descrizione del codice di calcolo

In questo paragrafo si fornisce un inquadramento teorico relativo alle metodologie di calcolo ed all'impostazione generale impiegata nel software di calcolo ad elementi finiti *TRAVILOG TITANIUM 2*, utilizzato nella modellazione della struttura.

Codice di calcolo

Il codice di *TRAVILOG TITANIUM 2* è stato sviluppato da Logical Soft s.r.l. in linguaggio Visual Studio 2008 e .Net Framework 2.0 e non può essere modificato o manipolato dall'utente. In allegato alla relazione si accludono alcuni test effettuati al fine di certificare l'affidabilità del codice di calcolo relativamente ad alcuni semplici casi prova, riportando analisi teorica, soluzione fornita da *TRAVILOG TITANIUM 2* ed altro codice di calcolo di confronto. Il solutore a elementi finiti utilizzato dal programma è XFinest 8.1, prodotto da Harpaceas s.r.l. La bontà del solutore è certificata direttamente da CEAS s.r.l., produttore di XFinest 8.1. Per maggiori dettagli in merito si consiglia di consultare le specifiche relative al solutore di calcolo.

Metodo numerico adottato

Il software esegue l'analisi della struttura tramite **metodo di calcolo agli elementi finiti**, ovvero mediante la costruzione di un modello matematico costituito da un numero definito di elementi discreti, per ognuno dei quali è stata definita analiticamente una relazione tra forze e spostamenti. Da queste relazioni il programma assembla quindi la matrice di rigidezza e calcola la risposta dell'intera struttura.

Caratteristiche del modello

Ogni telaio, realizzato con materiali caratterizzati da comportamento perfettamente elastico, è modellato con 2 tipologie di elemento finito:

- **Tipo asta**, adatto per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento unidirezionale.

L'elemento asta è calcolato mediante funzioni di forma cubiche. Le matrici di rigidezza e di massa associate all'elemento sono costituite sulla base della teoria delle travi snelle, tipo Eulero – Bernoulli. Il programma mostra i diagrammi delle azioni interne discretizzando l'elemento in 17 punti di calcolo.

Se l'asta ha proprietà di suolo elastico, il software valuta le azioni interne e le pressioni sul terreno secondo la teoria delle travi su suolo elastico alla Winkler.

L'elemento finito di XFinest, al cui manuale si rimanda per maggiori dettagli, è l'elemento MBEAM.

- **Tipo shell** (elemento finito tipo QF46) per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento bidimensionale.

Il tipo di elemento utilizzato può lavorare in regime membranale e flessionale e, grazie alla linearità del sistema, i due effetti possono essere considerati separatamente.

L'elemento finito QF46 utilizzato è isoparametrico, basato sulla teoria dei gusci secondo Mindlin – Reissner. È adatto sia per gusci spessi che sottili, non contiene modi spuri, consente di valutare i tagli fuori piano e può degenerare in un triangolo. Tutte le componenti del tensore delle deformazioni sono integrate nel piano medio con ordine di integrazione gaussiana 2×2 . Per maggiori dettagli si può fare riferimento al manuale di XFinest.

Tipologie di analisi svolte dal software

La scelta del metodo di analisi è effettuata dal progettista a seconda delle prescrizioni previste dalla normativa. Tali prescrizioni dipendono in generale dalla destinazione d'utilizzo della struttura, dalla forma in pianta e dallo sviluppo in altezza della stessa, nonché dalla zona sismica di riferimento. Il software esegue i seguenti metodi di analisi:

- **Analisi statica.** La struttura è soggetta a carichi statici, distribuiti o concentrati, applicati alle aste, ai nodi o agli elementi shell.

L'equazione risolvente in tal caso ha la seguente forma:

$$F = K x$$

dove:

F è il vettore dei carichi agenti sulla struttura

K è la matrice di rigidezza

x è il vettore di spostamenti e rotazioni (gradi di libertà del sistema).

