

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO**  
SITO NEI COMUNI DI SAN PANCRAZIO SALENTINO E TORRE SANTA SUSANNA  
IN PROVINCIA DI BRINDISI

**Valutazione di Impatto Ambientale**

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

**Commissione Tecnica PNRR-PNIEC**

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

**Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020**

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

**Progettisti:**

Progetto agricolo: **NETAFIM Italia S.r.l.**

**Dott. Alberto Vezio Puggioni**

**Dott. Roberto Foglietta**

Progetto azienda agricola: **Eclettico Design**

**Ing. Roberto Cereda**

Progetto impianto fotovoltaico: **Silver Ridge Power Italia S.r.l.**

**Ing. Stefano Felice**

**Arch. Salvatore Pozzuto**

Progetto strutture impianto fotovoltaico: **Ing. Nicola A. di Renzo**

Progetto opere di connessione: **Ing. Fabio Calcarella**

**Contributi specialistici:**

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Rugge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella **VIA\_2/**

Sottocartella **P\_AGRIVOLTAICO/**

Identificatore:  
**PAGRVLREL16**

**Calcoli preliminari strutture  
SU - Relazione art. 26**

Descrizione **Calcoli preliminari strutture SU - Relazione art. 26**

Nome del file:  
**PAGRVLREL16.pdf**

Tipologia  
**Relazione**

Scala  
**-**

**Autori elaborato:** Ing. Fabio Calcarella

<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>
00	01/02/22	Prima emissione
01		
02		

**Spazio riservato agli Enti:**

## DESCRIZIONE DELL'OPERA ED INSERIMENTO NEL TERRITORIO

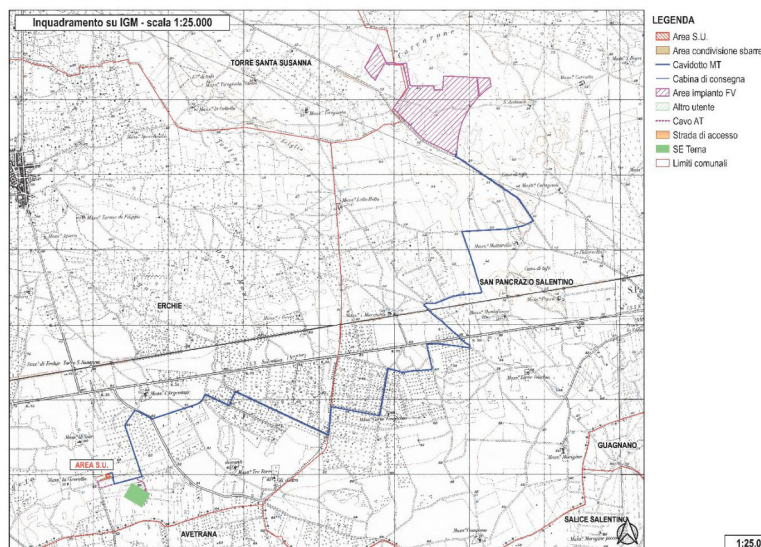
La presente relazione descrive le Opere Civili ed Elettriche relative alla Sottostazione Elettrica Utente (SU) a servizio di un impianto agrivoltaico di proprietà della Società *Marseglia – amaranto Energia e Sviluppo S.r.l.* da ubicarsi nel territorio Comunale di San Pancrazio S.no, Torre Santa Susanna e Erchie, in Provincia di Brindisi. L'Impianto avrà una Potenza in immissione pari a **78,72 MW** e sarà connesso alla Stazione RTN 380/150 kV denominata "Erchie", posta nel territorio Comunale di Erchie (BR). La Stazione Elettrica Utente (SU) sorgerà in un'area più vasta dove troveranno posto anche le Stazioni di altri utenti Attivi, che condivideranno lo stallo di consegna assegnato da Terna all'interno della SE Erchie.

