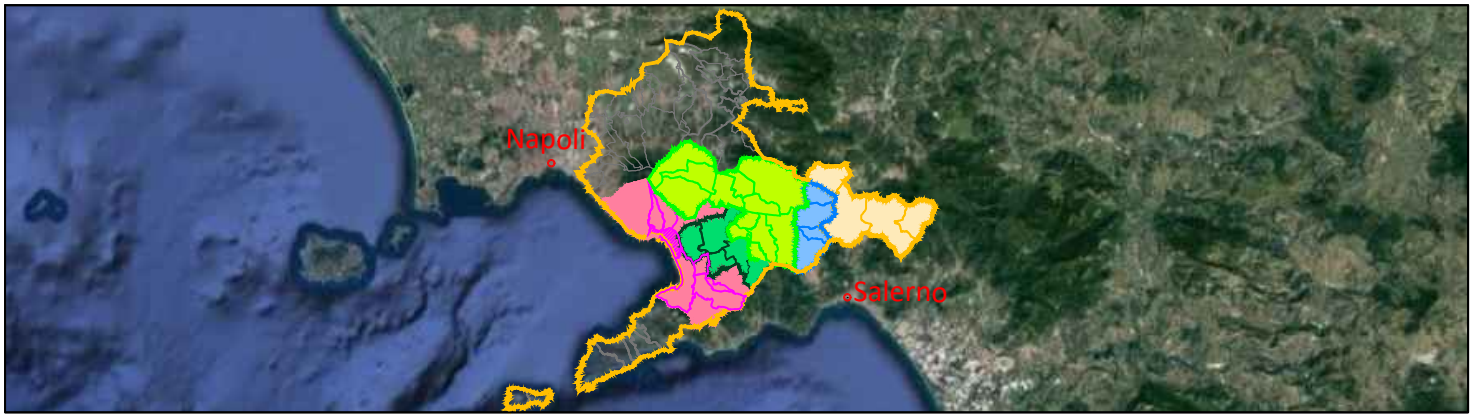
Protocollo d'intesa del 05 Agosto 2020
Regione Campania - Ente idrico campano - Gori Spa
Completamento degli interventi fognario-depurativo del bacino idrografico del fiume Sarno ricadenti nell'Ambito Distrettuale Sarnese Vesuviano di cui alla L.R. n. 15/2015



Comprensorio Depurativo Foce Sarno

Rete interna Torre Annunziata - progetto di completamento

UNITA' INVESTMENT, PROGRAM & SERVICES

INGEGNERIA
Il Responsabile
Ing. Giuseppina Riccio

INT. 72I8

PROGETTO ESECUTIVO

Elaborato: C.1.2

Scala: /

Titolo:

Relazione di calcolo strutturale e modellazione sismica

Rev	Motivo della revisione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
0	Emissione per approvazione	Giugno 2023			

Esecuzione delle Opere	Prestazioni Specialistiche	Il Progettista	Il R.U.P.
		Prof. ing. Giovanni Perillo Dott. ing. GIOVANNI PERILLO ORDINE INGEGNERI CASERTA n.1504	Ing. Fabrizio Chiocchio

Il presente progetto è protetto a termini di legge.

INDICE

1 INTRODUZIONE 1

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA 2

3 GEOMETRIA DELLE STRUTTURE 3

4 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO 6

5 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ANALISI SVOLTA 7

NORMATIVA DI RIFERIMENTO 7

REFERENZE TECNICHE (CAP. 12 D.M. 17.01.2018) 7

MISURA DELLA SICUREZZA 8

CONDIZIONI DI CARICO CONSIDERATE ED ANALISI DEI CARICHI 9

ANALISI DEI CARICHI DEI MANUFATTI 10

CARICO DA NEVE 11

COMBINAZIONI DI CARICO (AI SENSI DEL DM 17.01.2018) 13

6 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO DI COSTRUZIONE 14

REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE (EDIFICI DI NUOVA REALIZZAZIONE) 15

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI 16

CATEGORIA SOTTOSUOLO 20

CATEGORIA TOPOGRAFICA 20

VITA NOMINALE 21

CLASSE D'USO E COEFFICIENTE D'USO 21

REGOLARITÀ MANUFATTI 22

PARAMETRI SISMICI DEI MANUFATTI DI PROGETTO E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI 24

FATTORE DI COMPORTAMENTO ADOTTATI 24

7 AZIONI SULLA COSTRUZIONE 27

8 MODELLI DI CALCOLO 33

9 TOLLERANZE 34

10 DURABILITÀ 35

11 PRESTAZIONI ATTESE AL COLLAUDO 36

12 CRITERI ADOTTATI PER LA SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA 37

13 SOFTWARE UTILIZZATI E TIPO DI ELABORATORE 40

SOFTWARE UTILIZZATO 40

CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI 40

VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITÀ 40

14 SCHEMA DI SINTESI DEI RISULTATI 45

15 CONCLUSIONI 71

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la relazione di progetto esecutivo, sismica e strutturale, a corredo del progetto definitivo del **"Comprensorio Depurativo Foce Sarno Rete interna del Comune di Torre Annunziata – Progetto di completamento"**.

Il suddetto progetto ha lo scopo di realizzare le opere necessarie al convogliamento delle acque reflue nere e di prima pioggia, provenienti dal territorio comunale di Torre Annunziata, al sistema di collettamento del sub-comprensorio del Medio Sarno.

La presente relazione esecutiva è volta al dimensionamento degli elementi strutturali, nel rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza strutturale, con riferimento ai manufatti con funzione di sollevamento e di attraversamento.

Ai fini sismici, per ogni singolo manufatto, è stata applicata la massima sollecitazione sismica prevedibile sul reticolo sismico dell'area geografica di ubicazione di intervento.

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Nel progetto è prevista la realizzazione delle seguenti opere di natura strutturale:

- Realizzazione impianti di sollevamento di linea in c.a..
- Realizzazione pozzetto di spinta e di arrivo per attraversamento autostradale

É altresì previsto, ma limitatamente a funzione di protezione allo scavo, l'impiego di palancole metalliche infisse, che fungeranno anche da casseforme per i getti delle pareti dei manufatti degli impianti di sollevamento, per essere poi recuperate a fine getto.

3 GEOMETRIA DELLE STRUTTURE

Le opere di presidio idraulico a servizio delle condotte fognarie del presente progetto sono costituite da manufatti in c.a. gettati in opera, e prefabbricate, allocate nel sottosuolo.

Nel dettaglio, le opere citate sono:

1. **Vasca dell'impianto di sollevamento NODO O1 in VIA TERRAGNETA**
   La Vasca dell'impianto di sollevamento è caratterizzata da una vasca di accumulo e un pozzetto con le seguenti dimensioni:
   Vasca di accumulo
   - Altezza: 2.97 metri
   - Superficie: 3.20 x 2.00 metri
   - Spessore pareti: 0.30 metri

   Pozzetto
   - Altezza: 1.50 metri
   - Superficie: 1.50x1.50 metri
   - Spessore pareti: 0.15 metri

2. **Vasca dell'impianto di sollevamento NODO O1.4 in VIA TERRAGNETA**
   La Vasca dell'impianto di sollevamento è caratterizzata da una vasca di accumulo e un pozzetto con le seguenti dimensioni:
   Vasca di accumulo
   - Altezza: 3.20 metri
   - Superficie: 3.20x2.00 metri
   - Spessore pareti: 0.30 metri

   Pozzetto
   - Altezza: 1.50 metri
   - Superficie: 1.50x1.50 metri
   - Spessore pareti: 0.15 metri

3. **Vasca dell'impianto di sollevamento NODO N1 in TRAVERSA BOTTARO**
   La Vasca dell'impianto di sollevamento è caratterizzata da una vasca di accumulo e un pozzetto con le seguenti dimensioni:
   Vasca di accumulo
   - Altezza: 2.95 metri
   - Superficie: 3.20x2.00 metri
   - Spessore pareti: 0.30 metri

   Pozzetto
   - Altezza: 1.50 metri
   - Superficie: 1.50x1.50 metri
   - Spessore pareti: 0.15 metri

4. **Vasca dell'impianto di sollevamento NODO M3 in VIA MAGENTA**

La Vasca dell'impianto di sollevamento è caratterizzata da una vasca di accumulo e un pozzetto con le seguenti dimensioni:

Vasca di accumulo

- Altezza: 2.74 metri
- Superficie: 3.20x2.00 metri
- Spessore pareti: 0.30 metri

Pozzetto

- Altezza: 1.50 metri
- Superficie: 1.50x1.50 metri
- Spessore pareti: 0.15 metri

5. **Vasca dell'impianto di sollevamento NODO L4.1' in VIA MORTELLETO/POSTIGLIONE/SCHITI**

La Vasca dell'impianto di sollevamento è caratterizzata da una vasca di accumulo e un pozzetto con le seguenti dimensioni:

Vasca di accumulo

- Altezza: 2.56 metri
- Superficie: 3.20x2.00 metri
- Spessore pareti: 0.30 metri

Pozzetto

- Altezza: 1.50 metri
- Superficie: 1.50x1.50 metri
- Spessore pareti: 0.15 metri

Gli attraversamenti autostradali verranno effettuati con la tecnologia dello "spingitubo" che prevede la realizzazione di due pozzetti, uno di spinta e uno di arrivo.

6. **Pozzetto di spinta ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE A3 IN II TRAVERSA PLINIO – TRATTO G7.1 – G7.2**

Caratterizzato dalle seguenti dimensioni

- Altezza: 2.40 metri
- Superficie: 4.90x3.10 metri
- Spessori pareti: 0.30 metri
- Spessore parete di spinta: 0.80 metri

7. **Pozzetto di arrivo ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE A3 IN II TRAVERSA PLINIO – TRATTO G7.1 – G7.2**

Prefabbricato caratterizzato dalle seguenti dimensioni

- Altezza: 2.20 metri
- Superficie: 1.50x1.50 metri
- Spessore pareti: 0.15 metri

La classe di calcestruzzo prevista per le piastre è C32/40 con classe di esposizione XA1, mentre quella prevista per i pali è C25/30 con classe di esposizione XC2/XF1, in entrambi i casi il copriferro pari a 45mm.

Quanto alle opere temporanee di presidio dello scavo in progetto si prevede la realizzazione di palancole in acciaio del tipo LARSSEN serie AZ28 con una lunghezza di infissione pari a 11,00 m, da rimuovere dopo la realizzazione dell'opera in oggetto; dette palancole dovranno essere usate per tutti i sollevamenti e per la camera di spinta.

Per la natura dell'intervento ai sensi del delle NTC 2018, è stata attribuita all'opera una classe d'uso IV e vita nominale ≥50 anni (opere ubicate al di sotto di viabilità urbane ed extra urbane); mentre sotto l'effetto delle azioni sismiche, si è garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio, individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, le strutture di fondazione, gli elementi strutturali, gli elementi non strutturali, gli impianti. In particolare, è stato conseguito il rispetto dei seguenti stati limite:

- nei confronti degli stati limite di esercizio SLD e SLO;
- nei confronti degli stati limite ultimi SLV.

Nel seguito sono stati indicati tutti gli elementi assunti per il calcolo preliminare delle strutture.

Ai fini sismici è stata applicata la massima sollecitazione sismica prevedibile sul reticolo sismico dell'area geografica di ubicazione di intervento.

4 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO

L'opera oggetto di progettazione strutturale ricade nel territorio comunale di Torre Annunziata.

Per la caratterizzazione geotecnica si è fatto riferimento alla relazione geologica redatta dal Geologo Dott. **Domenico Renella**.

L'esatta individuazione del sito è riportata nei grafici di progetto.

5 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ANALISI SVOLTA

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la progettazione e la costruzione delle opere in oggetto si fa riferimento alla seguente normativa:

- Legge 5/11/71 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- D.M. 9 Gennaio 96: Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- Circolare 15/10/1996 N.252: Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 9/01/1996;
- D.M. 16 Gennaio 96: Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- Circolare 4/7/1996 N.156: 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 D.M. 16/01/1996;
- D.M. 11/03/1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circolare 24/09/1988 N. 30483: Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione» di cui al D.M. 11/03/1988;
- D.M. LL.PP. 4/5/90: Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali;
- Circolare Min. LL.PP. 25/2/91 n. 34233: Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali;
- Legge 02.02.1974 n. 64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Circolare Min. LL.PP. 10/04/97 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 Infrastrutture 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare del 02.02.2009 n.617/C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M.14.01.2008";
- Decreto Ministeriale Infrastrutture 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare del 21.01.2019 n.7/C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M.17.01.2018".

REFERENZE TECNICHE (CAP. 12 D.M. 17.01.2018)

- UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.
- UNI EN 1993-1-1 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1995-1 – Costruzioni in legno
- UNI EN 1998-1 – Azioni sismiche e regole sulle costruzioni
- UNI EN 1998-5 – Fondazioni ed opere di sostegno

MISURA DELLA SICUREZZA

Il metodo di verifica della sicurezza adottato è quello degli Stati Limite (SL) che prevede due insiemi di verifiche rispettivamente per gli stati limite ultimi S.L.U. e gli stati limite di esercizio S.L.E..

La sicurezza viene quindi garantita progettando i vari elementi resistenti in modo da assicurare che la loro resistenza di calcolo sia sempre maggiore della corrispondente domanda in termini di azioni di calcolo.

Le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni di una struttura o di una parte di essa devono essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si possono verificare durante la vita normale.

Prescrivono inoltre che debba essere assicurata una robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

Le prestazioni della struttura e la vita nominale sono riportati nei successivi tabulati di calcolo della struttura.

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando gli opportuni stati limite definiti di concerto al Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 17/01/2018 e successive modifiche ed integrazioni.

In particolare si è verificata:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (S.L.U.) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quando previsto dal D.M. 17/01/2018 per i vari tipi di materiale. I valori utilizzati sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate;
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (S.L.E.) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare, di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti i limiti riportati nell'allegato fascicolo delle calcolazioni;
- la sicurezza nei riguardi dello stato limite del danno (S.L.D.) causato da azioni sismiche con opportuni periodi di ritorno definiti di concerto al committente ed alle norme vigenti per le costruzioni in zona sismica;
- robustezza nei confronti di opportune azioni accidentali in modo da evitare danni sproporzionati in caso di incendi, urti, esplosioni, errori umani.

CONDIZIONI DI CARICO CONSIDERATE ED ANALISI DEI CARICHI

Di seguito si riportano le condizioni di carico considerate per il progetto e la verifica dei manufatti di progetto.

IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO E MANUFATTI DI PARTENZA E ARRIVO DELLO SPINGITUBO

Condizione di carico n. 1 - Peso proprio

Struttura in c.a. di fondazione/elevazione: calcolato in automatico dal software CDS.

Condizione di carico n. 2 - Sovraccarico permanente

Carichi permanenti agenti durante la fase di esercizio, dettagliati nel paragrafo relativo alle analisi dei carichi.

È considerato in tale condizione la spinta attiva del terreno, del sovraccarico accidentale intorno alla vasca (3.000 kg/m²) con incremento sismico.

Condizione di carico n. 3 - Carico da neve

Carico da neve, come da calcoli di seguito allegati.

Condizione di carico n. 4 - Carico variabile accidentale (Cat. E2 Ambienti ad uso industriale)

Carico di manutenzione.

Condizione di carico n. 5 - Carico variabile accidentale (Cat. G Parcheggi q > 30kN)

Transito veicolare.

Condizione di carico n. 6 – Correzione torsionale lungo x

La correzione torsionale va sempre applicata a qualunque struttura calcolata sismicamente, e si potrà scegliere in che modo tenere conto di tale correzione tra le due seguenti possibilità:

- **Ecc. + 5%** - In aggiunta all'eccentricità effettiva, si dovrà considerare un'eccentricità accidentale, traslando il centro di massa di ciascun piano, in ognuna delle direzioni considerate, di una distanza pari al 5% della dimensione massima in pianta del piano in direzione ortogonale a quella del sisma.

- **Delta** – Amplificazione delle forze da applicare a ciascun elemento verticale con un fattore δ risultante dalla seguente espressione:

$$\delta = 1 + \frac{0.6 \cdot x}{L_c}$$

essendo:

x = distanza dell'elemento resistente verticale dal baricentro geometrico dell'edificio, misurata ortogonalmente alla direzione dell'azione sismica considerata;

L_c = distanza tra i due elementi resistenti più lontani, misurata in maniera analoga.

Condizione di carico n. 7 - Correzione torsionale lungo y

Idem condizione precedente

Condizione di carico n. 8 – Carico Termino

È stato tenuto conto delle variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna, con un delta di temperatura di ± 15 C, come prescritto ai sensi del § 3 D.M. 17.01.2018.

Condizione di carico n. 9 - Sisma lungo x

Valutata con il metodo dell'analisi sismica statica ai sensi del § 7 D.M. 17.01.2018.

La struttura è stata calcolata con un'analisi di tipo **statica nodale**, una procedura in cui le masse sono concentrate su tutti i nodi della struttura e le relative forze orizzontali risultano così applicate alla struttura in modo più diffuso, nodo per nodo. Ciò comporta il vantaggio di potere effettuare un'analisi sismica corretta anche in assenza di impalcati rigidi (tralicci, strutture senza solai rigidi o controventi di piano), e con la migliore approssimazione dovuta alla distribuzione delle azioni più aderente alla realtà. Anche in questo caso, come per l'analisi statica per piani, le forze sono ottenute ipotizzando una distribuzione di tipo triangolare, ottenuta tramite dei coefficienti moltiplicativi che crescono con l'altezza del nodo.

Condizione di carico n. 10 - Sisma lungo y

Valutata con il metodo dell'analisi sismica dinamica ai sensi del § 7 D.M. 17.01.2018.

Condizione di carico n. 11 - Coefficiente Sigma Profili

La condizione COEFF. SIGMA PROFILI entra in gioco soltanto se nella struttura da calcolare sono presenti aste in acciaio, in caso contrario verrà ignorata dal programma. Il coefficiente associato a questa condizione andrà a moltiplicare la tensione ammissibile dell'acciaio componente i profili utilizzati, sarà quindi possibile incrementare o ridurre tale valore per motivi di sicurezza o simulare condizioni particolari. Nel caso specifico è stato considerato un coefficiente pari a 1.