- **Analisi sismica statica.** Se la struttura possiede le caratteristiche previste dalla normativa, l'azione del sisma può essere modellata con un sistema di forze di piano equivalenti, valutate e assegnate in funzione della rigidezza degli elementi. La precedente diventa pertanto:

$$F + F_s = K x$$

dove:

F_s è il vettore dei carichi sismici equivalenti agenti sulla struttura, valutati in base alle relative norme di riferimento.

- **Analisi sismica dinamica modale.** In questo caso il programma valuta un comportamento inerziale della struttura, attribuendo un'accelerazione al sistema di riferimento terreno, secondo uno spettro sismico previsto dalla normativa in funzione della classificazione del territorio e altri parametri.

$$M \ddot{x} + K x = - M \ddot{u}$$

dove:

M è la matrice di massa della struttura

K è il vettore delle accelerazioni sismiche applicate al terreno

U è il vettore delle accelerazioni imposte

Gli effetti dinamici dovuti al comportamento inerziale della struttura e l'effetto dei carichi statici vengono successivamente combinati, secondo opportuni coefficienti stabiliti dalla norma.

Formulazione del metodo

Il software esegue il calcolo ad elementi finiti formulando un'analisi di tipo lineare. In questo caso la matrice di rigidezza non varia durante lo sviluppo dell'analisi, considerando l'approssimazione per piccoli spostamenti. Sotto tali ipotesi valgono i seguenti benefici:

- Vale il principio di sovrapposizione degli effetti.
- Non influisce la sequenza di applicazione dei carichi sulla struttura.
- La precedente storia di carico della struttura non ha alcuna influenza, pertanto gli sforzi residui possono essere trascurati.

L'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti permette di considerare indipendentemente le ipotesi di carico elementari, per poi combinarle secondo opportuni coefficienti di partecipazione. In questo modo è possibile calcolare la risposta come una combinazione lineare di carichi elementari, rendendo il processo di analisi estremamente efficiente. Le non linearità trascurate in questo tipo di analisi sono le seguenti:

- Non linearità dovuta a effetti geometrici. Grandi spostamenti e rotazioni possono introdurre significativi cambiamenti di forma e orientamento, variando drasticamente la rigidezza totale della struttura.
- Non linearità delle caratteristiche dei materiali, legate al legame costitutivo o a eventuali anisotropie.
- Non linearità delle condizioni di vincolo.
- Non linearità dei carichi. La direzione di applicazione può variare in funzione della deformata della struttura.

Metodo di risoluzione del problema dinamico

La risoluzione del problema dinamico a n gradi di libertà si basa su un **metodo di sovrapposizione modale**. Tale metodo permette di trasformare un sistema di equazioni accoppiate a un sistema di equazioni disaccoppiate, utilizzando le proprietà di ortogonalità di autovalori e autovettori, ovvero i modi di vibrare della struttura. Lo studio della struttura non necessita dell'estrazione di tutti gli autovalori, ma solo di una parte significativa di essi, secondo limiti previsti dalle norme. Il metodo utilizzato dal software per l'estrazione degli autovalori è il metodo di *Lanczos*, adatto anche per matrici non simmetriche a termini complessi. Nel calcolo della risposta sismica i contributi derivanti dai singoli modi sono combinati secondo il metodo *CQC*, che consente di tener conto delle singole componenti modali X_k , ottenute da una combinazione quadratica delle componenti X_{kj} secondo opportuni coefficienti.

Metodi di verifica svolti dal software

TRAVILOG TITANIUM 2 è in grado di eseguire analisi di sezioni e di verificare il comportamento delle strutture secondo due metodi principali di verifica:

- **Tensioni ammissibili.** I carichi sono applicati alla struttura con il loro valore nominale. Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per opportuni coefficienti ottenendo delle tensioni massime a cui potranno lavorare i materiali stessi. Tali tensioni risultano al di sotto del limite elastico convenzionale.
- **Stati limite.** Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per dei coefficienti di sicurezza ottenendo dei valori limite in campo plastico. I carichi di esercizio, accidentali o permanenti vengono incrementati secondo opportuni coefficienti definiti dalla normativa (vedi in seguito). Il programma valuta diverse condizioni di stato limite:
 - o **Stato limite ultimo.** La normativa prevede in questo caso che la struttura sia soggetta in condizioni straordinarie a carichi che possano causare il collasso della stessa, quali ad esempio l'evento sismico.
 - o **Stato limite di esercizio.** Anche in questo caso il calcolo della struttura è effettuato incrementando i carichi secondo opportuni coefficienti. A differenza del caso precedente però la struttura è soggetta a carichi in condizioni di esercizio, sotto l'azione dei quali devono prodursi deformazioni controllate, che non impediscano il funzionamento previsto. Esistono tre diverse condizioni di esercizio: **Rara, Frequente, Quasi permanente.**
 - o **Stato limite di danno.** È il caso in cui la struttura è soggetta a forze di natura sismica. La verifica al danno è da effettuarsi sugli spostamenti.

La scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende dalle prescrizioni previste dalle normative vigenti.

Sistemi di riferimento

Il programma possiede 2 diversi tipi di sistema di riferimento:

- **Riferimento globale.**

Il sistema di riferimento è definito da una terna cartesiana destrorsa, valido per tutti gli elementi della struttura e non dipende dal particolare orientamento di parti di essa.

I vincoli esterni, le reazioni vincolari e gli spostamenti nodali calcolati sono riferiti alla terna globale



La terna di riferimento globale

- **Riferimento locale.**

In questo caso il sistema di riferimento è ancora definito da una terna cartesiana destrorsa, l'orientamento del quale varia elemento per elemento. Le azioni interne sono sempre riferite alla terna locale

- o **Riferimento locale per le Aste.** Per l'elemento asta la direzione x è coincidente con l'asse baricentrico dell'asta stessa, mentre y e z sono perpendicolari ad x e diretti secondo gli assi principali d'inerzia della sezione assegnata all'asta. Secondo l'impostazione di default y è diretto secondo la direzione di azione del peso, a meno di rotazioni assegnate alla sezione. Selezionando un'asta TRAVILOG TITANIUM 2 mostra la terna locale: asse locale X rosso, asse locale Y verde, asse locale Z blu.



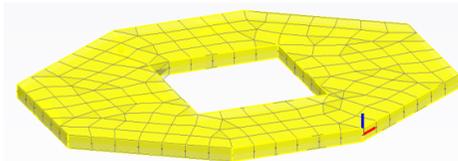
Terna locale dell'elemento asta

- o **Riferimento locale per gli elementi shell.** Per gli elementi bidimensionali TRAVILOG TITANIUM 2 trasforma le azioni interne in un unico sistema di riferimento.

Il riferimento adottato dipende da come vengono costruiti i macro elementi dai quali verrà generata automaticamente la mesh di calcolo:

Elemento poligonale. Si tratta di un macro elemento poligonale o quadrangolare a mesh regolare. La terna locale è così definita:

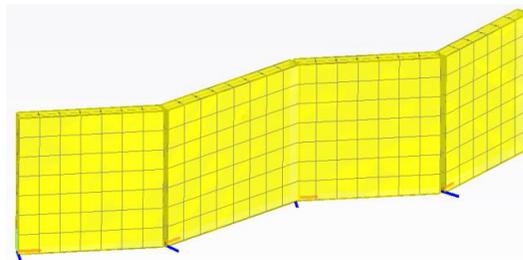
asse X locale (rosso) con origine nel primo nodo cliccato e in direzione primo nodo – secondo nodo. Asse Y locale (verde) ortogonale a X locale, complanare all'elemento ed in direzione del terzo nodo. Asse Z locale (blu) ortogonale al macro elemento. Per questo tipo di elemento è anche possibile definire fori poligonali. La mesh può essere generata manualmente (solo per elementi quadrangolari) o automaticamente.