Le singole SU saranno tutte collegate su un sistema di sbarre AT, per la condivisione come detto del punto di connessione alla RTN all'interno della SE Terna "Erchie". La Sottostazione Utente oggetto della presente relazione, occuperà una superficie pari a circa  $2.025 \text{ m}^2$ . L'ubicazione della Stazione Elettrica Utente (SU). La SU, come detto facente parte di un complesso di Stazioni Produttore che condivideranno lo stallo all'interno della SE Terna "Erchie", sarà ubicata a circa 3,2 km a Sud dell'abitato di Erchie (BR). Si pone inoltre quasi al centro geometrico dell'ideale quadrilatero i cui vertici sono costituiti dagli abitati Erchie (BR - 2,5 a nord), Avetrana (TA - 4,4 km a sud), Manduria (TA - 7,8 km ad ovest) e San Pancrazio S.no (BR - 7,2 km a est). Come detto, la SU occuperà complessivamente un'area di  $2.025 \text{ m}^2$ .

Le opere sono progettate nella classe d'uso II.

*Si precisa preliminarmente che i carichi riguardanti il peso delle apparecchiature e delle strutture elettromeccaniche sono determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati: in fase esecutiva le analisi dovranno tenere conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.*

Tutte le opere saranno ubicate nel Comune di **Erchie** in Provincia di Brindisi.



### COORDINATE

Latitudine 40°25'43.57"N

Longitudine 17°43'39.57"E



### **LAYOUT**

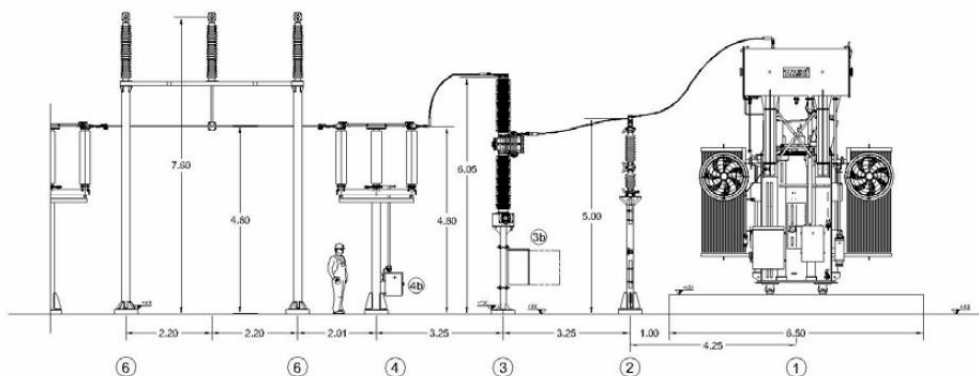
### **FABBRICATO**

Il fabbricato ospita le apparecchiature MT di protezione delle linee provenienti dall'impianto Stand Alone e di quella che collega allo stallo di trasformazione in AT e consegna, oltre alle apparecchiature di tutti i sistemi ausiliari di controllo e misura. Dimensioni ml.17,30 \* ml.4,50 ed altezza media pari a ml.3,50.

### **APPARECCHIATURE Elettromeccaniche**

Le apparecchiature elettromeccaniche previste nella sezione AT 150 kV sono descritte di seguito.

1. Trasformatore MT/AT
2. Scaricatore di sovratensione
3. Interruttore tripolare AT con n. 3 trasformatori di corrente TA
4. Sezionatore tripolare orizzontale
5. Trasformatore di tensione capacitivo TV-C di sbarra
6. Portale sostegno sbarre