ANALISI DEI CARICHI DEI MANUFATTI

Per ogni manufatto di sollevamento sono state considerate le seguenti azioni sia permanenti che di accidentali:

- PLATEA DI BASE:

- Carico Fisso dovuto dal peso delle elettropompe con condotta ed eventuale accesso di persone per manutenzione, pari a **500 kg/mq**;
- Battente d'acqua con altezza di un metro **1000 kg/mq**;
- Spinta del terreno, applicata sulle quattro pareti, valutata caso per caso, in funzione ai parametri meccanica dei terreni, nell'ipotesi che all'interno del pozzetto non ci sia nessuna controspinta, in modo da massimizzare le azioni sulle pareti; inoltre è stato applicato un sovraccarico accidentale intorno alla vasca di **3.000 kg/mq** con incremento sismico.

- SOLETTA DI COPERTURA:
  - Carico Fisso dovuto al peso della pavimentazione sovrastante, avente uno spessore di circa 20 cm, pari a **500 kg/mq**;
  - Sovraccarico accidentale di **3.000 kg/mq**;
  - Carico da neve pari a **60 kg/mq.**

Infine, per i manufatti di attraversamento, oltre a quanto sopra descritto, è stata applicata attraverso due forze concentrate pari a 1200 kg ossia una spinta complessiva di **2400 kg** sulla parete di spinta.

CARICO DA NEVE

Nel presente paragrafo si riporta la determinazione del carico da neve, come da normativa; in particolare è stato calcolato il suddetto carico da neve nelle condizioni più gravose ed esteso il risultato a tutti i manufatti.

Carico neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t \qquad (3.3.7)$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al successivo § 3.4.5;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m2];

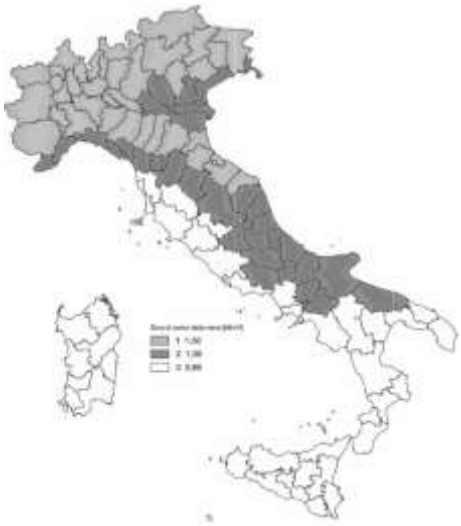
C_E è il coefficiente di esposizione;

C_t è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Valore caratteristico del carico neve al suolo

○	**Zona I - Alpina** *Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza.*	$q_{sk} = 1{,}50$ kN/mq $a_s \le 200$ m $q_{sk} = 1{,}39\,[1+(a_s/728)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona I - Mediterranea** *Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.*	$q_{sk} = 1{,}50$ kN/mq $a_s \le 200$ m $q_{sk} = 1{,}35\,[1+(a_s/602)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona II** *Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.*	$q_{sk} = 1{,}00$ kN/mq $a_s \le 200$ m $q_{sk} = 0{,}85\,[1+(a_s/481)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
◉	**Zona III** *Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.*	$q_{sk} = 0{,}60$ kN/mq $a_s \le 200$ m $q_{sk} = 0{,}51\,[1+(a_s/481^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m



Valore carratteristicio della neve al suolo

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	10
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	0,60

Coefficiente di esposizione

	Topografia	C_E	Descrizione
○	Battuta dai venti	0,90	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.
○	Normale	1,00	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.
◉	Riparata	1,10	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti

Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato Ct = 1.

Ct = 1

Coefficiente di forma

In generale verranno usati i coefficienti di forma per il carico neve contenuti nel presente paragrafo, dove vengono indicati i relativi valori nominali essendo α, espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale. I valori del coefficiente di forma μ1, riportati in Tab. 3.4.II si riferiscono alle coperture ad una o due falde.

Coefficiente di forma	$0° \le \alpha \le 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \ge 60°$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60-\alpha)}{30}$	0,0

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

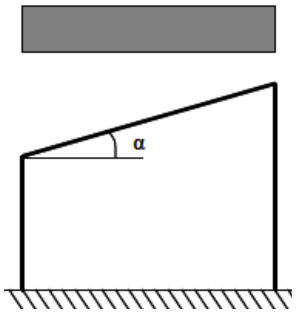
Copertura ad una falda

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera od altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo α. Si deve considerare la condizione riportata in Fig. 3.4.2, la quale deve essere utilizzata per entrambi i casi di carico con o senza vento.

Estremità falda senza impedimento

α = 0,00°

μ_1 = 0,80



q_s = 0,528 kN/m²
(53,84 kg/m²)

Figura 3.4.2 – Condizioni di carico per coperture ad una falda

COMBINAZIONI DI CARICO (AI SENSI DEL DM 17.01.2018)

Le combinazioni di carico ricomprendono sia la fase temporanea che la fase definitiva.

Sono state considerate le condizioni di carico ritenute più gravose per la struttura in esame nel suo complesso e per ognuna delle strutture resistenti.

6 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO DI COSTRUZIONE

In fase progettuale, fissato il periodo di riferimento V_R (vedi § 2.4 delle NTC DM 17 gennaio 2018) e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (funzione dello stato limite considerato, vedi Tabella 1), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R attraverso l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati limite di esercizio (P_{VR})	Stati limite ultimi (P_{VR})
SLO - Stato limite di operatività (81%)	SLV- Stato limite di salvaguardia della Vita (10%)
SLD - Stato limite di danno (63%)	SLC – Stato limite di prevenzione del collasso (5%)

Tabella 1 - Definizione degli stati limite secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e relative probabilità di superamento P_{VR} (Tab. 3.2.I delle NTC)

Qualora la pericolosità sismica su reticolo di riferimento (vedi Allegato B delle NTC DM 17 gennaio 2018) non contempli il periodo di ritorno corrispondente al V_R e alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} fissate in progetto, il valore del generico parametro p (a_g, F_o, T^*_c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;
- T_{R1}, T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p.

STATI LIMITE

I valori dei parametri a_g, F_o, T^*_c relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE (EDIFICI DI NUOVA REALIZZAZIONE)

Sotto l'effetto delle azioni sismiche, deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio, individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, le strutture di fondazione, gli elementi strutturali, gli elementi non strutturali, gli impianti.

In mancanza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLD;
- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive e siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV.

Fanno eccezione a quanto detto le costruzioni di classe d'uso III e IV, per gli elementi non strutturali e gli impianti delle quali è richiesto anche il rispetto delle verifiche di sicurezza relative allo SLO.

Per contenere le incertezze e garantire un buon comportamento delle strutture sotto azioni sismiche, devono essere adottati provvedimenti specifici volti ad assicurare caratteristiche di duttilità agli elementi strutturali ed alla costruzione nel suo insieme.

Le strutture di fondazione devono resistere agli effetti risultanti della risposta del terreno e delle strutture sovrastanti, senza spostamenti permanenti incompatibili con lo stato limite di riferimento.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Caratteristica peculiare della risposta sismica di un sito sono, oltre alle caratteristiche geolitologiche, anche i contenuti delle vibrazioni spettrali in arrivo, e la loro interazione positiva con la frequenza propria dei manufatti. Infatti, in presenza di siti costituiti da terreni capaci di attenuare il passaggio delle onde sismiche, ed in presenza di epicentri poco profondi si possono avere fenomeni di amplificazione.

L'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" - D.M. del 17/01/2018, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 con Supplemento Ordinario n. 8, definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica di un sito deve essere valutata sia in termini geografici (condizioni topografiche del sito) che in termini temporali (vita di riferimento della costruzione); tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale.
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni ag e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, sul sito di riferimento rigido ed orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno (espresso in g/10);
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (parametro adimensionale);
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi).

I Valori a_g, F_0, e T_c^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'allegato B delle NTC.

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni stabiliscono che ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In assenza di tali studi si può utilizzare la seguente classificazione dei terreni di seguito descritta:

La classificazione deve interessare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato roccioso rigido di riferimento (bedrock). Si effettua sulla stima delle velocità medie delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (velocità equivalente delle onde di taglio) definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{30}{\sum_{1=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove h_i e v_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i- esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. In alternativa possono essere utilizzati il valore di $N_{SPT,30}$ (per terreni prevalentemente granulari) o di $c_{u,30}$ (per terreni coesivi). Con riferimento alle proprietà del suolo di fondazione, viene proposta l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E) più altri due speciali (S1 e S2), da individuare in base allo schema seguente:

CLASSE	DESCRIZIONE
A	***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*** caratterizzati da valori di $\mathbf{V_{s,30}}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $\mathbf{V_{s,30}}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s ($\mathbf{N_{SPT,30}}$ > 50 nei terreni a grana grossa e $\mathbf{c_{u,30}}$ > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	***Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $\mathbf{V_{s,30}}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di 15 < $\mathbf{N_{SPT,30}}$ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < $\mathbf{c_{u,30}}$ < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	***Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti***, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale migliora-mento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $\mathbf{V_{s,30}}$ inferiori a 180 m/s ($\mathbf{N_{SPT,30}}$ < 15 nei terreni a grana grossa e $\mathbf{c_{u,30}}$ < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E	***Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m***, posti sul substrato di riferimento (con **Vs** > 800 m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < $c_{u,30}$ < 20 kPa),che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria disottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

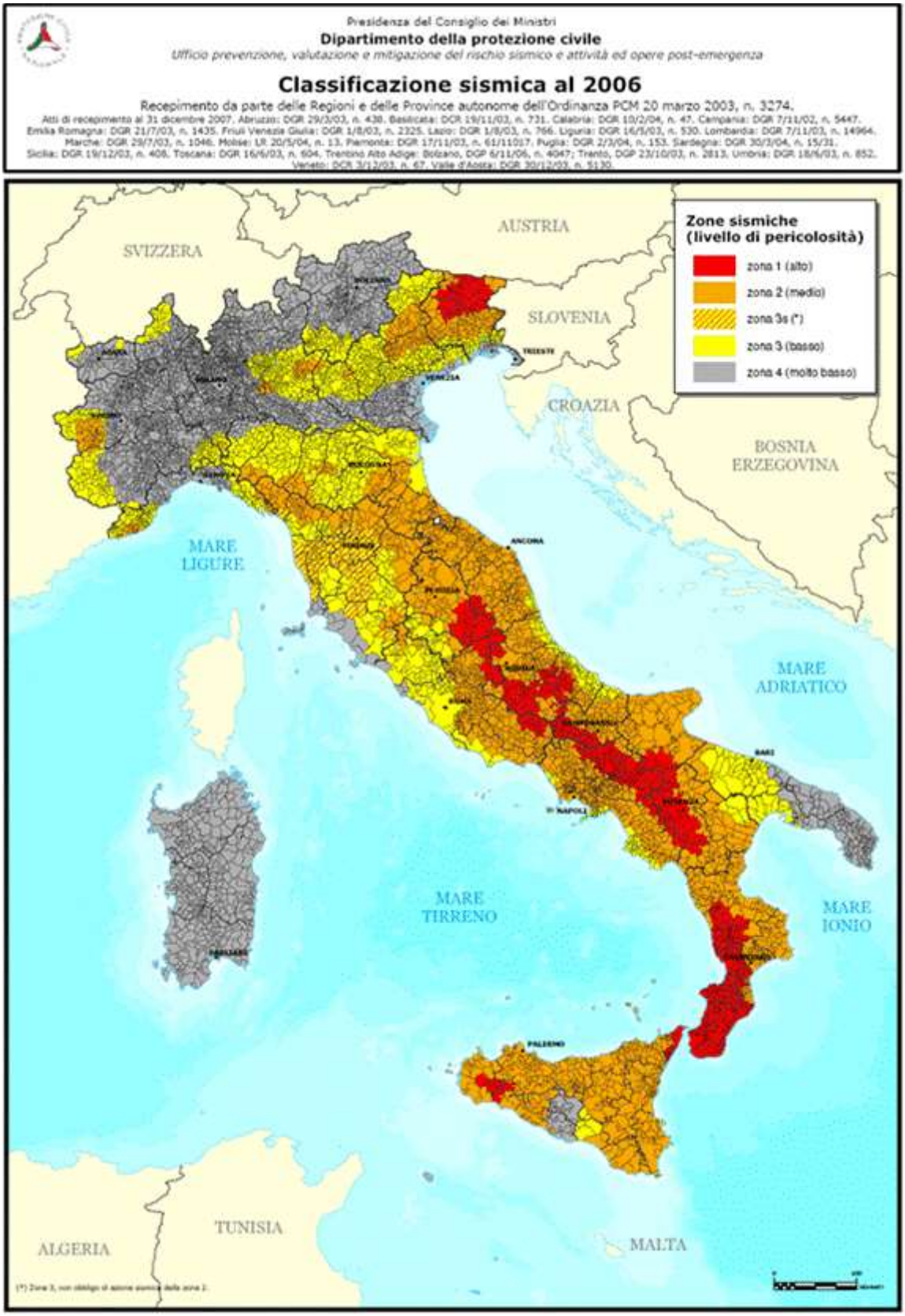
Tabella 2 – categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II e 3.2.III delle NTC)

Dalle indagini sismiche MASW condotte in sito, ricavabili dalla relazione geologica allegata, è emerso che i vari siti tendenzialmente appartengono alla categoria **C** (***Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti***).

Di seguito si ripota una tabella con lo stralcio dell'indagine MASW condotta:

Prospezione sismica	*Lunghezza complessiva dello stendimento (m)*	*Spacing (m)*	*Offset (m)*	*Direzione*	*Coordinate Geografiche WSG84*	
					N	*E*
MASW Sito n. 1	*39.0*	*3.0*	*3.0*	*N 44° E*	*40.740973°*	*14.474865°*
MASW Sito n. 4	*39.0*	*3.0*	*3.0*	*N 40° E*	*40.735902°*	*14.469617°*

Prospezione sismica	$V_{S\,0\text{-}30}$ *(m/s)*	*Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)*
MASW Sito n. 1	*[320]*	*C*
MASW Sito n. 4	*[317]*	*C*



Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del D.M. 17 gennaio 2018 § 3.2.3) sono stati definiti i termini di seguito descritti e riportati.

CATEGORIA SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3 del DM 17 gennaio 2018. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III del DM 17 gennaio 2018 di cui alla precedente Tabella 2 al paragrafo 0).

Nel paragrafo precedente sono state definite le categorie di sottosuolo per ogni sito; oltre a ciò, al fine di tener conto delle condizioni stratigrafiche (approccio semplificato per stima effetti della risposta sismica locale), si sono utilizzati i valori del coefficiente topografico S_S riportati nella tabella appresso riportata, in funzione delle categorie di sottosuolo definita.

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_C)^{-0,40}$

CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche (approccio semplificato per stima effetti della risposta sismica locale), si sono utilizzano i valori del coefficiente stratigrafico S_T riportati nella tabella successiva, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 delle NTC e dell'ubicazione dell'opera.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T_1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤15°
T_2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T_3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T_4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Essa dipende dal tipo di opera:

Tipi di costruzione	Vita Nominale V_N (in anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere (Tabella 2.4.I delle NTC)

In accordo a § 2.4 del DM 17 gennaio 2018, le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

CLASSE D'USO E COEFFICIENTE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe d'uso	Tipi di costruzione	Coefficienti d'uso C_U
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	0,7
Classe 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.	1,0
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	1,5
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o	2,0

	B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Classi d'uso e Valori dei coefficienti d'uso C_U (§ 2.4.2 e Tabella Tab. 2.4.II delle NTC)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso CU :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella precedente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Per assicurare alle costruzioni un livello di sicurezza antisismica minimo irrinunciabile le NTC impongono, se $V_R \leq 35$ anni, di assumere comunque $V_R = 35$ anni; gli intervalli di valori di VR (espressi in anni) cui fare effettivo riferimento al variare di V_N e C_U sono riportati nella successiva tabella.

Vita nominale V_N	**Valori di V_R**			
	Classe d'uso			
	I	***II***	***III***	***IV***
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U (Tabella Tab. C2.4.I della Circolare NTC)

REGOLARITÀ MANUFATTI

Per quanto riguarda la regolarità, le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza. Se necessario ciò può essere conseguito suddividendo la struttura, mediante giunti, in unità tra loro dinamicamente indipendenti.

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è **regolare in pianta** se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;

b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4;
a) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;
b) gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è **regolare in altezza** se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

a) tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;
b) massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;
c) nelle strutture intelaiate progettate in CD "B" il rapporto tra resistenza effettiva3 e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;
d) eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all' orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

Ai sensi del § 3.2. "azione sismica" del D.M. 17.01.2018 per determinare i parametri di pericolosità sismica e gli spettri di accelerazione, d'interesse ingegneristico, è stato necessario definire i parametri di seguito riportati.

PARAMETRI SISMICI DEI MANUFATTI DI PROGETTO E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI

In accordo a § 2.4 del DM 17 gennaio 2018, le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni. Sono omesse le verifiche sismiche per tutte le opere definite provvisorie.

Seguono le principali grandezze che intervengono nella definizione dell'azione sismica per le opere per le quali è stata effettuata la verifica sismica.