Esempi terna locale elemento poligonale ed elemento quadrangolare

Elemento estruso (Muro o Nucleo):

Si tratta di un macro elemento a mesh regolare generato per estrusione in direzione delle forze peso a partire da una traccia. Per ciascuna faccia piana la terna locale è definita nel seguente modo: Asse locale X (rosso) lungo i nodi della traccia. Asse locale Y (verde) diretto come la direzione di estrusione. Asse locale Z (blu) ortogonale alla faccia a formare una terna destra con X e Y.



Esempio terne locali elemento nucleo estruso

9. Azioni e Carichi sulla struttura

Con riferimento al paragrafo 2.5.1.3 delle NTC 2008, le azioni che investono la struttura sono classificate in relazione alla durata della loro presenza nell'arco della vita di progetto come:

- **permanenti (G):** azioni con sufficiente approssimazione costanti nel tempo, tra le quali:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- **variabili (Q):** azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- **sismiche (E):** azioni derivanti dai terremoti.

L'effetto delle azioni viene valutato ai fini delle verifiche con l'approccio semiprobabilistico agli stati limite, secondo diverse combinazioni:

- **Combinazione fondamentale SLU** dei carichi, impiegata per gli stati limite ultimi

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione caratteristica CA rara**, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione frequente FR**, impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione quasi permanente QP**, impiegata per gli effetti a lungo termine

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Nella verifica allo stato limite ultimo si distinguono le combinazioni **EQU**, **STR** e **GEO** (cfr NTC 2008 § 2.6.1), rispettivamente definite come: stato limite di equilibrio EQU, che considera la struttura ed il terreno come corpi rigidi; stato limite di resistenza della struttura STR, da riferimento per tutti gli elementi strutturali, e stato limite di resistenza del terreno GEO.

Nelle verifiche STR e GEO possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali: per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza complessiva, nell'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

Coefficienti parziali per le azioni [cfr. NTC 2008 Tabella 2.6.I].

		Coefficiente γ_f	EQU	STR	GEO
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Le Norme Tecniche prescrivono i valori dei coefficienti ψ in dipendenza dalle caratteristiche della funzione di ripartizione di ciascuna azione: si ammette infatti che, assieme alle azioni permanenti, esistano combinazioni di azioni in cui una sola azione è presente al valore caratteristico mentre le altre hanno intensità ridotte $\psi_0 Q_k$.

Le categorie di azioni variabili ed i rispettivi coefficienti di combinazione utilizzati nell'applicazione dei carichi al modello sono riportati nella tabella seguente:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Permanenti	1,00	1,00	1,00
Permanenti non strutturali	1,00	1,00	1,00
Categoria A (domestici e residenziali)	0,70	0,50	0,30
Categoria B (uffici)	0,70	0,50	0,30
Categoria C (aree di congresso)	0,70	0,70	0,60
Categoria D (aree di acquisto)	0,70	0,70	0,60
Categoria E (magazzini, Archivi, scale)	1,00	0,90	0,80
Categoria F (Peso veicoli \leq 30kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G (Peso veicoli \leq 160kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H (tetti)	0,00	0,00	0,00
Carichi da Neve	0,70	0,50	0,20
Carichi da Neve sotto 1000m	0,50	0,20	0,00
Carichi da Vento	0,60	0,20	0,00
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

9.1 Analisi dei carichi

L'edificio è soggetto a carichi esterni dovuti alla presenza di elementi non strutturali ed alla distribuzione di carichi permanenti e accidentali. I carichi di superficie agenti sui solai sono riassumibili nelle seguenti analisi di carico per le quali si esprime nel dettaglio la composizione.