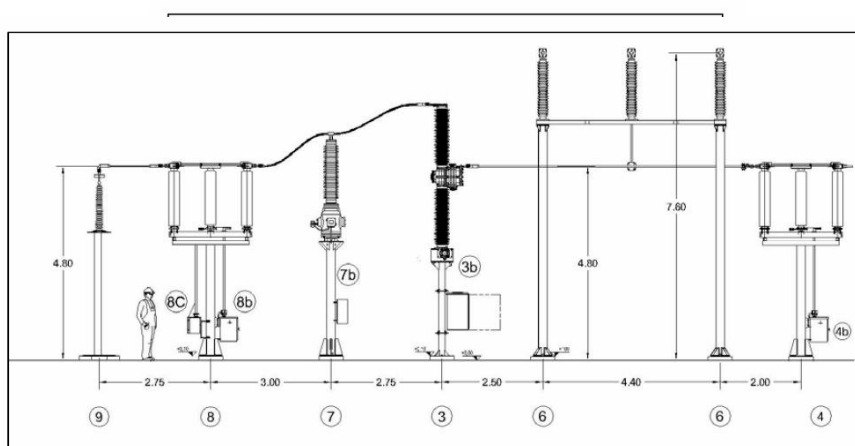
**Prospetto stallo di trasformazione a 150 kV**

L'energia viene raccolta sulla sbarra di condivisione e da essa convogliata con cavo interrato AT.

La linea sarà protetta dallo stallo lato stazioni utente.

Le apparecchiature elettromeccaniche di sbarra condivisa AT 150 kV sono descritte di seguito.

3. Interruttore tripolare AT con n. 3 trasformatori di corrente TA
7. Trasformatore di tensione capacitivo TV-C
8. Sezionatore unipolare orizzontale con lame di terra
9. Terminali cavo AT.



**Prospetto stallo condiviso**

## PRESTAZIONI DI PROGETTO, CLASSE DELLA STRUTTURA, VITA UTILE,

L'edificio sarà suddiviso in 5 locali (BT, MT, Deposito, Trasformatore Servizi Ausiliari e Gruppo Elettrogeno). Sarà realizzato con struttura portante in calcestruzzo armato:

- Fondazioni con platea dello spessore di cm.30 C.25/30;
- Pilastri e travi in c.a. C.25/30;
- Copertura con solaio latero – cementizio H.20+4

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente. A tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze delle azioni; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone. Risulta così definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura ed è stato accertato, in fase di dimensionamento, che essi non siano superati. Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione ma anche di costruzione, manutenzione e gestione. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi. In fase di costruzione saranno attuate severe procedure di controllo sulla qualità. Le ipotesi di base sono riportate al capitolo **verifiche**, § **PARAMETRI GENERALI**.

### 1) AZIONI APPLICATE ALLA STRUTTURA

#### ➤ CARICHI DA VENTO

**Normativa:** D.M. 17/01/2018 (NTC 2018, Circolare 17/01/2019, n.7)

La pressione del vento è calcolata secondo l'espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

**Provincia:** Brindisi

**Zona:** 3

**Altitudine:** 68 m s.l.m

**Tempo di ritorno**  $T_r$ : 50 anni;

**Velocità di riferimento**  $v_r(T_r)$ : 27.02 m/s

**Pressione cinetica di riferimento**  $q_r$ : 46.56 Kg/m<sup>2</sup>

**Altezza della costruzione**  $z$ : 3.5 m ( $z_{min}$ : 5m)

**Distanza dalla costa:** Terra, oltre i 40 km dalla costa, sotto i 500 m

**Classe di rugosità del terreno:** C

**Categoria di esposizione del sito:** III

**Coefficiente topografico**  $c_t$ : 1

**Coefficiente dinamico**  $c_d$ : 1

**Coefficiente di esposizione**  $c_e(z)$ :

$$c_e(z = 3.5m) = c_e(z_{min} = 5 m) = 1.71$$

**Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curvilinee**

**Dimensioni in pianta:** 4.5 \* 17.6 m

**Altezza:** 3.5 m

**Pareti verticali**

Faccia sopravento:  $c_p = 0.72$

Faccia laterale:  $c_p = -0.659$

Faccia sottovento:  $c_p = -0.34$

**Copertura piana**

Fascia sopravento di profondità pari a 2.25:  $c_{pe,A} = -0.8$

Restanti zone:  $c_{pe,B} = +0.2, -0.2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = -0.8$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = -63.6 \text{ Kg/m}^2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = -0.66$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = -52.47 \text{ Kg/m}^2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = -0.34$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = -27.03 \text{ Kg/m}^2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = -0.2$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = -15.9 \text{ Kg/m}^2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = 0.2$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = 15.9 \text{ Kg/m}^2$