Grandezze	Valore	Riferimento normativo
Vita Nominale V_N	**≥ 50 anni**	*Tab. 2.4.I del DM 17 Gennaio 2018*
Classe d'uso	**IV**	*§ 2.4.2 del DM 17 Gennaio 2018*
Coefficiente d'uso C_u	**2,0**	*Tab. 2.4.II del DM 17 Gennaio 2018*
Periodo di riferimento ($V_R = V_N \times C_U$) se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni	**≥ 100 anni**	*§ 2.4.3 del DM 17 Gennaio 2018*
Stato limite (verifiche – dimensionamento)	**SLV**	*Tab. 3.2.I del DM 17 Gennaio 2018*
Probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}	**10%**	*Tab. 3.2.I del DM 17 Gennaio 2018*
Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R	**949**	*Allegato A al DM 17 Gennaio 2018*
Accelerazione orizzontale massima convenzionale a_g/g	**0,169**	*Allegato A al DM 17 Gennaio 2018*
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale Fo	**2,4949**	*Allegato A al DM 17 Gennaio 2018*
Categoria Topografica	**T1**	*Tab. 3.2.IV del DM 17 Gennaio 2018*
Coefficiente di amplificazione topografica S_T	**1,00**	*Tab. 3.2.IV del DM 17 Gennaio 2018*
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S	**1,50**	*Tab. 3.2.IV del DM 17 Gennaio 2018*
Regolarità in altezza	**SI**	*§ 7.2.2 del DM 17 Gennaio 2018*
Regolarità in pianta	**SI**	*§ 7.2.2 del DM 17 Gennaio 2018*

Tabella - Principali grandezze che intervengono nella definizione dell'azione sismica

FATTORE DI COMPORTAMENTO ADOTTATI

Secondo le norme vigenti, il fattore di comportamento della struttura va differenziato secondo le due direzioni principali, quella assegnata per l'ingresso del sisma (direzione 1) e quella ad essa ortogonale (direzione 2). In base al tipo di SISTEMA COSTRUTTIVO impostato nei PARAMETRI SISMICI per le due suddette direzioni, i dati richiesti per la caratterizzazione dei fattori di struttura saranno differenti.

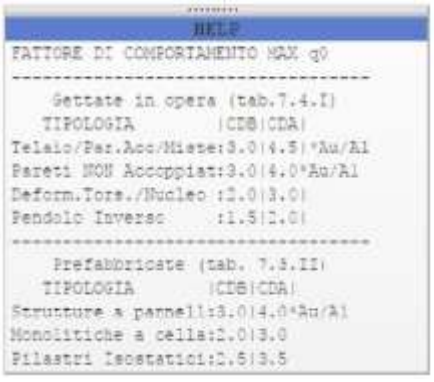
Cemento armato

Nel caso si sia impostato come Sistema Costruttivo quello relativo al cemento armato, i dati necessari a definire il Fattore di Comportamento sono i seguenti:



Classe Dutt. – Classe di duttilità con cui analizzare la struttura. Si ricorda che secondo le norme vigenti per tutti gli edifici, sia che se ne consideri il comportamento ad Alta che a Media Duttilità, si dovrà sempre controllare la gerarchia delle resistenze, cioè della formazione delle cerniere plastiche sulla struttura in esame. La scelta fra Classe di Duttilità Alta o Media (CD "A" o CD "B") porterà ad una differenza nel valore da associare ai coefficienti di sovraresistenza RD da impiegare, in fase di generazione degli esecutivi, per il rispetto della corretta gerarchia delle resistenze.

Sotto-Sistema – Sotto-sistema strutturale dell'edificio, da scegliere tra quelli riportati nell'elenco seguente, per edifici gettati in opera o prefabbricati:



AlfaU/Alfa1 – Rapporto α_u/α_1 funzione delle caratteristiche geometriche della struttura, secondo il seguente specchietto:

HELP

TIPOLOGIA	AlfaU/Alfa1
Telaio ad un piano	1.1
Telaio +piani 1 campata	1.2
Telaio +piani +campate	1.3
Due Pareti NON accoppiate	1.0
Strutture Pareti NON Accopp	1.1
Pareti Accoppiate	1.2
Miste equivalenti a Pareti	1.2
(Vedere norma al pto 7.4.3.2)	

Snell.Parete – Valore della snellezza, cioè del rapporto h/b, assunto in prevalenza per le pareti dell'edificio in oggetto, essendo *h* l'altezza e *b* la larghezza di ciascuna parete in c.a.. Nel caso in cui le snellezze delle pareti non differiscano significativamente tra di loro, il valore per l'insieme delle pareti può essere calcolato assumendo come altezza la somma delle altezze delle singole pareti e come larghezza la somma delle larghezze. Questo dato verrà tenuto in conto dal programma esclusivamente per sotto-sistemi strutturali tipo a Pareti o a Nucleo.

Essendo tutti i manufatti, avere le stesse caratteristiche costruttive, di seguito si riporta il valore considerato in ogni progetto e verifica; a vantaggio di sicurezza si è considerato un comportamento di tipo non dissipativo:

FATTORE COMPORT. C.A.

Classe Dutt	NON diss.
Sotto-Sist.	Pareti
AlfaU/Alfa1	Pareti Accopp
SnellParete	1
FATTORE COMPORTAMENTO	
q0bassa= 3.3	
KW=(1+SnellParete)/3= .67	
KR= .8	
q= 1.17	

7 AZIONI SULLA COSTRUZIONE

AZIONI AMBIENTALI E NATURALI

Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche sono verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (S.L.O.);
- Stato Limite di Danno (S.L.D.).

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (S.L.C.).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

Stati Limite P_{VR}:		**Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR**
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

In mancanza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- Nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLD;
- Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel seguito e siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV.

Fanno eccezione a quanto detto le costruzioni di classe d'uso III e IV, per gli elementi non strutturali e gli impianti delle quali è richiesto anche il rispetto delle verifiche di sicurezza relative allo SLO.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del D.M. 17/01/2018 § 3.2.3. sono stati definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale del fabbricato;

- Classe d'uso del fabbricato;
- Categoria del Suolo;
- Coefficiente Topografico;
- Latitudine e Longitudine del sito oggetto di edificazione.

Si è inoltre concordato che le verifiche delle prestazioni saranno effettuate per le azioni derivanti dalla neve, dal vento e dalla temperatura secondo quanto previsto dal cap. 3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 per un periodo di ritorno coerente alla classe della struttura ed alla sua vita utile.

DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI PER LE AZIONI ANTROPICHE

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si farà riferimento alla tabella del D.M. 17/01/2018 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti qk [kN/m^2]
- carichi verticali concentrati Qk [kN]
- carichi orizzontali lineari Hk [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici qk, Qk ed Hk di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II. delle N.T.C. 2018. In presenza di carichi verticali concentrati Qk essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dello orizzontamento.

In particolare si considera una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si sono applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.

Categ.	Ambienti	q_k [kN/m^2]	Qk [kN]	Hk [kN/m]
A	**Ambienti ad uso residenziale.**			
	Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	**Uffici.**			
	Cat. B1 – Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 – Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
C	**Ambienti suscettibili di affollamento.**			
	Cat. C1 – Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00

	Cat. C2 – Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 – Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	**Ambienti ad uso commerciale.**			
	Cat. D1 – Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 – Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie	5,00	5,00	2,00
E	**Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.**			
	Cat. E1 – Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	> 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 – Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	-	-	-
F – G	**Rimesse e parcheggi.**			
	Cat. F – Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G – Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN, da valutarsi caso per caso	-	-	-
H	**Coperture e sottotetti.**			
	Cat. H1 – Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 – Coperture praticabili	Secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 – Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	-	-	-

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

Tabella 3.1.II *– Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici*

AZIONE SISMICA

Ai fini delle N.T.C. 2018 l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Per quanto riguarda l'azione in superficie, è stata assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie sono determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

In allegato alle N.T.C. 2018, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori dei precedenti parametri di pericolosità sismica necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

AZIONI DOVUTE AL VENTO

Le azioni del vento sono state determinate in conformità al § 3.3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare n.7 del 21 gennaio 2019. Si precisa che tali azioni hanno valenza significativa in caso di strutture di elevata snellezza e con determinate caratteristiche tipologiche come, ad esempio, le strutture in acciaio.

AZIONI DOVUTE ALLA TEMPERATURA

È stato tenuto conto delle variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna, irraggiamento solare e convezione comportano variazioni della distribuzione di temperatura nei singoli elementi strutturali, con un delta di temperatura di 15°C.

Nel calcolo delle azioni termiche, si è tenuto conto di più fattori, quali le condizioni climatiche del sito, l'esposizione, la massa complessiva della struttura, la eventuale presenza di elementi non strutturali isolanti, le temperature dell'aria esterne (Cfr. § 3.5.2), dell'aria interna (Cfr. § 3.5.3) e la distribuzione della temperatura negli elementi strutturali (Cfr. § 3.5.4) viene assunta in conformità ai dettami delle N.T.C. 2018.

NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture, ove presente, è stato valutato mediante la seguente espressione di normativa:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t \qquad \text{(Cfr. § 3.3.7)}$$

in cui si ha:

q_s = carico neve sulla copertura;

μ_i = coefficiente di forma della copertura, fornito al (Cfr. § 3.4.5);

q_{sk} = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m2], fornito al (Cfr. § 3.4.2) delle N.T.C. 2018 per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E = coefficiente di esposizione di cui al (Cfr. § 3.4.3);

C_t = coefficiente termico di cui al (Cfr. § 3.4.4).

AZIONI ANTROPICHE E PESI PROPRI

Nel caso delle spinte del terrapieno sulle pareti di cantinato (ove questo fosse presente), in sede di valutazione di tali carichi, (a condizione che non ci sia grossa variabilità dei parametri geotecnici dei vari strati così come individuati nella relazione geologica), è stata adottata una sola tipologia di terreno ai soli fini della definizione dei lati di spinta e/o di eventuali sovraccarichi.

COMBINAZIONI DI CALCOLO

Le combinazioni di calcolo considerate sono quelle previste dal D.M. 17/01/2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive.

In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni per cui si rimanda al § 2.5.3 delle N.T.C. 2018.

Queste sono:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (S.L.U.) (2.5.1);
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7 (2.5.2);
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) reversibili (2.5.3);
- Combinazione quasi permanente (S.L.E.), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (2.5.4);
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 form. 2.5.5);
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 form. 2.5.6).

Nelle combinazioni per S.L.E., si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo + vuol dire "combinato con".

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γGi e γQj sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 form. 3.2.16 delle N.T.C. 2018.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali (form. 3.2.17).

I valori dei coefficienti ψ2j sono riportati nella Tabella 2.5.I..

La struttura deve essere progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, purché si adotti la normale manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado devono essere stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado deve essere ottenuta attraverso un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'eventuale applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

La definizione quantitativa delle prestazioni e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

COMBINAZIONI DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Le azioni definite come al § 2.5.1 delle N.T.C. 2018 sono state combinate in accordo a quanto definito al § 2.5.3. applicando i coefficienti di combinazione come di seguito definiti:

Categoria/Azione variabile	**ψ0j**	**ψ 1j**	**ψ 2j**
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γGi e γQj utilizzati nelle calcolazioni sono dati nelle N.T.C. 2018 in § 2.6.1, Tab. 2.6.I.

8 MODELLI DI CALCOLO

Si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici
- analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica
- analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilita' limitata per l'acciaio
- verifiche plastiche per le sezioni in acciaio di classe 1 e 2 e tensionali per quelle di classe 3
- verifiche tensionali per le sezioni in legno
- analisi statica non lineare (push Over), quando specificato, nelle elaborazioni numeriche allegate

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di comportamento, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si fa riferimento alle NTC 2018 e relativa Circolare 2019 la quale è stata utilizzata come norma di dettaglio.

La definizione quantitativa delle prestazioni e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

9 TOLLERANZE

Nelle calcolazioni si è fatto riferimento ai valori nominali delle grandezze geometriche ipotizzando che le tolleranze ammesse in fase di realizzazione siano conformi alle Euronorme EN 1992-1991- EN206 - EN 1992-2005:

- Copriferro - 5 mm (EC2 4.4.1.3)

Per dimensioni ≤ 150mm ± 5 mm

Per dimensioni = 400 mm ± 15 mm

Per dimensioni ≥ 2500 mm ±30 mm

Per i valori intermedi interpolare linearmente.

10 DURABILITÀ

Per garantire la durabilità della struttura sono state prese in considerazioni opportuni stati limite di esercizio (S.L.E.) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui la struttura dovrà vivere limitando sia gli stati tensionali che nel caso delle opere in calcestruzzo anche l'ampiezza delle fessure. La definizione quantitativa delle prestazioni, la classe di esposizione e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

Inoltre, per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, è necessario che si ponga adeguata cura sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura e si utilizzino tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Durante le fasi di costruzione il direttore dei lavori implementerà severe procedure di controllo sulla qualità dei materiali, sulle metodologie di lavorazione e sulla conformità delle opere eseguite al progetto esecutivo nonché alle prescrizioni contenute nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 17/01/2018 e relative Istruzioni.

11 PRESTAZIONI ATTESE AL COLLAUDO

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 17/01/2018.

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dall'allegato fascicolo dei calcoli statici per il valore delle azioni pari a quelle di esercizio.

12 CRITERI ADOTTATI PER LA SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

In particolare, le travi ed i pilastri sono schematizzati con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite.

Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Gli elementi finiti a due nodi possono essere utilizzati in analisi di tipo non lineare potendo modellare non linearità sia di tipo geometrico che meccanico con i seguenti modelli:

- Matrice geometrica per gli effetti del II° ordine
- Non linearità meccanica per comportamento assiale solo resistente a trazione o compressione
- Non linearità meccanica di tipo elasto-plastica con modellazione a plasticità concentrata e duttilità limitata con controllo della capacità rotazionale ultima delle cerniere plastiche. Tale modellazione viene utilizzata per effettuare le analisi sismiche di tipo PUSHOVER con le modalità previste dal D.M. 17/01/2018 e s.m.i.

Per gli elementi strutturali bidimensionali quali pareti a taglio, setti, nuclei irrigidenti, piastre o superfici generiche viene utilizzato un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo shell che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra).

Tale elemento finito di tipo isoparametrico viene modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo FEM.

Per questo tipo di elementi finiti la precisione dei risultati ottenuti dipenderà quindi dalla forma e densità della MESH, si ricorda che il calcolo agli elementi finiti è per sua natura un calcolo approssimato.

Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne.

La precisione nel calcolo delle tensioni è inferiore a quella ottenuta nel calcolo degli spostamenti, inoltre è fortemente dipendente dalla mesh.

Le verifiche saranno effettuate sia direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio, mentre per le azioni dovute al sisma ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica, sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro a taglio, trave accoppiamento, etc..)

Nel modello vengono tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

La presenza di eventuali orizzontamenti è tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi o modellando la soletta con elementi SHELL.

L'analisi delle sollecitazioni viene condotta in fase elastica lineare tenendo conto eventualmente degli effetti del secondo ordine.

Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche possono essere ottenute sia da analisi statiche equivalenti che da analisi dinamiche modali.

Nel caso si debba verificare la capacità della struttura progettata o di una esistente a resistere al sisma, o si debba verificare l'effettiva duttilità strutturale si provvederà ad effettuare una analisi statica di tipo non lineare (PUSHOVER).

I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno sono modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale, in particolare per le connessioni tra aste in acciaio o legno.

Il modello di calcolo può tenere in conto o meno dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali con elementi plinto, trave o piastra su suolo elastico alla Winkler.

Nel caso di fondazioni profonde i pali vengono modellati sia per le azioni verticali che trasversali modellando il terreno alla winkler in funzione del modulo di reazione orizzontale.

Nel caso delle strutture isolate alla base gli isolatori vengono modellati come elementi a due nodi a comportamento elasto-viscoso deformabili sia a taglio che assialmente.

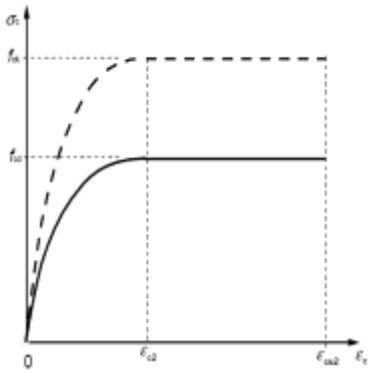
I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono elastico lineari.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi non lineari di tipo PUSHOVER possono essere di tipo elastoplastico - incrudente a duttilità limitata, elasto-fragile, elastoplastico a compressione e fragile a trazione.

Per le verifiche sezionali i legami utilizzati sono:

LEGAME PARABOLA RETTANGOLO PER IL CALCESTRUZZO

Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo

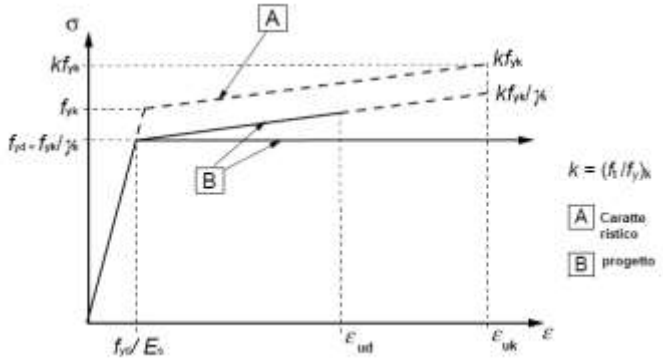


Il valore ε_{cu2} nel caso di analisi non lineari sarà valutato in funzione dell'effettivo grado di confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo.

LEGAME ELASTICO PREFETTAMENTE PLASTICO O INCRUDENTE O DUTTILITA' LIMITATA PER L'ACCIAIO

Legame costitutivo di progetto acciaio per c.a.

- legame rigido plastico per le sezioni in acciaio di classe 1 e 2 e elastico lineare per quelle di classe 3 e 4
- legame elastico lineare per le sezioni in legno
- legame elasto-viscoso per gli isolatori



Legame costitutivo isolatori

Il modello di calcolo utilizzato risulta rappresentativo della realtà fisica per la configurazione finale anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

13 SOFTWARE UTILIZZATI E TIPO DI ELABORATORE

SOFTWARE UTILIZZATO

CDSWin - versione full rel.2021 con licenza chiave n° 21862 e 21863 prodotta dalla:

S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.

Via Tre Torri n°11 – Compl. Tre Torri

95030 Sant'Agata li Battiati (CT).

CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI

Come previsto al punto *10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018* l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti fornisce direttamente on-line i test sui casi prova (http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm)

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare, il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulle verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITÀ

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti. Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre, la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

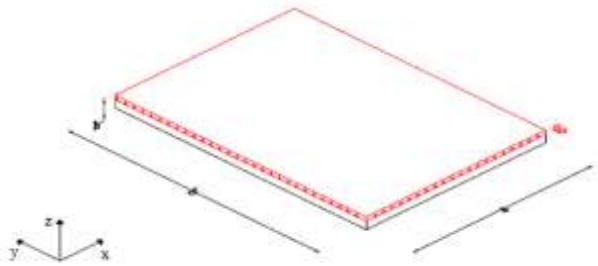
Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati. Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

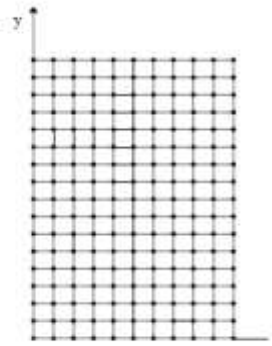
Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni. Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

Ai fini della verifica della correttezza della modellazione strutturale e, quindi, della congruità dei risultati sono stati eseguiti dei controlli consistenti nel confronto con i risultati del modello numerico con calcoli semplificati.