Solaio in latero cemento (Norme Tecniche 2008)

Carichi permanenti

Peso proprio solaio	3200 N/m ²
Pavimento	400 N/m ²
Malta di allettamento	630 N/m ²
Sottofondo calcestruzzo	980 N/m ²
Intonaco	200 N/m ²
Tramezzi	1000 N/m ²
Totale	6410 N/m²

Carichi permanenti non strutturali

-	-
---	---

Carichi accidentali

Categoria A	2000 N/m ²
Totale	2000 N/m²

10. Dati azione sismica

10.1 Caratteristiche del sito

Comune: Milano

Provincia: MI

Longitudine: 9,1815 °

Latitudine: 45,4773 °

Categoria di sottosuolo: A

Amplificazione topografica: T1

Zona sismica: 4

10.2 Caratteristiche dell'edificio

Accelerazione metodo semplificato zona 4:
0.07g

Nodo riferimento: 1

11. Il modello di calcolo

Il modello di calcolo è realizzato agli elementi finiti e rispecchia la regolarità in pianta ed in altezza del progetto strutturale a tre impacati fuori terra in calcestruzzo armato.

La tipologia strutturale prevede pilastri a gabbia di calcestruzzo armato connessi tra loro da travi in c.a. gettate in opera. Nel corpo centrale si inseriscono due setti in calcestruzzo a sostegno della scala di distribuzione verticale tra i piani.

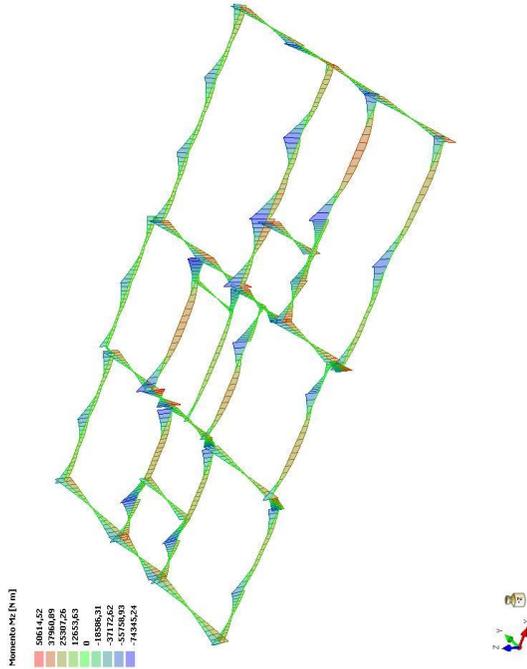
I solai del piano terra e del piano primo sono in laterocemento con travetti semi-prefabbricati a traliccio, pignatte con funzione di alleggerimento di spessore 24 cm e cappa superiore in calcestruzzo e vermiculite.

Per i dati di input numerico si vedano le tabelle riportate in allegato.

14. Principali risultati

14.1 Azione flettente sulle travi

Di seguito si riportano le azioni di momento flettente sulle travi del piano terra.



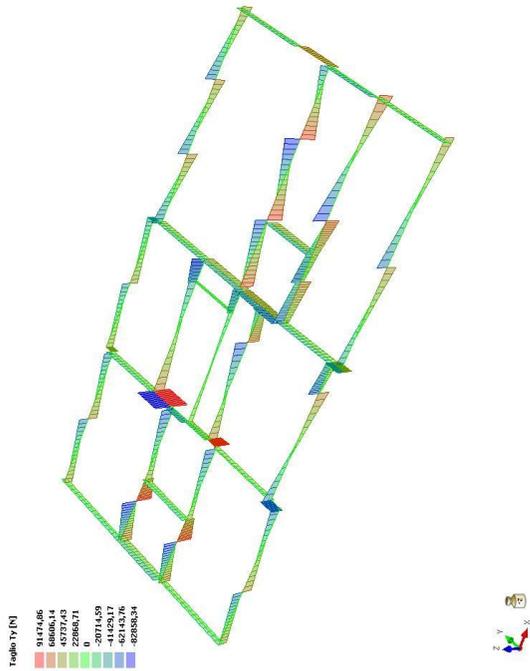
Asta	Momento x max [N·m]	Ascissa [m]	Momento x min [N·m]	Ascissa [m]	Momento y max [N·m]	Ascissa [m]	Momento y min [N·m]	Ascissa [m]	Momento z max [N·m]	Ascissa [m]	Momento z min [N·m]	Ascissa [m]
33	2.136	0,00	0	0,00	0	4,77	0	0,00	41,368	2,23	-64,166	5,09
34	5.699	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,41	0	1,41	-35,651	0,00
35	0	0,00	-2,051	0,00	0	3,43	0	0,00	4,632	0,91	-9,180	3,66
36	8.199	0,00	0	0,00	0	2,60	0	2,44	27,508	2,60	-24,292	0,00
37	3.808	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,80	35,905	0,00	-38,425	1,80
38	0	0,00	-1,257	0,00	0	0,00	0	3,56	2,737	2,89	-12,606	0,00
39	0	0,00	-1,833	0,00	0	0,00	0	3,25	11,567	1,42	-25,055	3,25
40	2.083	0,00	0	0,00	0	0,00	0	3,05	12,401	1,83	-23,838	0,00
41	176	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,72	3,734	0,80	-7,879	1,83
42	963	0,00	0	0,00	0	1,14	0	0,00	5,237	1,22	-12,009	0,00
43	798	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,46	5,439	0,00	-36,775	1,46