**Pressione del vento con coefficiente di forma  $c_p = 0.72$**

$p(z = 3.5 \text{ m}) = p(z_{\min} = 5 \text{ m}) = 57.24 \text{ Kg/m}^2$

➤ **CARICHI DA NEVE**

**Normativa :** D.M. 17/01/2018 (NTC 2018, Circolare 17/01/2019, n.7)

Il carico provocato dalla presenza della neve agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Esso è valutato con la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

**Provincia :** Brindisi

**Zona :** III

**Altitudine :** 68 m s.l.m.

**Valore caratteristico neve al suolo :**  $q_{sk} = 61.22 \text{ kg/m}^2$

**Carico della neve al suolo riferito ad un tempo di ritorno di 50 anni:**  $q_{sn} = 61.22 \text{ kg/m}^2$

**Coefficiente di esposizione  $C_E$  :** 1 (Normale)

**Coefficiente termico  $C_t$  :** 1

**di copertura:** piana estesa ( $\alpha = 0^\circ$ )

Dimensione minima in pianta della copertura: 4.5 m.

Dimensione massima in pianta della copertura: 17.6 m.

Dimensione in pianta equivalente  $L_c$ : 7.85 m.



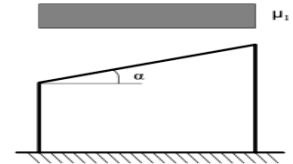
Coefficiente  $C_{e,F} = 1$

Si deve considerare la condizione di carico riportata nella figura a lato.

**Carico da neve :**

$$q_s(\mu_1(C_{e,F})) = 48.98 \text{ kg/m}^2 [\mu_1 = 0.8]$$

$$q_s(\mu_1=0.8) = 48.98 \text{ kg/m}^2$$



## 2) TIPOLOGIA AZIONI

### ➤ AZIONI SULLE PARETI

Si prevede che il terreno realizzi una spinta sulle pareti.

### ➤ AZIONI ECCEZIONALI

Non si tengono in conto esplicito azioni eccezionali quali urti, incendi ed esplosioni.

### ➤ RESISTENZA AL FUOCO

Data la destinazione d'uso della costruzione non vi è necessità di ricorrere a protezioni specifiche e particolari.

### ➤ AZIONI STATICHE

le verifiche vengono effettuate allo **Stato Limite Ultimo (SLU)** in termini di *resistenza* e *duttilità* (§4.1.2.3.1/NTC 2018) mediante la combinazione **combinazione fondamentale** (tabella 2.5.3/NTC 2018) ed allo **Stato Limite di Esercizio (SLE)** in termini di *fessurazione* e *tensioni di esercizio*, (§4.1.2.2.1/NTC 2018) mediante la combinazione **caratteristica** (rara), la combinazione **frequente** e la combinazione **quasi permanente** (§4.1.2.2.5 NTC/2018).

#### 2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo strutturale, compresi gli elementi di fondazione, (STR) verranno utilizzati i coefficienti  $\gamma_F$  (sfavorevoli) **A1** deducibili dalla tabella 2.6.I (NTC/2018),

**Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

ed i coefficienti di combinazione “ $\psi$ ” deducibili dalla tabella 2.5.I (NTC/2018).

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ 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

**Fondazioni superficiali:** le verifiche nei confronti dello Stato Limite Ultimo strutturale (STR) e dello Stato Limite Ultimo geotecnico (GEO) verranno eseguite mediante l'APPROCCIO 2 (A1+M1+R3). I coefficienti  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  sono quelli descritti, rispettivamente, nella tabella 6.2.II e nella tabella 6.4.I (NTC/2018):

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_t$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

#### ➤ AZIONI SISMICHE

Per il sito in esame si ha:

STATO LIMITE	TR	ag/g	F <sub>0</sub>	T*c
(SLE) SLO	30	0,056	2,47	0,24
(SLE) SLD	50	0,074	2,47	0,26
(SLU) SLV	475	0,206	2,45	0,33
(SLU) SLC	975	0,274	2,49	0,35

ed inoltre,

- 1) non viene considerata l'azione verticale poiché non vi sono elementi previsti dal Cap.7 (§7.2.2\_NTC/2018)
- 2) viene applicata una eccentricità accidentale pari al 5% (§ 7.2.6\_NTC/2018)
- 3) le componenti dell'azione sismica vengono combinate tra di loro mediante l'espressione (§7.3.5\_NTC/2018):

$$1,00 E_x + 0,30 E_y + 0,30 E_z$$

permutando circolarmente i coefficienti moltiplicativi

4) si utilizza l'**analisi lineare dinamica** con comportamento strutturale **non dissipativo** ( $\leq 1,5$ ) e quindi conducendo le verifiche (§7.3.6\_NTC/2018):

- **in termini di rigidità (RIG)** accertando che la deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile. Nel caso di Classe d'uso **II** lo spostamento deve essere calcolato per lo **SLD** accertando che (costruzioni di muratura ordinaria):

$$q_{dr} \leq 0,0050 * h \text{ (per tamponature fragili)}$$

$$q_{dr} \leq 0,0075 * h \text{ (per tamponature duttili)}$$

$$q_{dr} \leq 0,0020 * h \text{ (per costruzioni in muratura)}$$

con:

$d_r$  = spostamento di interpiano

$h$  = altezza del piano

- **in termini di resistenza (RES)** verificando che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una capacità di resistenza sufficiente a soddisfare la domanda allo **SLV**.

5) il fattore di comportamento "q" viene assunto pari ad **1,5** considerando che la Tab.7.3.I (NTC/2018) pone ad esso i seguenti limiti:

$$SLV \leq 1,5$$

$$SLD \leq 1,5$$

### **3) RELAZIONE SUI MATERIALI E VERIFICHE**

#### **➤ CALCESTRUZZO**

Riferimenti: D.M. 17.01.2018, par. 11.2;

Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale (UNI EN 206-1/2006);

<b>Tipologia strutturale:</b>	<b>Elevazione</b>
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	25/30 Kg/cm <sup>2</sup>
Condizioni ambientali:	<i>Strutture interne di edifici non industriali con umidità bassa.</i>
Classe di esposizione:	<i>XC1</i>
Rapporto acqua/cemento max:	<i>0.60</i>
Classe di consistenza:	<i>S3 (Plastica)</i>
Diametro massimo aggregati:	<i>16 mm</i>
<b>Tipologia strutturale:</b>	<b>Fondazioni</b>
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	25/30 Kg/cm <sup>2</sup>
Condizioni ambientali:	<i>Strutture completamente interrato in terreno permeabile.</i>
Classe di esposizione:	<i>XC2</i>
Rapporto acqua/cemento max:	<i>0.60</i>
Classe di consistenza:	<i>S3 (Plastica)</i>
Diametro massimo aggregati:	<i>16 mm</i>

#### **Dosatura dei materiali**

La dosatura dei materiali per ottenere Rck 25/30 è orientativamente la seguente (per m<sup>3</sup> d'impasto).

sabbia	0.4 m <sup>3</sup>
ghiaia	0.8 m <sup>3</sup>
acqua	150 litri
cemento tipo 325	350 kg/m <sup>3</sup>

#### **Qualità dei componenti**

La sabbia deve essere viva, con grani assortiti in grossezza da 0 a 3 mm, non proveniente da rocce in decomposizione,



scricchiolante alla mano, pulita, priva di materie organiche, melmose, terrose e di salsedine.

La ghiaia deve contenere elementi assortiti, di dimensioni fino a 16 mm, resistenti e non gelivi, non friabili, scevri di sostanze estranee, terra e salsedine. Le ghiaie sporche vanno accuratamente lavate. Anche il pietrisco proveniente da rocce compatte, non gessose né gelive, dovrà essere privo di impurità od elementi in decomposizione. In definitiva gli inerti dovranno essere lavati ed esenti da corpi terrosi ed organici. Non sarà consentito assolutamente il misto di fiume. L'acqua da utilizzare per gli impasti dovrà essere potabile, priva di sali (cloruri e solfuri). Potranno essere impiegati additivi fluidificanti o superfluidificanti per contenere il rapporto acqua/cemento mantenendo la lavorabilità necessaria.