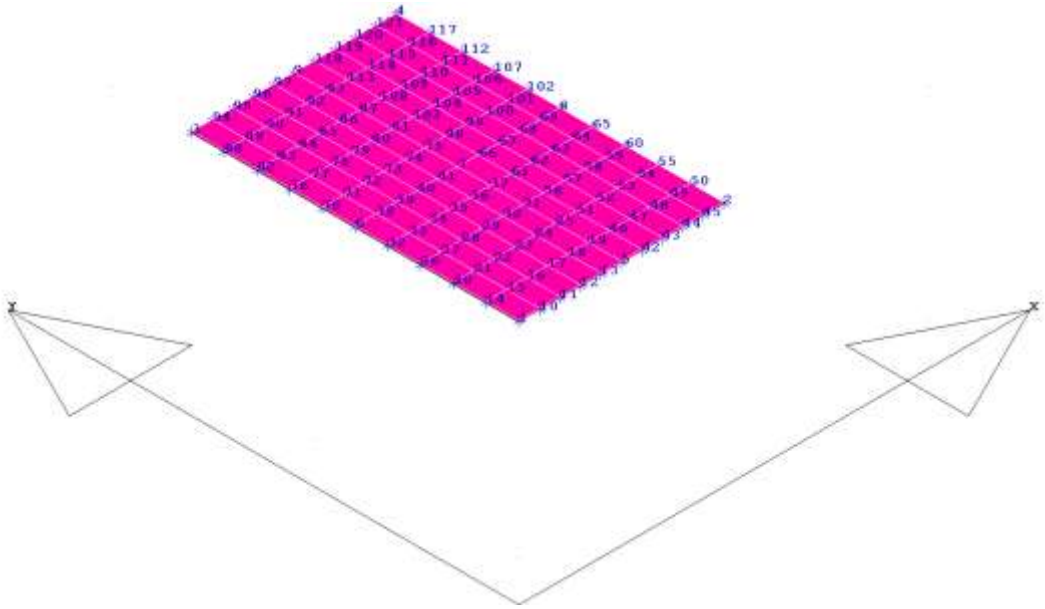
Poiché le strutture oggetto della presente relazione sono elementi shell, si riporta di seguito il calcolo manuale dell'abbassamento e delle tensioni in una piastra rettangolare incastrata ai bordi.

Piastra rettangolare, di larghezza *a* e lunghezza *b*, ha uno spessore costante *h* ed è incastrata lungo i 4 lati. Il carico applicato consiste in una pressione *q0* uniformemente ripartita sull'intera superficie.





Proprietà meccaniche	***Proprietà geometriche***	***Carico***
E= 1000000 Kg/cm²	*a =100 cm*	
ν= 0.2	*b =160 cm*	q_0 = *1 t/m²*
	h = 1 cm	



Vista del modello di calcolo con la definizione della mesh e la numerazione dei nodi

L'abbassamento cercato è fornito dalla ben nota relazione (riportata nella di letteratura tecnica es. Cremonese: "Manuale di ingegneria civile" Ed. 1982, pg. 113), di seguito riportata:

$$w_c = C_f \frac{q_0 \times a^4}{D}$$

Con:

C_f (a/b) = 0,0023

$$D = \text{rigidezza flessionale della piastra} = \frac{E \times h^3}{12(1-\upsilon^2)}$$

Con i dati a disposizione l'abbassamento è pari **w_c = 2,65 mm**

Per quanto attiene allo stato tensionale, si calcolano i momenti in campata:

$M_{x\text{-}c} = (C_1 + \nu \times C_2) \times q_o \times a^2$

$M_{y\text{-}c} = (C_2 + \nu \times C_1) \times q_o \times a^2$

Con:

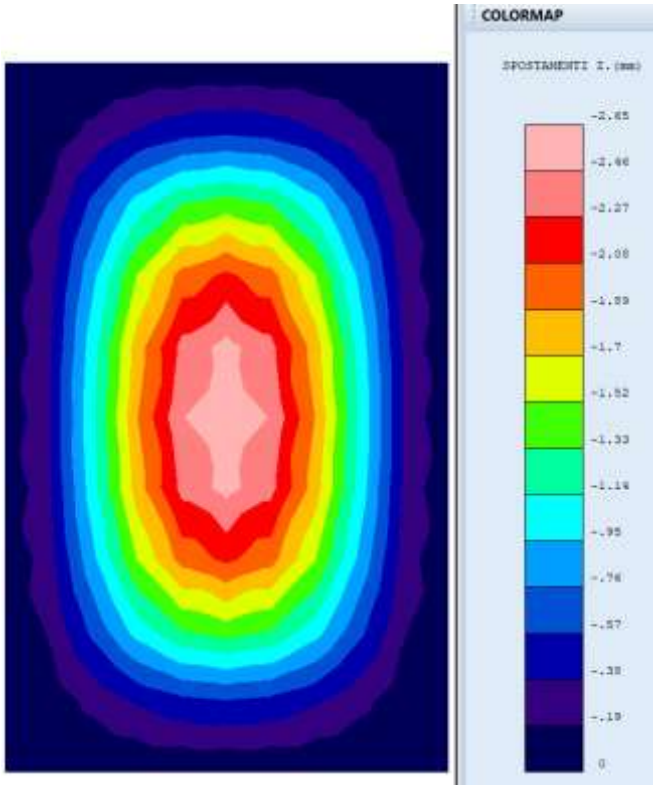
C_1 (a/b) = 0,0358

C_2 (a/b) = 0,0086

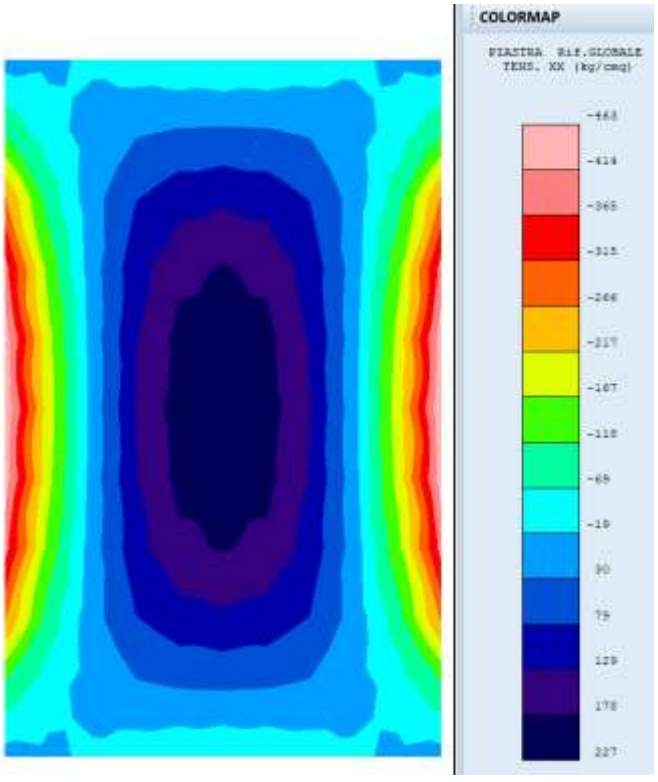
Con i dati a disposizione si ottengono i seguenti valori delle tensioni:

$\sigma_{x\text{-}c}$ = 225kg/cm² $\sigma_{y\text{-}c}$ = 95kg/cm²

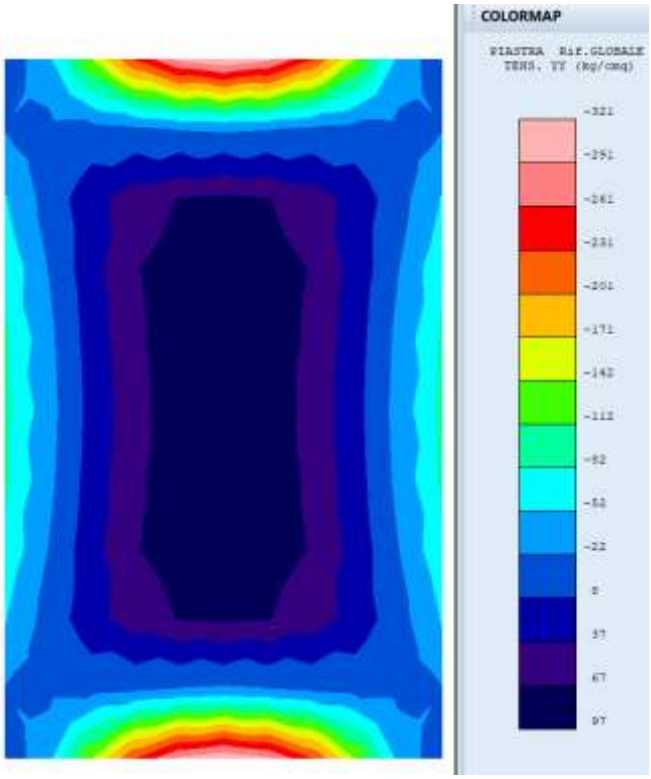
Si riportano di seguito gli screenshot del software di calcolo



Vista del modello di calcolo: abbassamenti



Vista del modello di calcolo: tensioni direzioni XX (orizzontale nell'immagine)

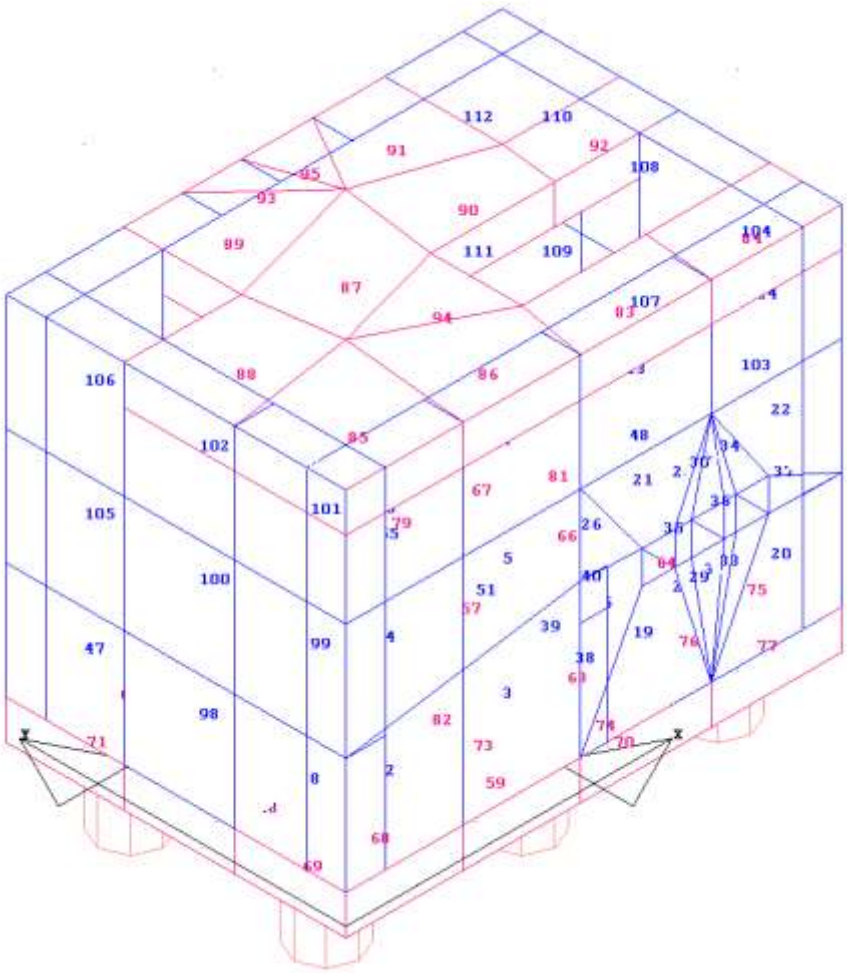


Vista del modello di calcolo: tensioni direzioni YY (verticale nell'immagine)

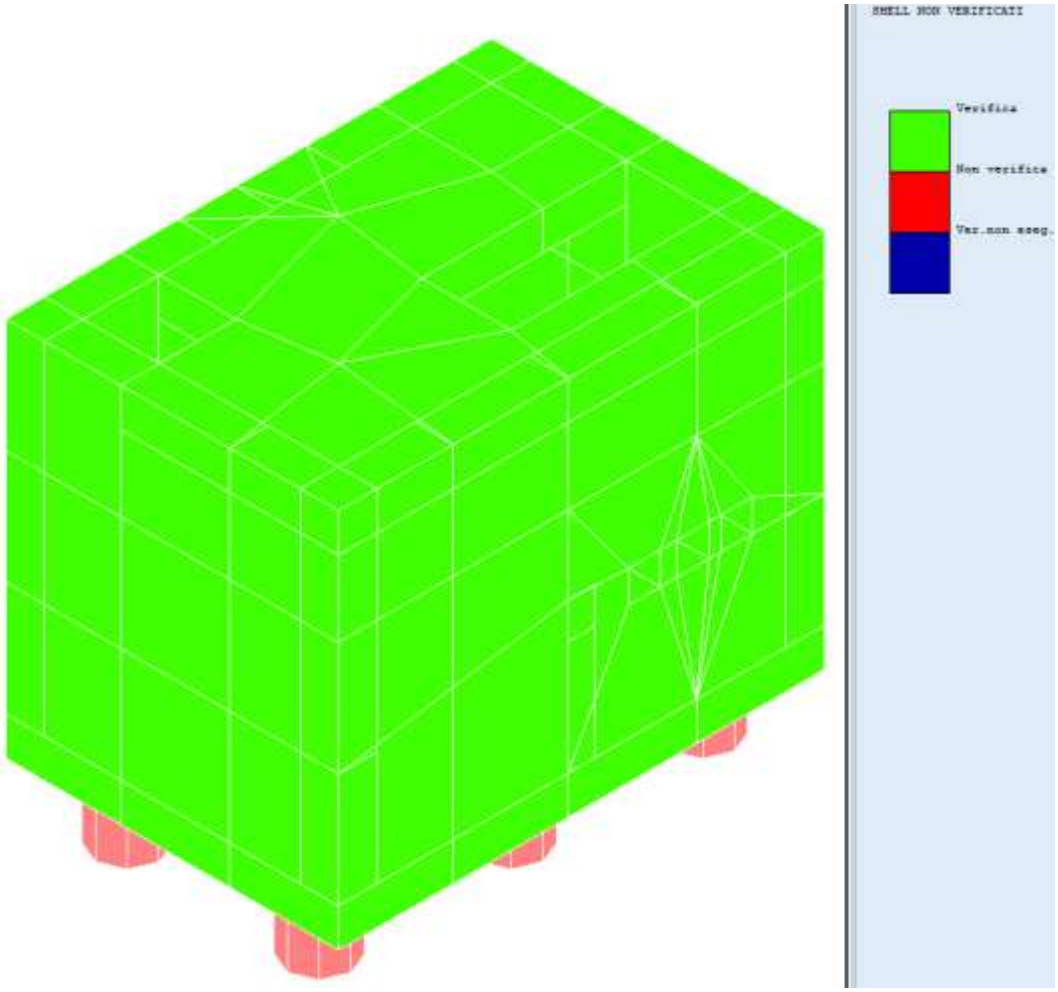
14 SCHEMA DI SINTESI DEI RISULTATI

Di seguito viene mostrata la sintesi dei risultati, con la rappresentazione della vista del modello strutturale.