44		0	0,00	-1,276	0,00	0	5,25	0	4,92	52,785	2,62	-89,271	0,00
45	8,398	0,00	0,00	0	0,00	0	2,85	0	3,04	31,801	1,14	-67,830	3,04
46	0	0,00	0,00	-322	0,00	0	3,55	0	3,33	25,960	1,77	-55,565	0,00
47	0	0,00	0,00	-2,174	0,00	0	3,05	0	2,86	10,741	1,33	-40,083	3,05
48	203	0,00	0,00	0	0,00	0	2,32	0	2,48	182	0,00	-10,758	2,48
49	0	0,00	0,00	-899	0,00	0	2,98	0	0,00	6,351	2,80	-8,027	0,00
50	0	0,00	0,00	-6,819	0,00	0	0,67	0	0,63	766	0,25	-87	0,67
51	0	0,00	0,00	-5,500	0,00	0	0,00	0	2,40	3,838	0,00	-5,507	2,40
52	6,978	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00	0	3,11	1,487	1,55	-3,104	3,11
53	0	0,00	0,00	-14,682	0,00	0	0,35	0	0,00	1,833	0,38	-11,627	0,00
54	0	0,00	0,00	-2,026	0,00	0	3,48	0	3,26	14,972	1,74	-31,552	3,48
55	350	0,00	0,00	0	0,00	0	3,54	0	0,00	17,971	1,99	-32,202	0,00
56	0	0,00	0,00	-276	0,00	0	4,31	0	4,04	4,426	1,89	-5,933	4,31
57	0	0,00	0,00	-17	0,00	0	2,81	0	0,00	1,930	2,06	-6,425	0,00
58	1,448	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00	0	4,31	4,240	2,69	-9,779	0,00
59	0	0,00	0,00	-2,118	0,00	0	3,99	0	0,00	22,807	2,13	-40,851	0,00
60	0	0,00	0,00	-1,056	0,00	0	0,00	0	2,76	9,891	1,55	-25,430	0,00
61	32,042	0,00	0,00	0	0,00	0	0,63	0	0,00	17,707	0,67	-24,837	0,00
62	0	0,00	0,00	-6,089	0,00	0	0,00	0	3,41	15,570	0,00	-15,791	3,63
63	0	0,00	0,00	-781	0,00	0	3,41	0	0,00	30,764	2,50	-56,194	0,00
64	0	0,00	0,00	-3,894	0,00	0	1,16	0	1,09	14,481	0,00	-61,322	1,16
65	696	0,00	0,00	0	0,00	0	2,07	0	0,00	8,751	1,38	-30,680	0,00
66	0	0,00	0,00	-1,975	0,00	0	2,90	0	2,72	3,996	1,99	-3,114	0,00
67	170	0,00	0,00	0	0,00	0	3,64	0	0,00	35,719	2,50	-57,688	0,00
68	0	0,00	0,00	-2,030	0,00	0	0,00	0	1,09	13,330	0,00	-64,270	1,16
69	4,697	0,00	0,00	0	0,00	0	2,21	0	0,00	8,899	1,38	-33,039	0,00