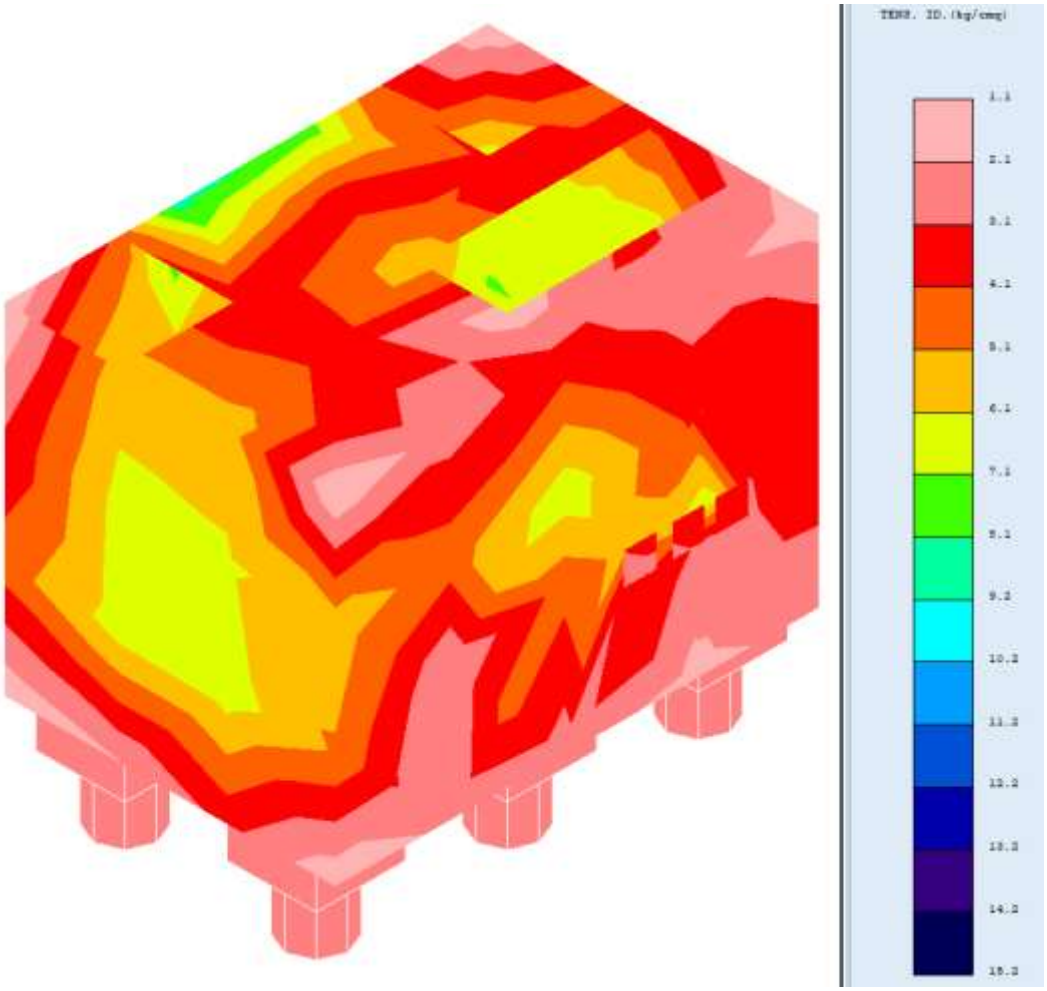
A. POZZETTO IN VIA TERRAGNETA – NODO O1



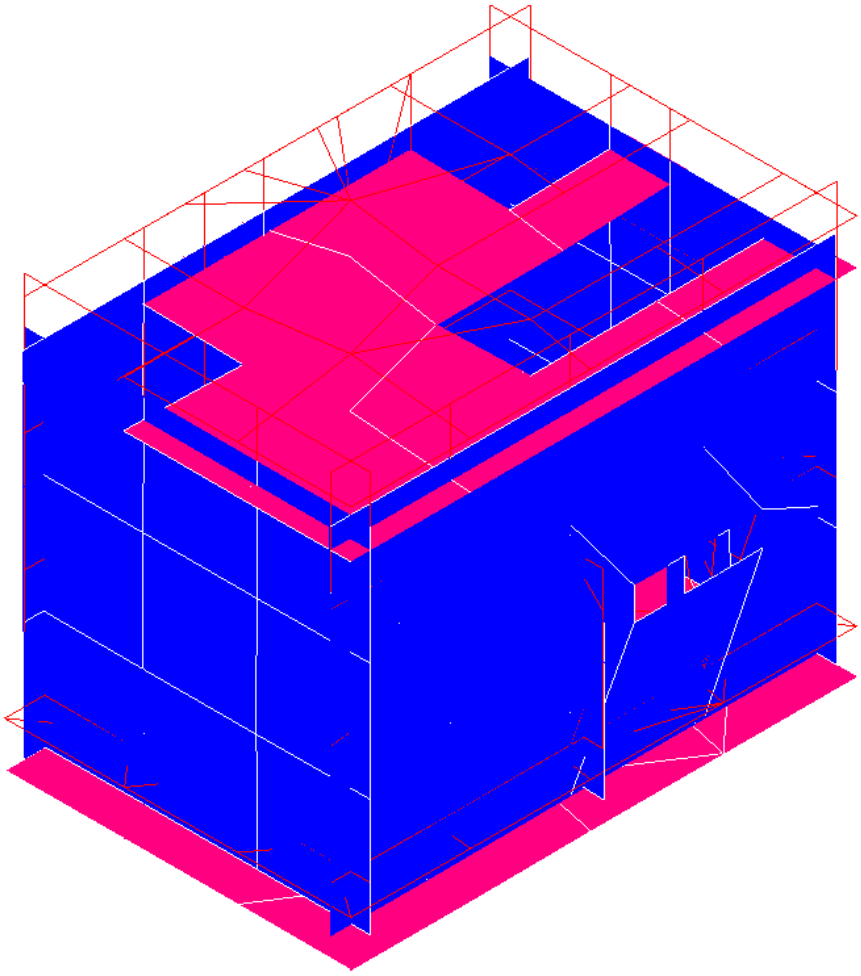
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI

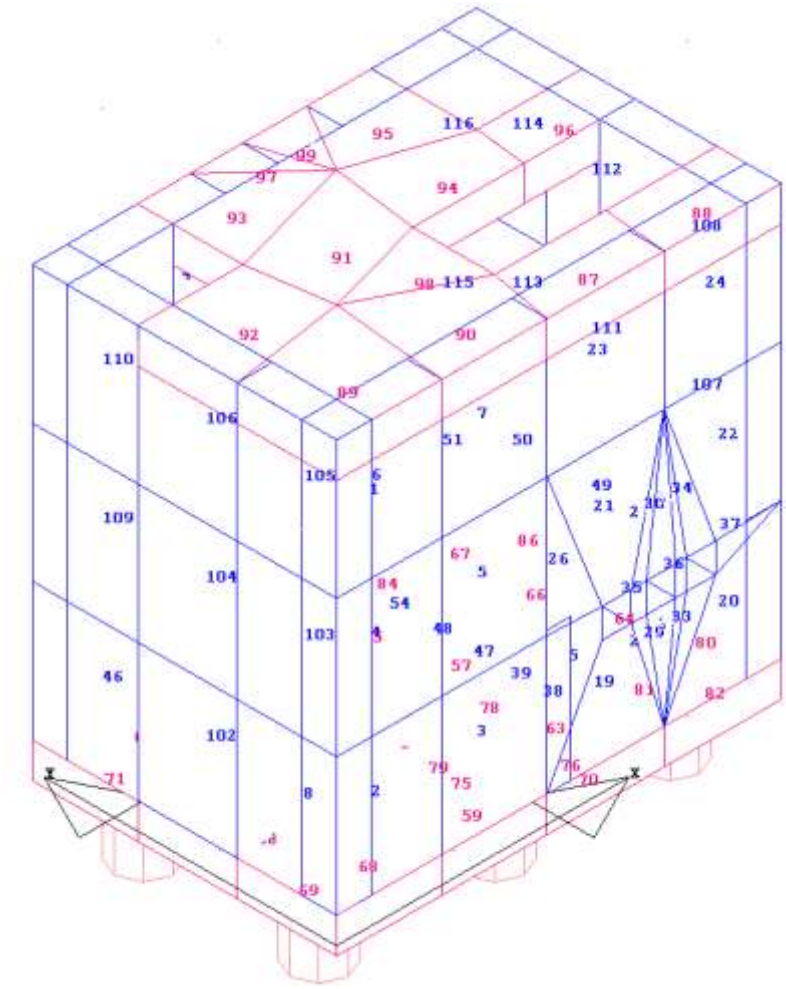


TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

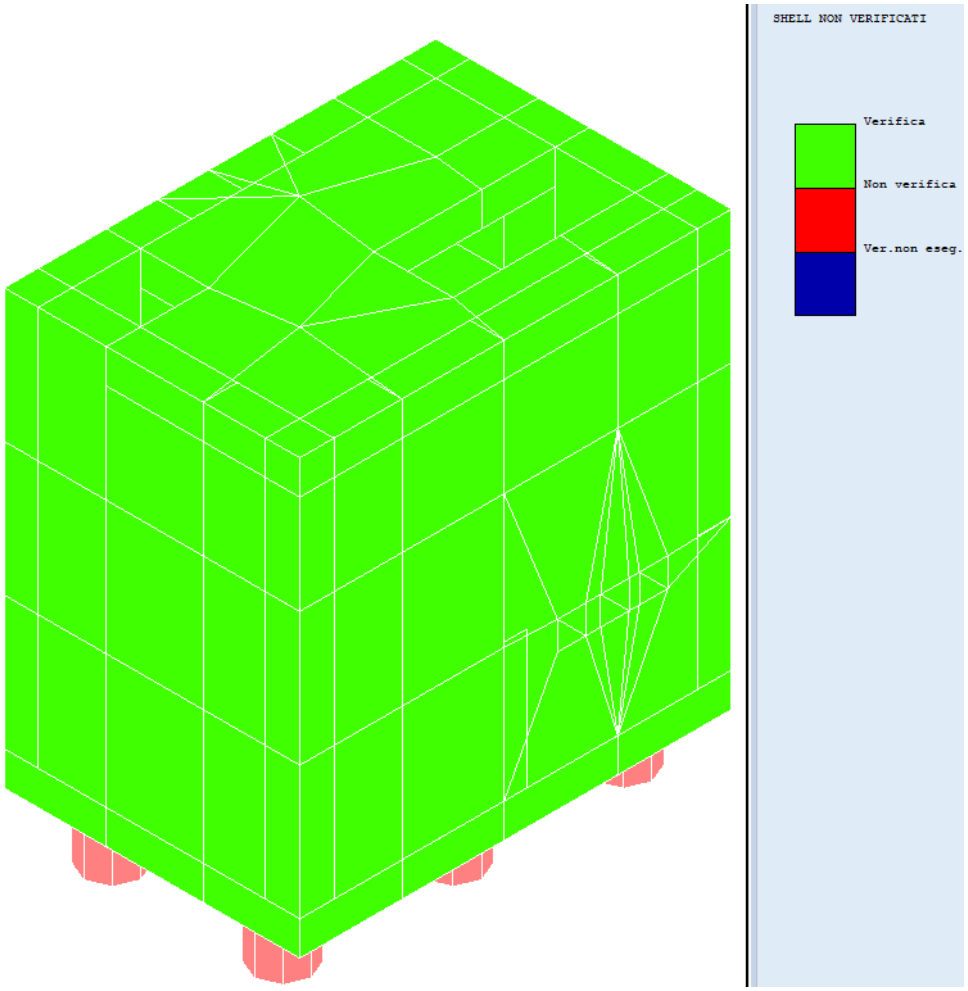


DEFORMATA ALLO SLE

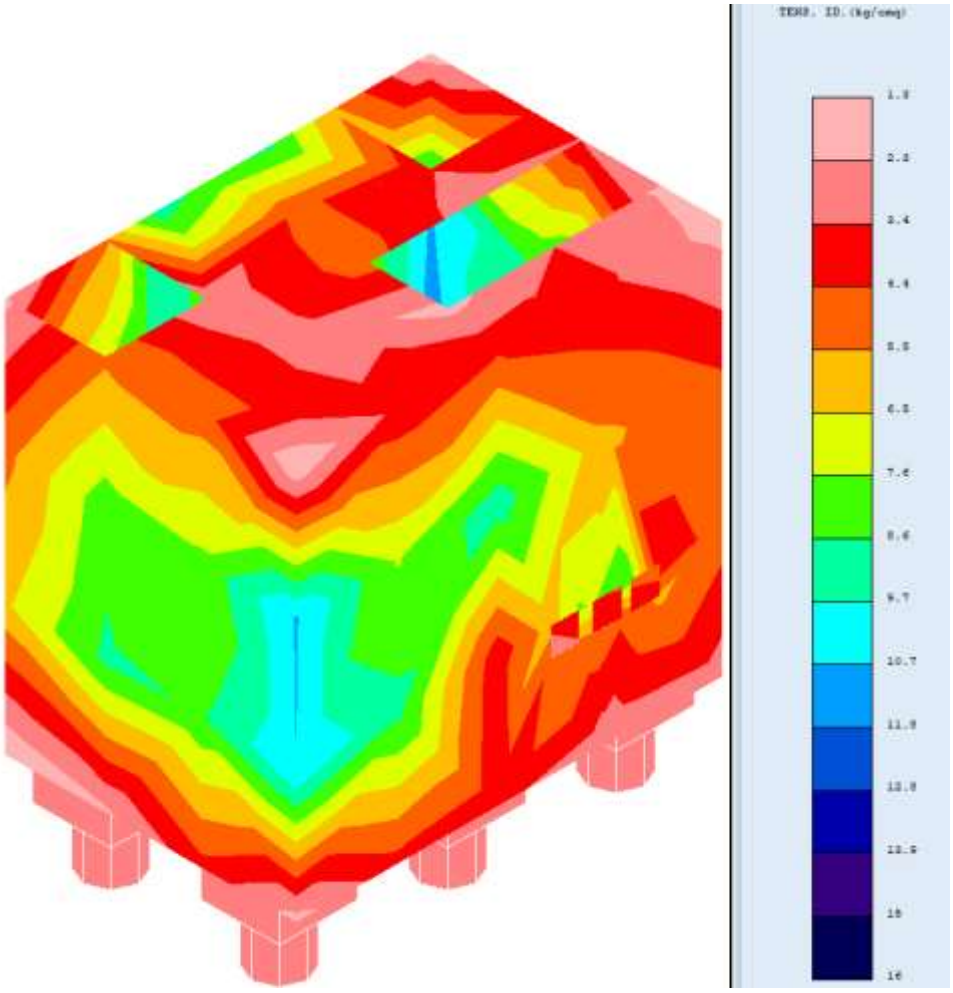
B. POZZETTO IN VIA TERRAGNETA – NODO O1.4



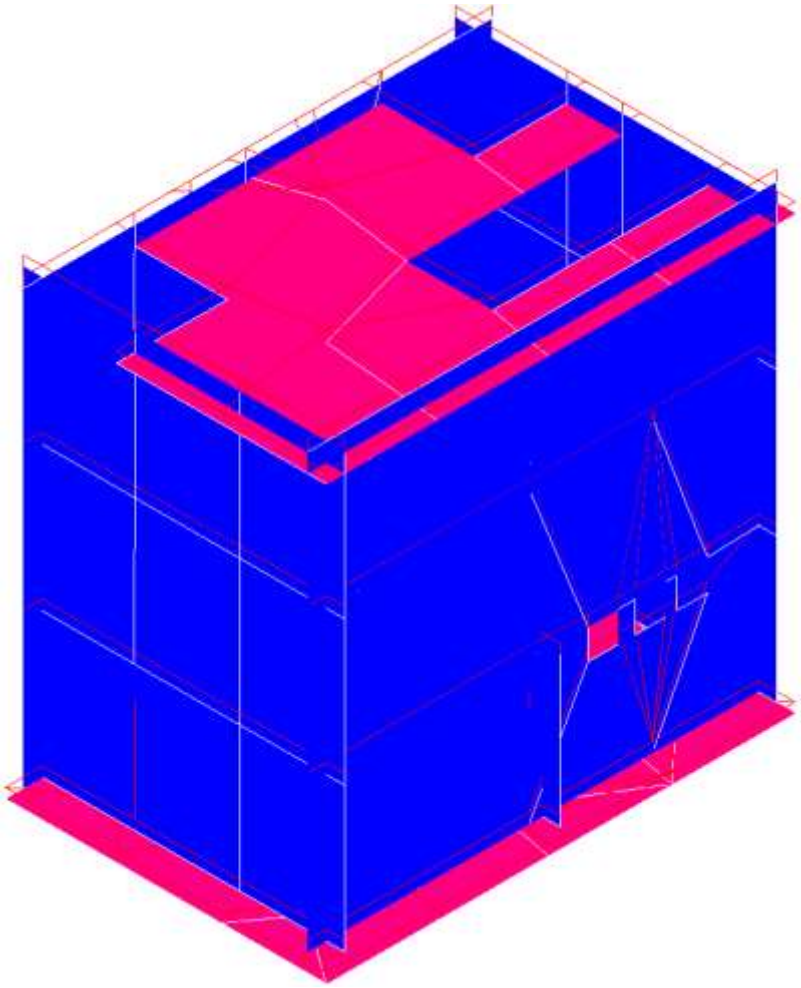
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI

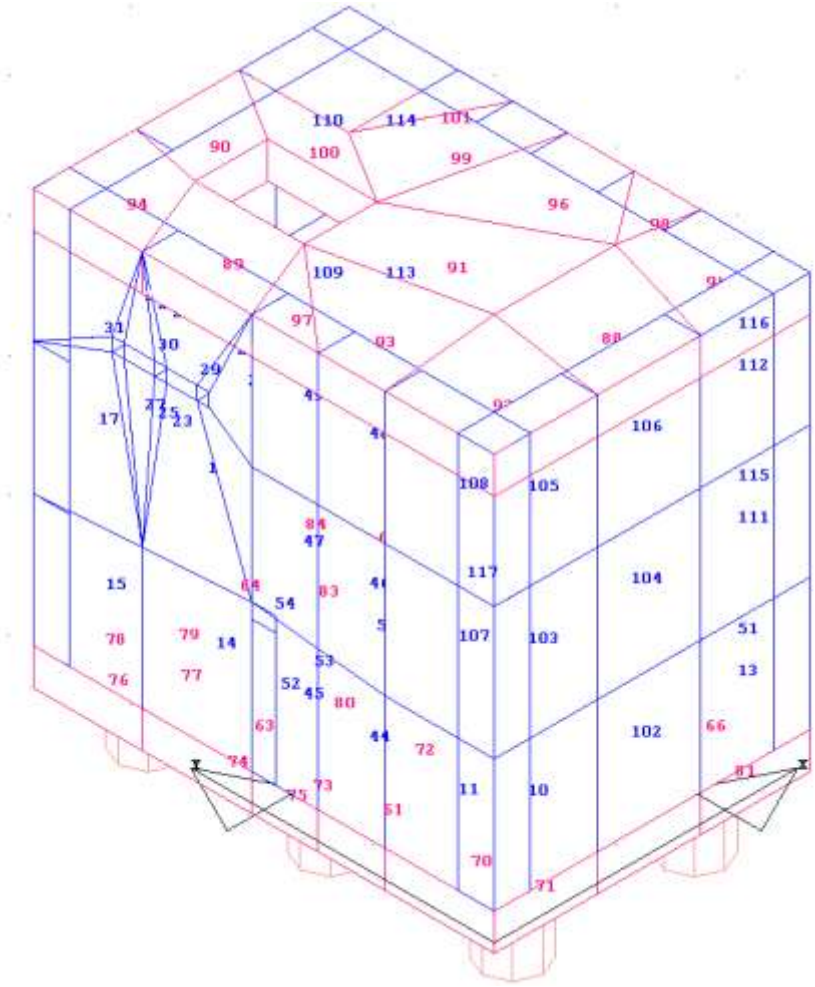


TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

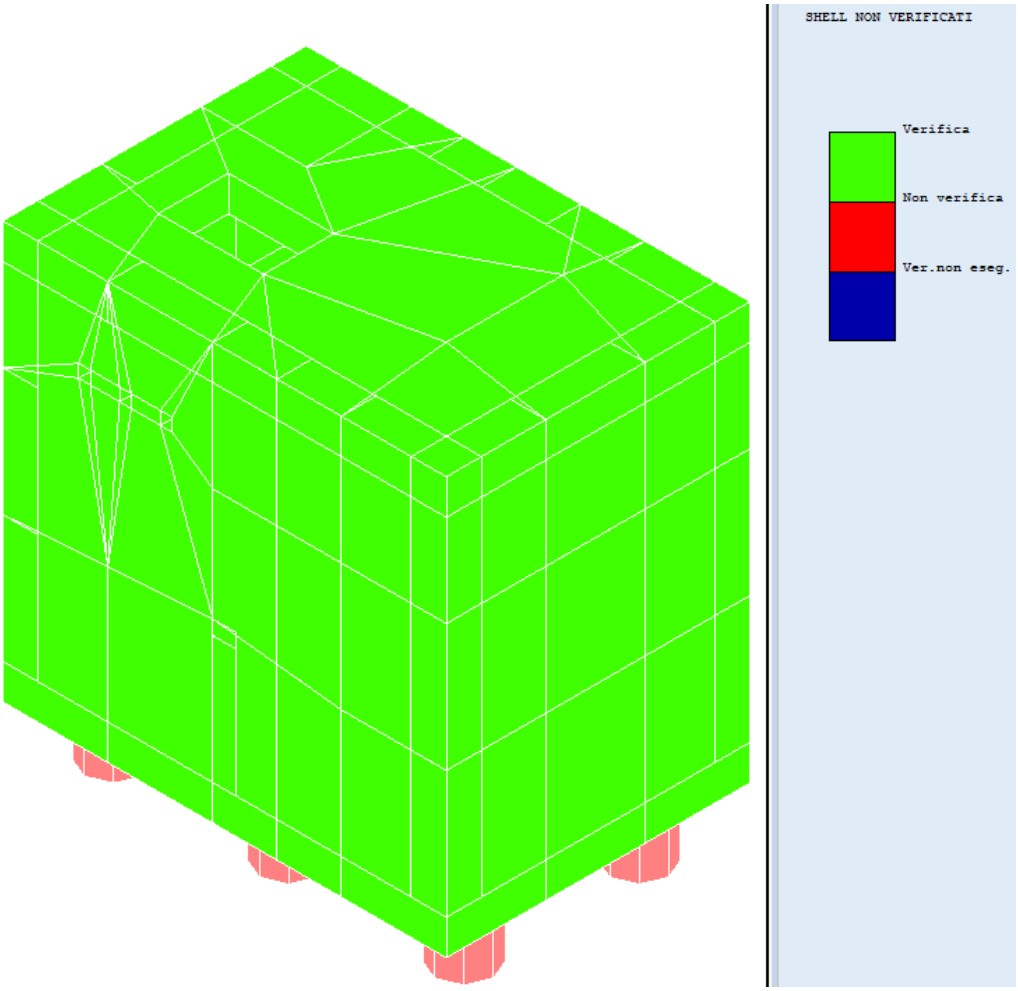


DEFORMATA ALLO SLE

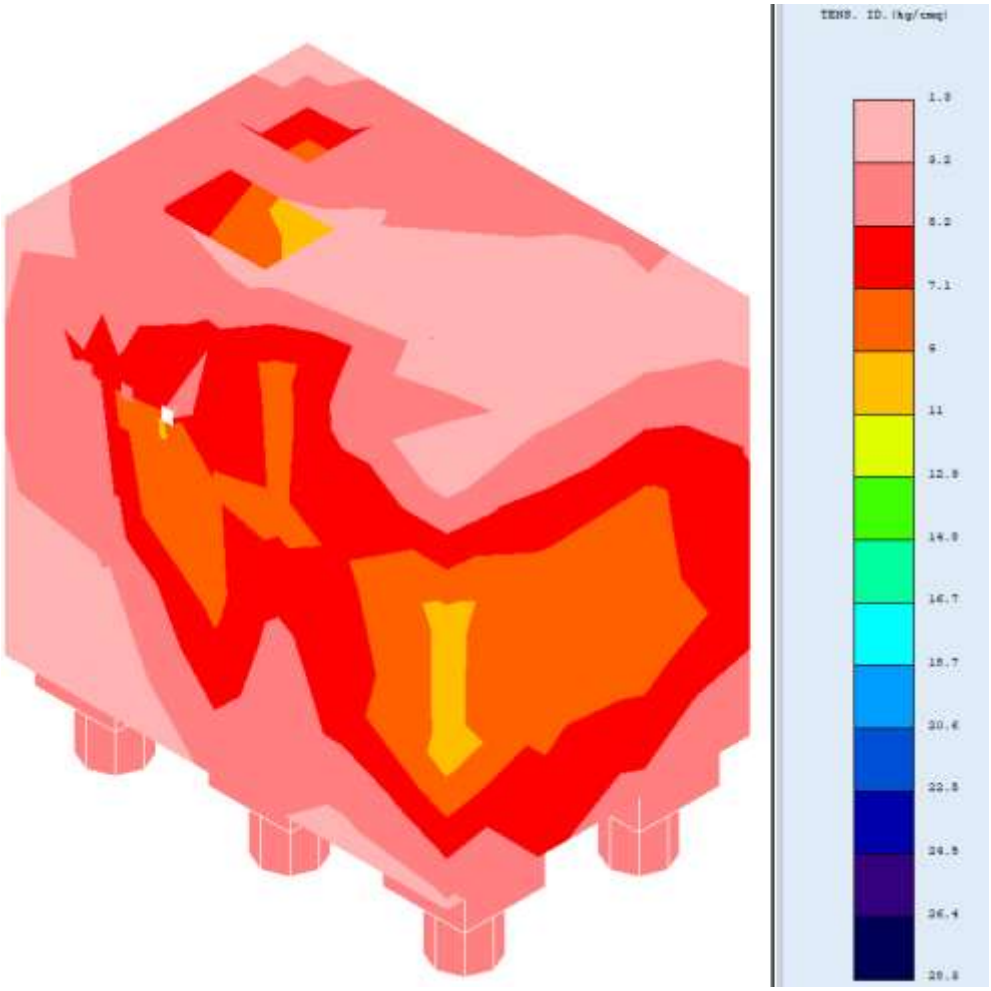
C. POZZETTO IN VIA BOTTARO - NODO N1



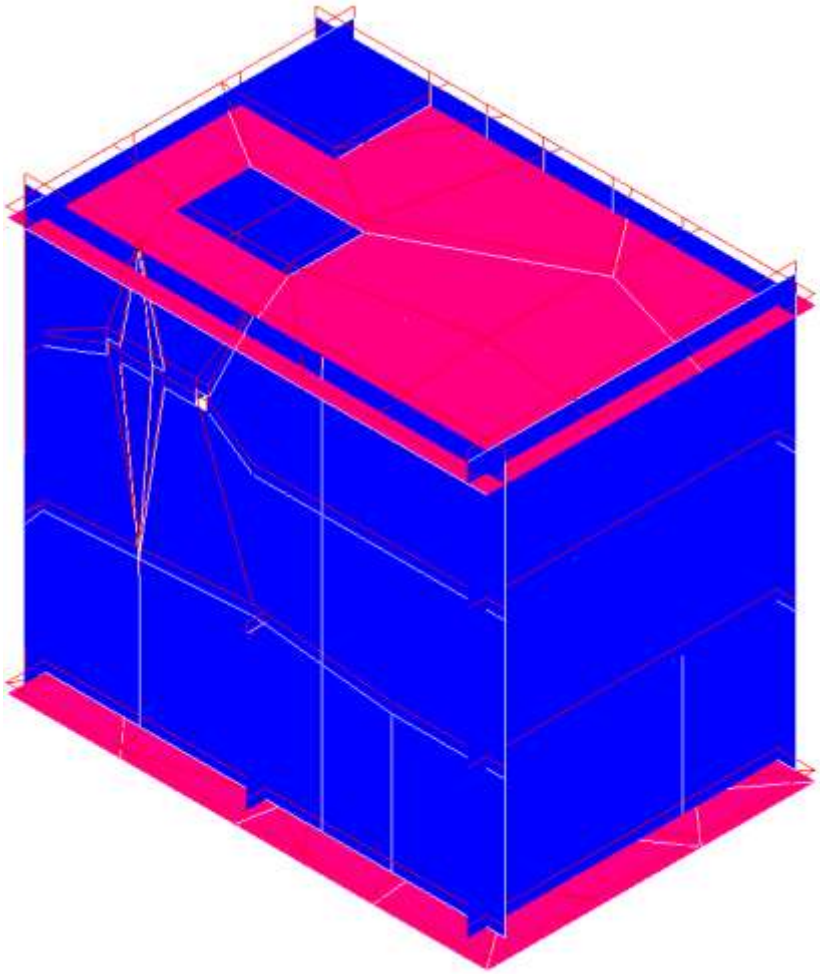
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI

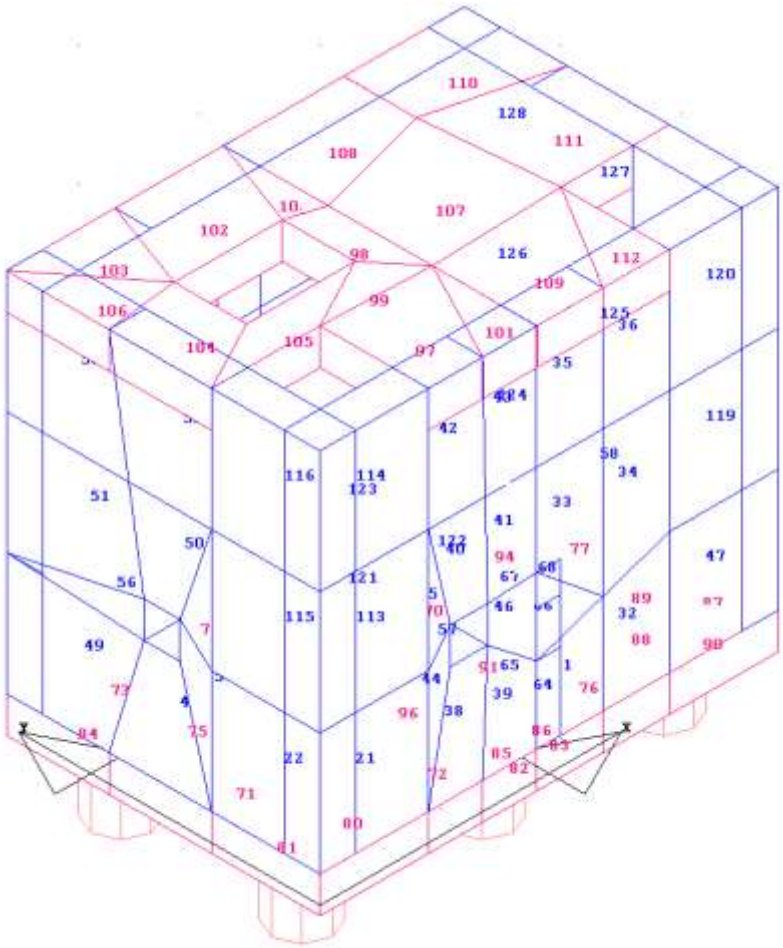


TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

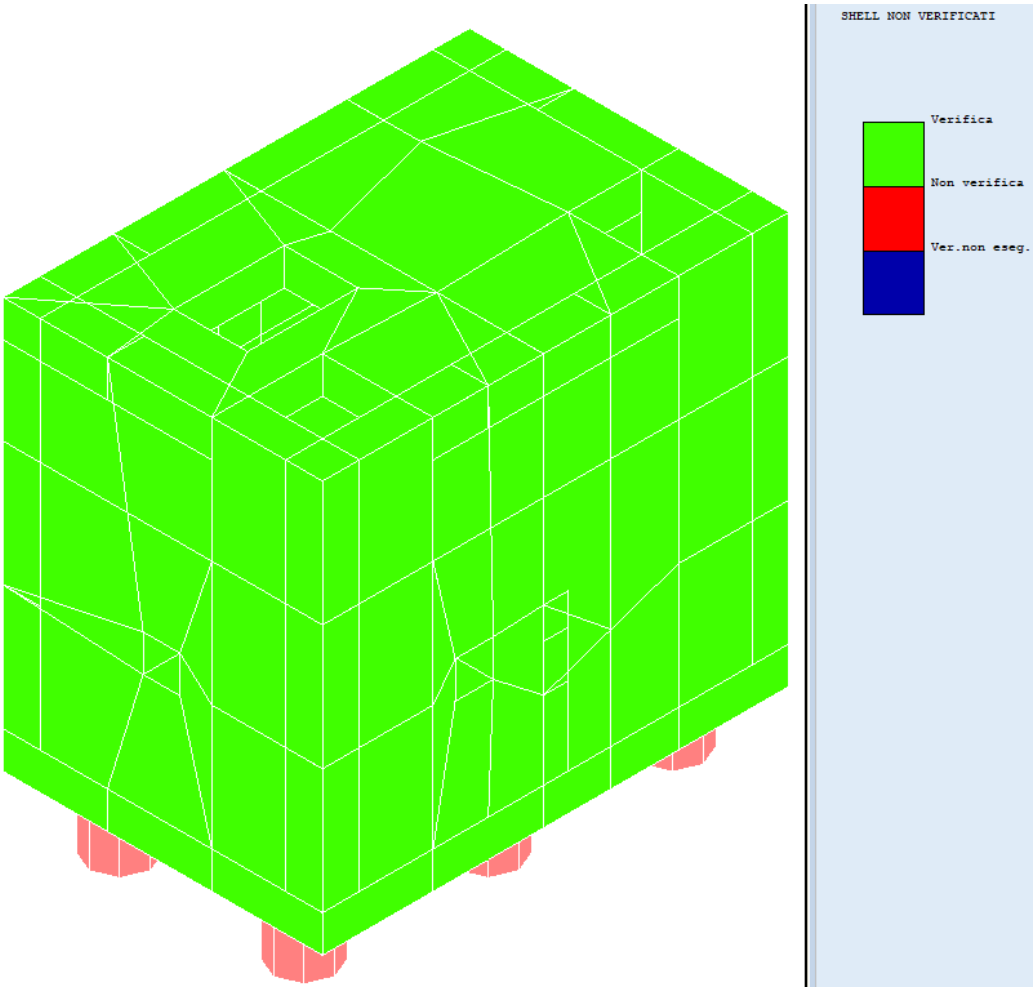


DEFORMATA ALLO SLE

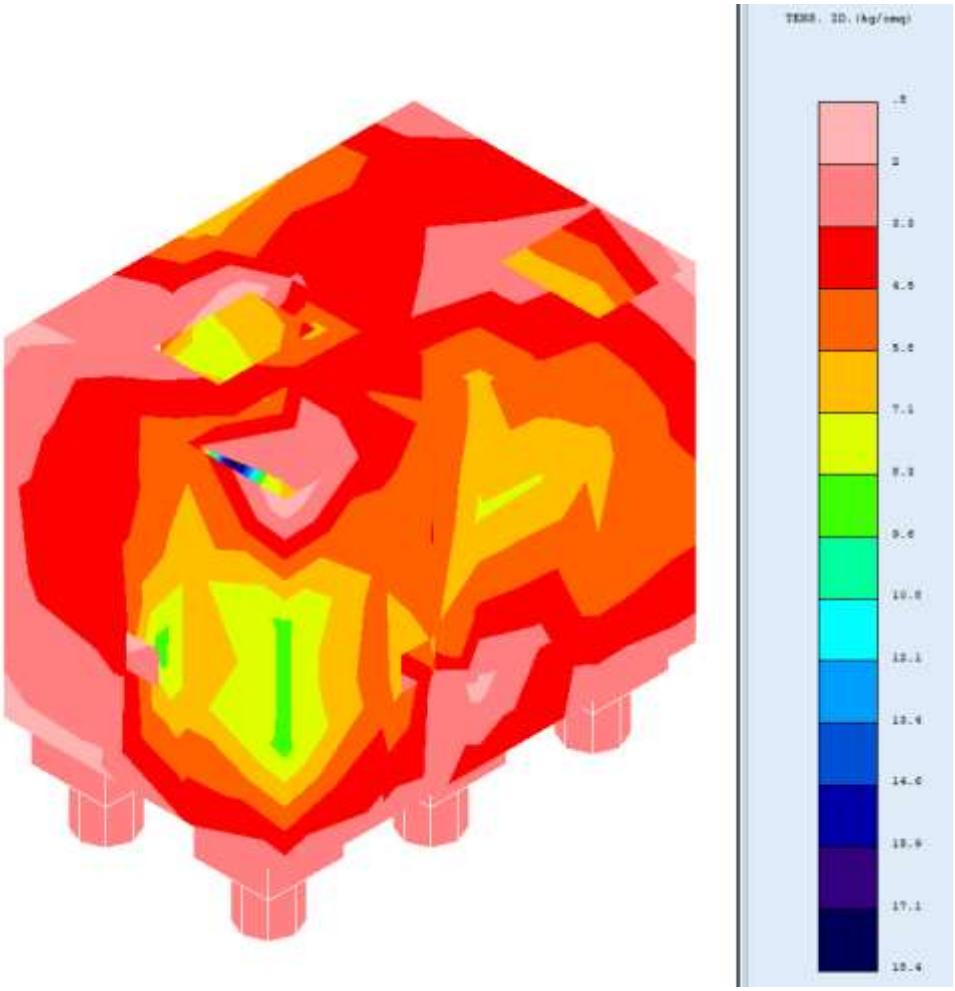
D. POZZETTO IN VIA MAGENTA – NODO M3’