Asta	Momento x max [N.m]	Ascissa [m]	Momento x min [N.m]	Ascissa [m]	Momento y max [N.m]	Ascissa [m]	Momento y min [N.m]	Ascissa [m]	Momento z max [N.m]	Ascissa [m]	Momento z min [N.m]	Ascissa [m]
70	14.705	0,00	0	0,00	0	0,38	0	0,00	2,083	0,00	-11,566	0,38
71	0	0,00	-4,240	0,00	0	0,00	0	3,11	1,175	1,55	-2,267	0,00
72	13.549	0,00	0	0,00	0	1,20	0	0,00	0	0,00	-8,542	1,20
73	0	0,00	-16,154	0,00	0	0,00	0	1,12	14,957	1,20	-17,545	0,00
74	1.049	0,00	0	0,00	0	1,30	0	1,22	12,698	0,00	0	1,30
75	33.736	0,00	0	0,00	0	0,50	0	0,00	8,804	0,00	-34,628	0,50
76	2.567	0,00	0	0,00	0	0,00	0	1,10	0	1,10	-82,442	0,00
77	0	0,00	-477	0,00	0	5,40	0	5,06	47,616	2,03	-80,540	5,40
78	0	0,00	-5,342	0,00	0	0,00	0	2,25	3,312	1,95	-4,480	0,00
79	0	0,00	-731	0,00	0	1,08	0	0,00	2,466	1,15	-6,322	0,00
80	0	0,00	-2,557	0,00	0	1,22	0	0,00	1,688	0,00	-2,473	1,30
81	0	0,00	-798	0,00	0	1,53	0	1,63	2,735	0,20	-31,676	1,63
82	3.417	0,00	0	0,00	0	4,45	0	0,00	45,525	2,67	-75,838	0,00
83	2.220	0,00	0	0,00	0	1,03	0	0,00	0	1,10	-60,155	0,00
84	0	0,00	-2,260	0,00	0	0,00	0	5,02	27,091	2,34	-16,960	5,35
85	1.978	0,00	0	0,00	0	0,00	0	3,05	16,047	1,63	-30,684	3,25
86	20	0,00	0	0,00	0	3,35	0	0,00	16,586	1,68	-33,599	0,00
87	0	0,00	-1,377	0,00	0	0,00	0	3,16	17,816	1,78	-33,529	0,00
88	0	0,00	-1,783	0,00	0	0,00	0	4,18	21,804	1,95	-49,280	4,46
89	1.148	0,00	0	0,00	0	0,00	0	4,97	36,421	2,98	-64,582	0,00

14.2 Azioni taglianti

Di seguito si riportano le azioni taglianti sulle travi del primo impalcato.



Asta	Assiale max [N]	Ascissa [m]	Assiale min [N]	Ascissa [m]	Taglio y max [N]	Ascissa [m]	Taglio y min [N]	Ascissa [m]	Taglio z max [N]	Ascissa [m]	Taglio z min [N]	Ascissa [m]
33	0	0,00	0	0,00	78.129	5,09	-65.884	0,00	0	0,00	0	0,00
34	0	0,00	0	0,00	0	1,41	-41.350	0,00	0	1,41	0	0,00
35	0	0,00	0	0,00	10.283	3,66	-4.286	0,00	0	3,66	0	0,00
36	0	0,00	0	0,00	0	2,60	-24.896	0,00	0	2,60	0	0,00
37	0	0,00	0	0,00	44.738	1,80	0	0,00	0	1,80	0	0,00
38	0	0,00	0	0,00	3.620	3,56	-10.838	0,00	0	3,56	0	0,00
39	0	0,00	0	0,00	41.758	3,25	-35.245	0,00	0	0,00	0	0,00
40	0	0,00	0	0,00	35.895	3,25	-41.898	0,00	0	0,00	0	0,00
41	0	0,00	0	0,00	23.926	1,83	-21.029	0,00	0	0,00	0	1,83
42	0	0,00	0	0,00	623	1,22	-29.005	0,00	0	0,00	0	0,84
43	0	0,00	0	0,00	56.743	1,46	0	0,00	0	1,46	0	0,00
44	0	0,00	0	0,00	97.459	5,25	-104.392	0,00	0	0,00	0	5,25
45	0	0,00	0	0,00	100.382	3,04	-52.800	0,00	0	0,00	0	3,04
46	0	0,00	0	0,00	88.780	3,65	-90.711	0,00	0	3,65	0	0,00
47	0	0,00	0	0,00	61.071	3,05	-51.143	0,00	0	3,05	0	0,00
48	0	0,00	0	0,00	9.148	2,48	-1.221	0,00	0	0,00	0	0,00