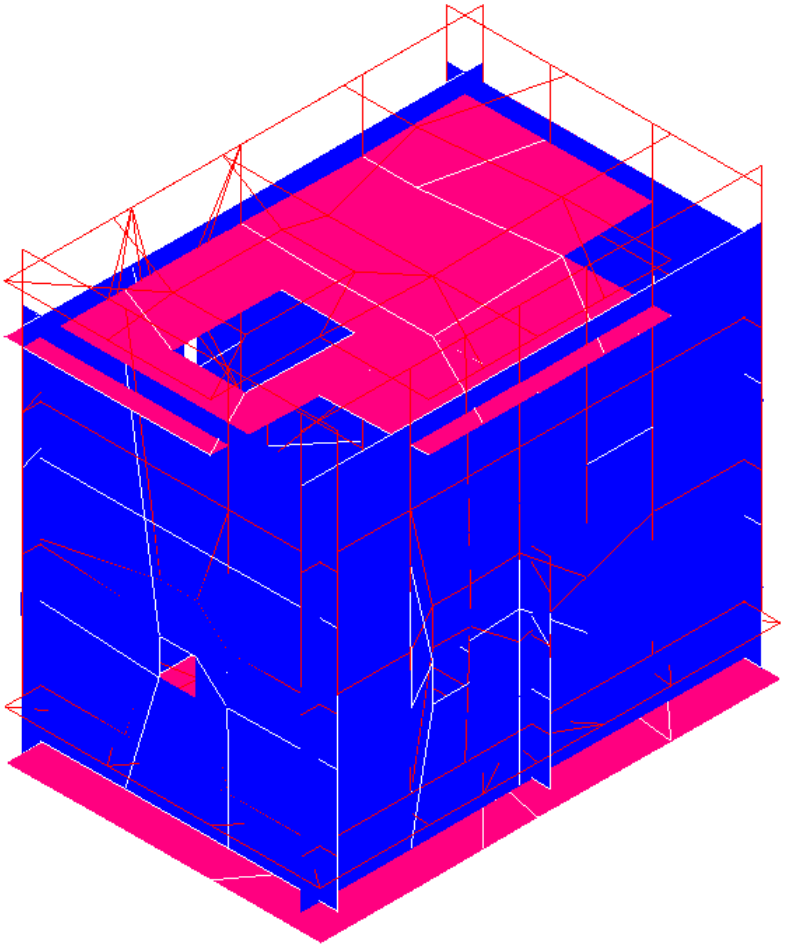
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI

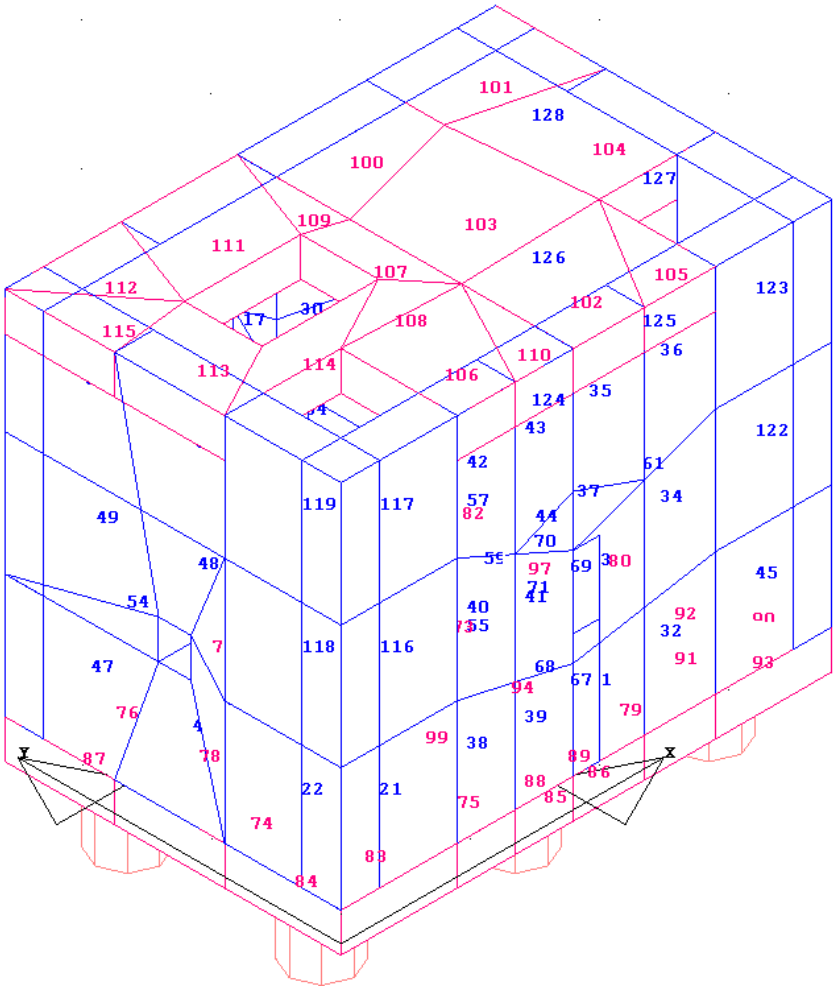


TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

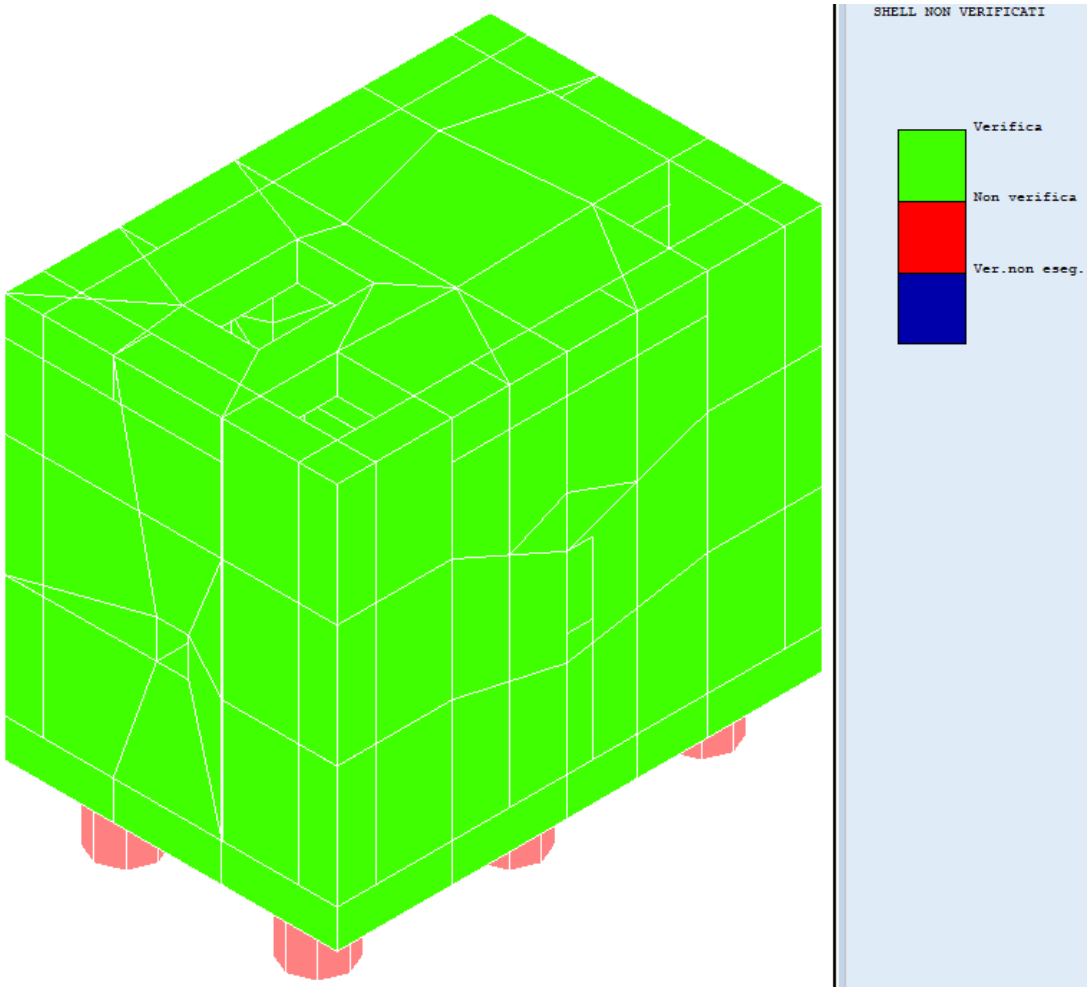


DEFORMATA ALLO SLE

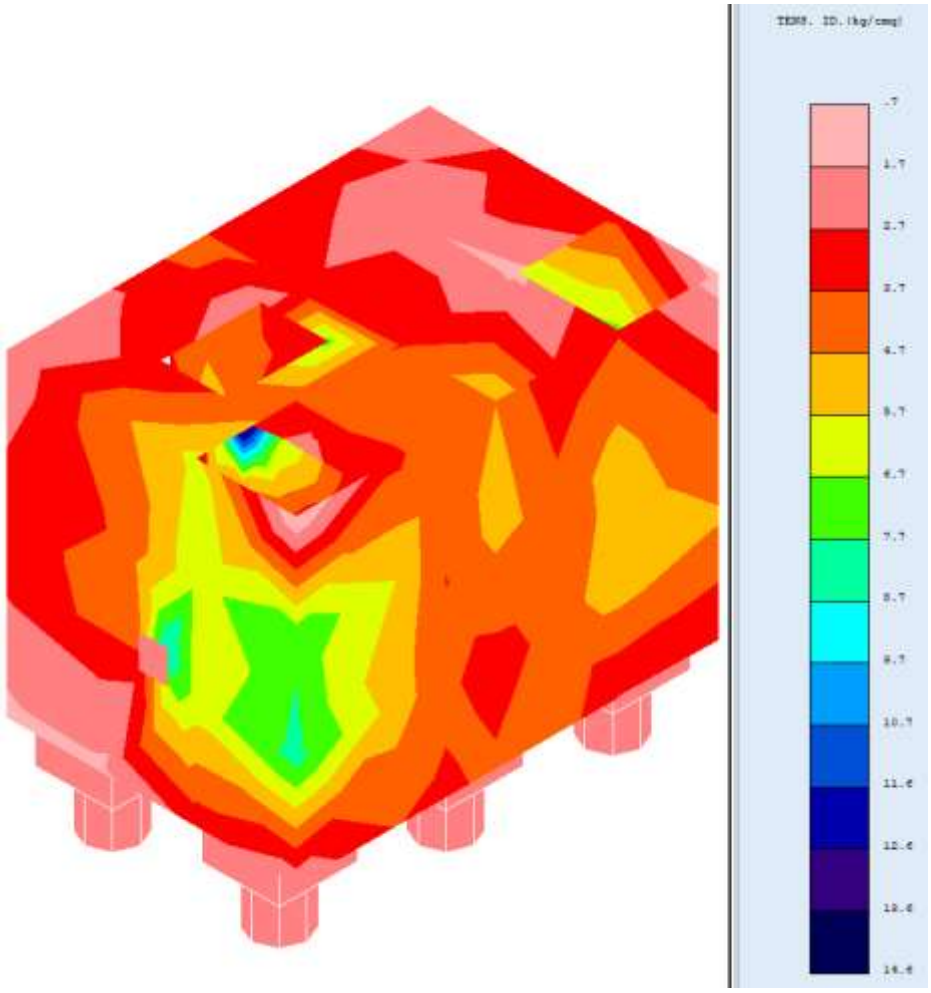
E. POZZETTO IN VIA MORTELLETO – NODO L4.1’



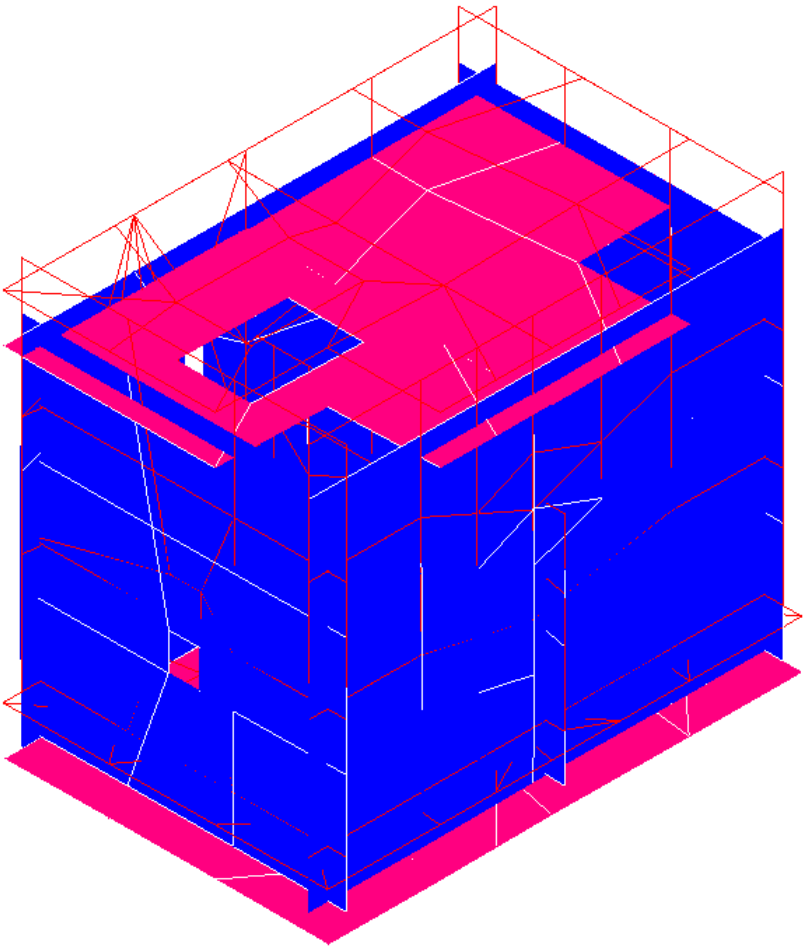
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI

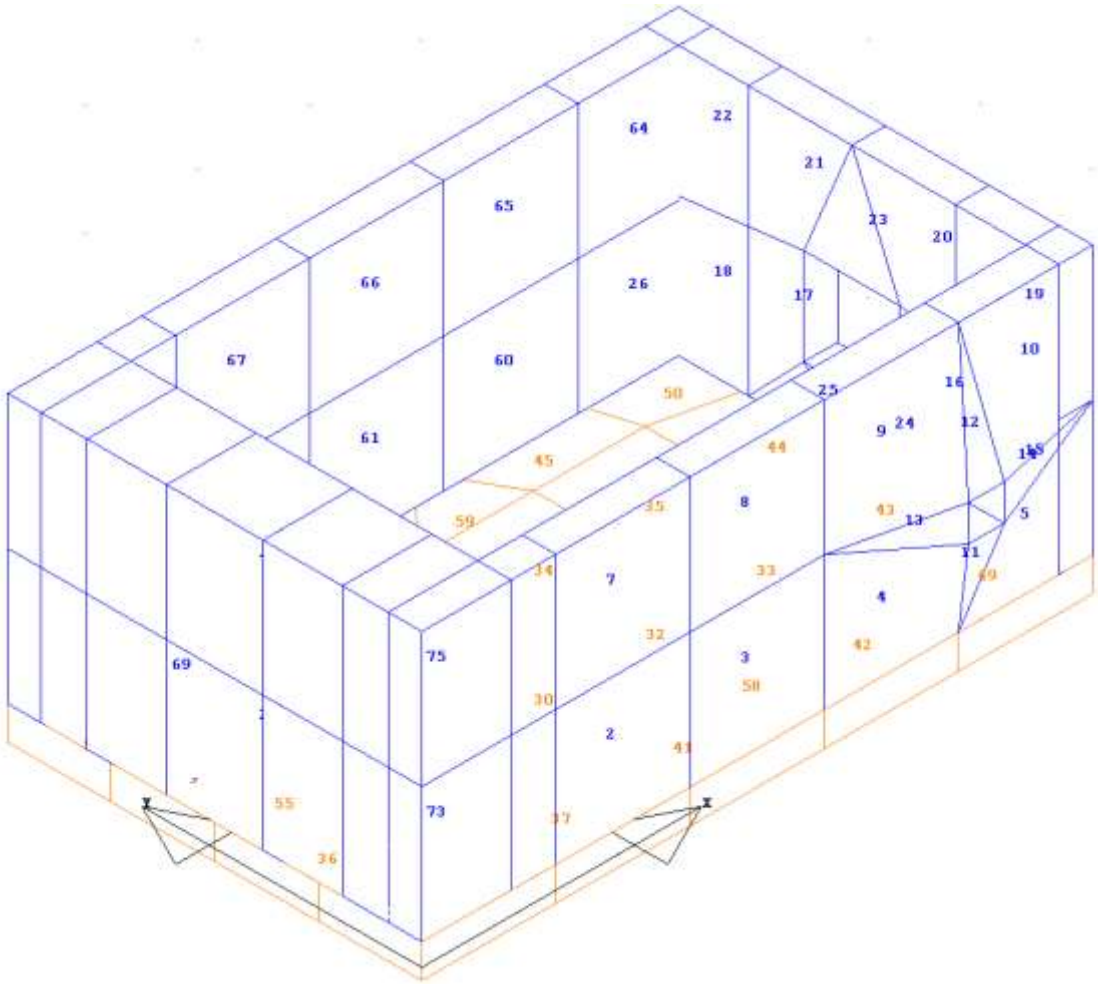


TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

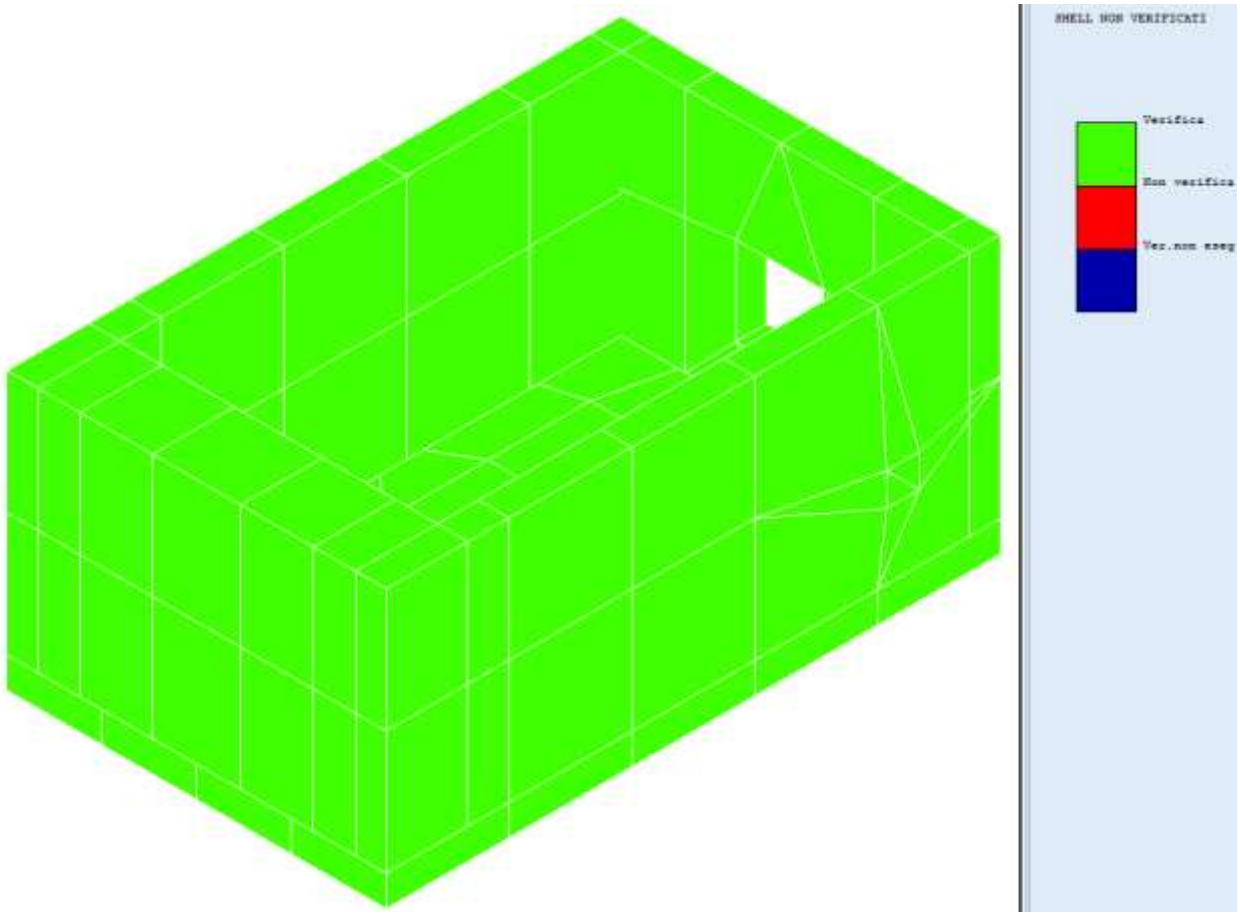


DEFORMATA ALLO SLE

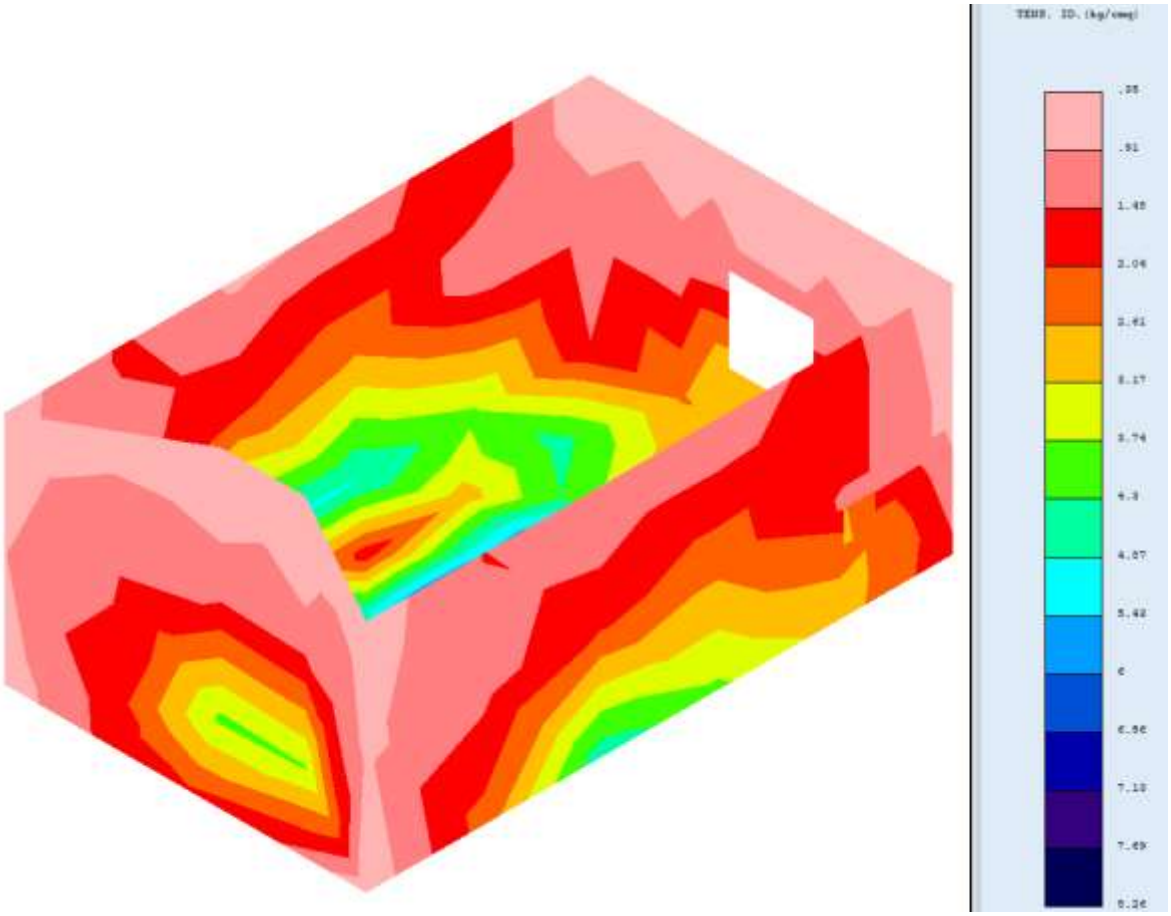
F. CAMERA DI SPINTA IN II TRAV. PLINIO - ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADA A3 – TRATTO G7.1-G7.2



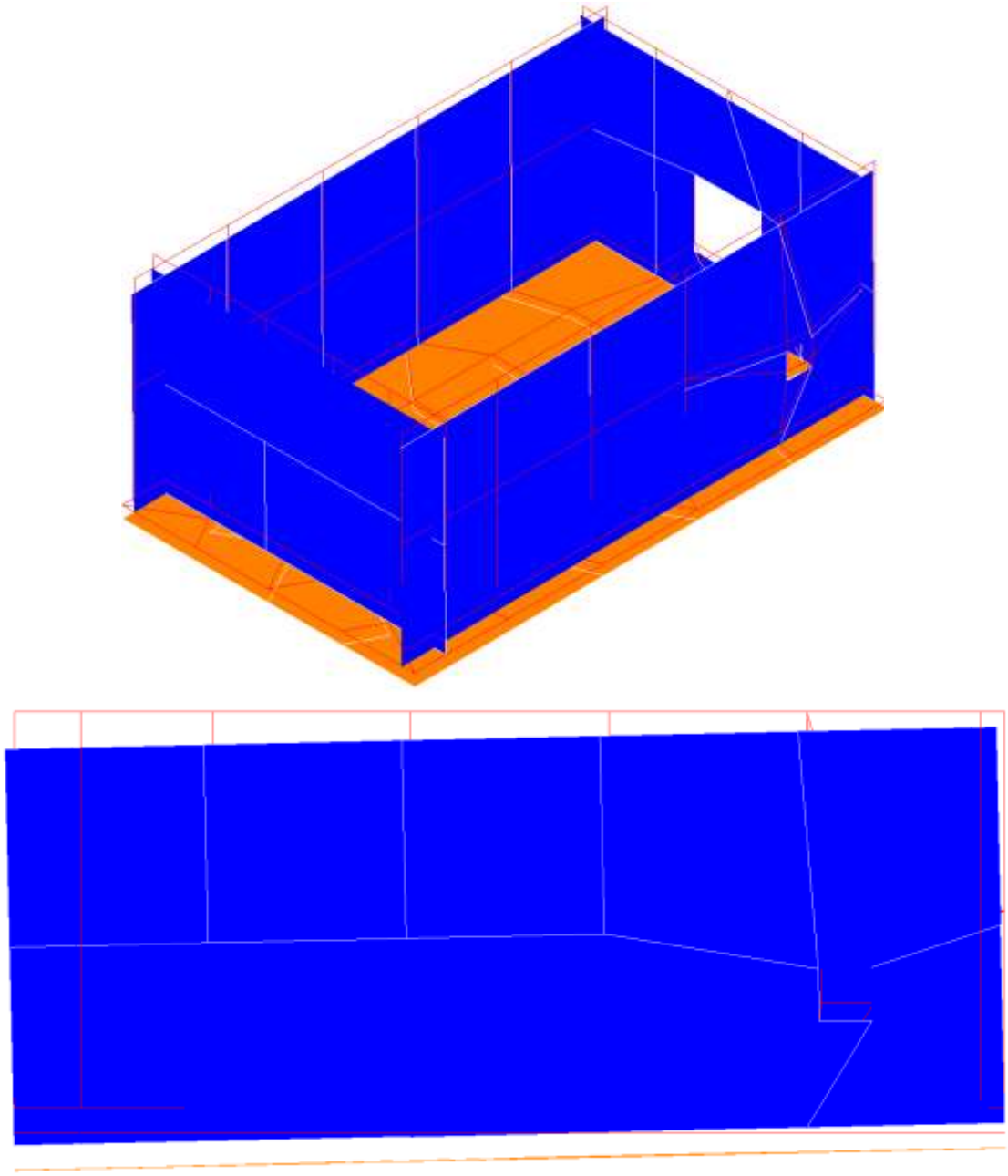
NUMERI DEGLI SHELL



SINTESI DEI RISULTATI



TENSIONI IDEALI A CARICHI VERTICALI

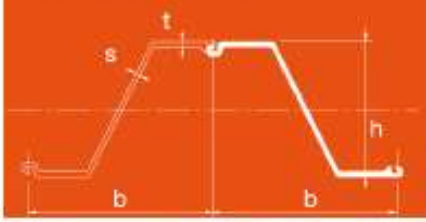


DEFORMATA ALLO SLE

G. PALANCOLA TIPO

Palancola metallica LARSEN serie AZ28 – L = 11,00m

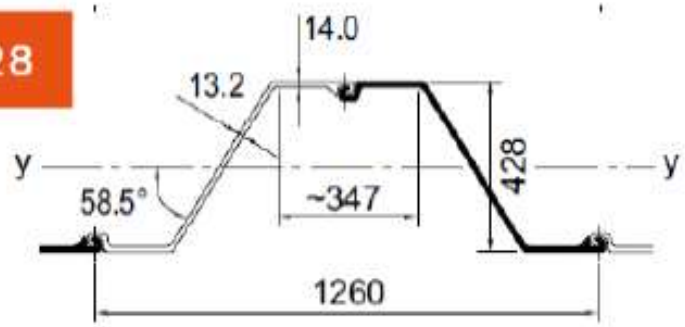
Sezione Z

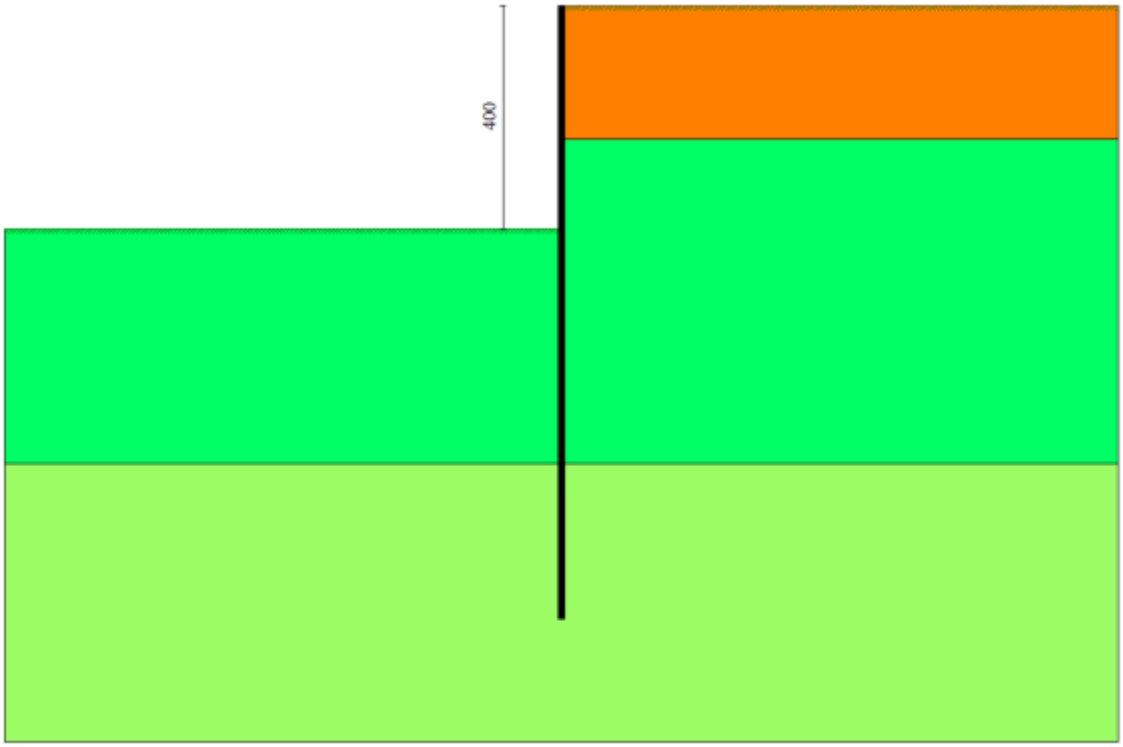


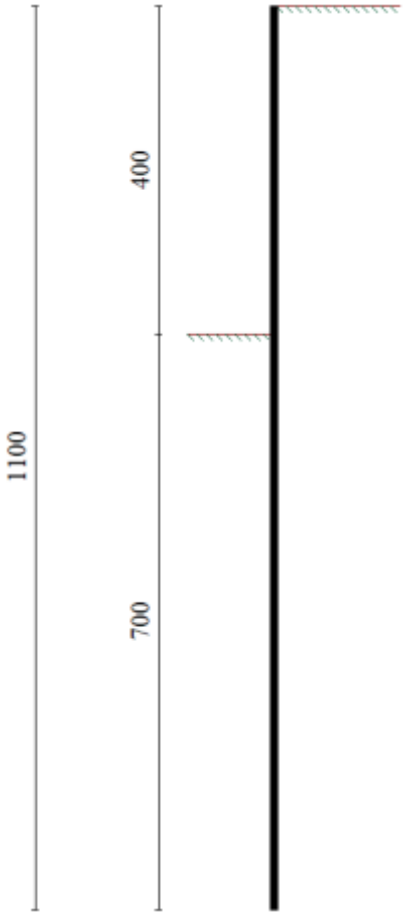
La serie AZ, che combina una sezione dalle straordinarie caratteristiche con la provata qualità del giunto Larssen, è caratterizzata dalla continuità dell'anima e dalla specifica posizione dei giunti disposti simmetricamente su entrambi i lati dell'asse neutro. Questi fattori incidono positivamente sul modulo di resistenza. I principali vantaggi di questa sezione sono:
- Rapporto estremamente competitivo tra modulo di resistenza e massa
- Inerzie elevate e, quindi, deformazioni ridotte
- Larghezza ampia e, quindi, migliore performance durante l'infissione
- Buona resistenza alla corrosione ottenuta maggiorando gli spessori nei punti critici.

Sezione	Larghezza	Altezza	Spessore		Area della sezione	Massa		Momento d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Momento Statico	Modulo di resistenza plastico	Classe[1]						
	b mm	h mm	t mm	s mm	cm²/m	Palancola Singola kg/m	Parete kg/m²	cm⁴/m	cm³/m	cm³/m	cm³/m	S 240 GP	S 270 GP	S 320 GP	S 355 GP	S 390 GP	S 430 GP	S 460 AP
AZ 12	670	302	8,5	8,5	126	66,1	**99**	18140	**1200**	705	1409	2	3	3	3	3	3	3
AZ 13	670	303	9,5	9,5	137	72,0	**107**	19700	**1300**	765	1528	2	2	2	3	3	3	3
AZ 14	670	304	10,5	10,5	149	78,3	**117**	21300	**1400**	825	1651	2	2	2	2	2	3	3
AZ 17	630	379	8,5	8,5	138	68,4	**109**	31580	**1665**	970	1944	2	2	3	3	3	3	3
AZ 18	630	380	9,5	9,5	150	74,4	**118**	34200	**1800**	1050	2104	2	2	2	3	3	3	3
AZ 19	630	381	10,5	10,5	164	81,0	**129**	36980	**1940**	1140	2275	2	2	2	2	2	3	3
AZ 25	630	426	12,0	11,2	185	91,5	**145**	52250	**2455**	1435	2873	2	2	2	2	2	2	2
AZ 26	630	427	13,0	12,2	198	97,8	**155**	55510	**2600**	1530	3059	2	2	2	2	2	2	2
AZ 28	630	428	14,0	13,2	211	104,4	**166**	58940	**2755**	1625	3252	2	2	2	2	2	2	2

AZ 28




400


400
1100
700

15 CONCLUSIONI

L'analisi dei complessi strutturali oggetto della seguente relazione e di tutti gli elaborati allegati ha evidenziato un buon comportamento sia sotto l'azione dei soli carichi verticali che sotto l'azione sismica.

In applicazione il menzionato progetto è stato redatto nel rispetto del D.M.17/01/2018.

Tutte le verifiche eseguite risultano soddisfatte secondo i livelli di sicurezza previsti dalla normativa vigente ed attestano la conformità delle strutture verificate a quanto disposto dalla stessa legislazione.

Al fine di valutare l'affidabilità dei risultati ottenuti dall'analisi automatica è stata condotta una valutazione complessiva consistente nel confronto con i risultati di semplici calcoli eseguiti con metodi tradizionali e adottati in fase di prima verifica della struttura.

Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, è stata valutata la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

IL PROGETTISTA STRUTTURALE