Asta	Assiale max [N]	Ascissa [m]	Assiale min [N]	Ascissa [m]	Taglio y max [N]	Ascissa [m]	Taglio y min [N]	Ascissa [m]	Taglio z max [N]	Ascissa [m]	Taglio z min [N]	Ascissa [m]
70	0	0,00	0	0,00	36.900	0,38	0	0,00	0	0,00	0	0,00
71	0	0,00	0	0,00	4.097	3,11	-4.278	0,00	0	0,00	0	0,00
72	0	0,00	0	0,00	8.493	1,20	0	0,00	0	0,00	0	0,00
73	0	0,00	0	0,00	0	1,20	-28.234	0,00	0	1,20	0	0,00
74	0	0,00	0	0,00	6.872	1,30	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75	0	0,00	0	0,00	92.720	0,50	0	0,00	0	0,00	0	0,50
76	0	0,00	0	0,00	0	1,10	-93.787	0,00	0	0,00	0	0,00
77	0	0,00	0	0,00	78.167	5,40	-51.309	0,00	0	0,00	0	0,00
78	0	0,00	0	0,00	2.349	2,40	-7.726	0,00	0	0,00	0	0,00
79	0	0,00	0	0,00	0	1,15	-8.967	0,00	0	0,00	0	1,15
80	0	0,00	0	0,00	4.684	1,30	0	0,00	0	0,00	0	1,22
81	0	0,00	0	0,00	49.354	1,63	-8.002	0,00	0	0,00	0	1,63
82	0	0,00	0	0,00	73.880	4,75	-92.692	0,00	0	4,75	0	0,00
83	0	0,00	0	0,00	0	1,10	-59.762	0,00	0	0,00	0	0,41
84	0	0,00	0	0,00	30.319	5,35	-25.385	0,00	0	0,00	0	5,35
85	0	0,00	0	0,00	57.508	3,25	-57.098	0,00	0	0,00	0	0,00
86	0	0,00	0	0,00	58.490	3,35	-59.594	0,00	0	0,00	0	0,00
87	0	0,00	0	0,00	48.810	3,16	-59.888	0,00	0	0,00	0	0,00
88	0	0,00	0	0,00	59.742	4,46	-52.431	0,00	0	0,00	0	0,00
89	0	0,00	0	0,00	62.613	5,30	-71.617	0,00	0	0,00	0	0,00

Conclusione

Nel rispetto di quanto richiesto nel capitolo 10 dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 ed al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei valori raggiunti, alla luce delle verifiche e dei calcoli effettuati, di cui è data spiegazione nel presente documento, il progettista strutturale ritiene che i risultati ottenuti relativamente al progetto in oggetto siano conformi a quanto previsto dai regolamenti e dalle leggi vigenti in materia.

A supporto di tale affermazione il progettista dichiara di aver controllato accuratamente i tabulati ottenuti mediante codice di calcolo, di aver preliminarmente esaminato il software di calcolo, ritenendolo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto, di aver confrontato i risultati ottenuti da analisi computazionale con semplici calcoli di massima svolti dallo stesso progettista e di aver infine esaminato gli stati tensionali e deformativi, ritenendoli consistenti e coerenti con la modellazione della struttura analizzata.