#### **Prescrizione per inerti**

Sabbia viva 0-7 mm, pulita, priva di materie organiche e terrose; sabbia fino a 30 mm (70 mm per fondazioni), non geliva, lavata; pietrisco di roccia compatta. Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:

- passante al vaglio di mm 16 = 100%
- passante al vaglio di mm 8 = 88-60%
- passante al vaglio di mm 4 = 78-36%
- passante al vaglio di mm 2 = 62-21%
- passante al vaglio di mm 1 = 49-12%
- passante al vaglio di mm 0.25 = 18-3%

#### **Prescrizione per il disarmo**

Indicativamente: pilastri 3-4 giorni; solette modeste 10-12 giorni; travi, archi 24-25 giorni, mensole 28 giorni.

Per ogni porzione di struttura, il disarmo non può essere eseguito se non previa autorizzazione della Direzione Lavori.

#### **Provini da prelevarsi in cantiere**

n° 2 cubi di lato 15 cm;

un prelievo ogni 100 mc

$$\sigma_{28} \geq 3 * \sigma_{c \text{ adm}};$$

$$R_{ck \ 28} = R_m - 35 \text{ kg/cm}^2;$$

$$R_{min} > R_{ck} - 35 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Parametri caratteristici e tensioni limite**

Tabella riassuntiva per vari Rck

Rck	fck	fcd	fctm	u.m.
300	249.0	141.1	25.6	[kg/cm <sup>2</sup> ]

Legenda:

Legenda:

$$f_{ck} \text{ (resistenza cilindrica a compressione)} = 0.83 * R_{ck};$$

$$f_{cd} \text{ (resistenza di calcolo a compressione)} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ctd} \text{ (resistenza di calcolo a trazione)} = f_{ctk} / \gamma_c;$$

$$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm};$$

$$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60$$

Valori indicativi di alcune caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi impiegati:

Ritiro (valori stimati): 0.25 mm/m (dopo 5 anni, strutture non armate);  
0.10mm/m (strutture armate).

Rigonfiamento in acqua (valori stimati): 0.20 mm/m (dopo 5 anni in strutture armate).

Dilatazione termica:  $10 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Viscosità  $\phi = 1.70$ .

Prospetto classi di esposizione e composizione uni en 206-1

Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
--------	---------------------------	--	----------	---------	-----------	--------------------

XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa o immerse in acqua	2a	0,60	30	300
XC2	Bagnato, raramente asciutto	arti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo	2a	0,60	30	300

\*) il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: *moderato* occasionalmente gelato in condizioni di saturazione; elevato alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.  
 \*\*) da parte di acque del terreno o acqua fluenti

➤ **COPRIFERRO**

- per opere in elevato (XC1, S3) = mm.25
- per opere in fondazione (XC2,S3) = mm.30

➤ **ACCIAIO PER C.A.**

(Rif. D.M. 17.01.2018, par. 11.3.2)

<b>Acciaio per C.A. B450C</b>	
fyk tensione nominale di snervamento:	≥ 4580 kg/cm <sup>2</sup> (≥ 450 N/mm <sup>2</sup> )
ftk tensione nominale di rottura:	≥ 5500 kg/cm <sup>2</sup> (≥ 540 N/mm <sup>2</sup> )
ftd tensione di progetto a rottura:	fyk / γS = fyk / 1.15 = 3980 kg/cm <sup>2</sup> (= 391 N/mm <sup>2</sup> )

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} < 1.35 \quad f_t / f_y \geq 1.15$$

Diametro delle barre:  $6 \leq \phi \leq 40$  mm.

E' ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli per diametri  $\leq 16$  mm.

Reti e tralicci con elementi base di diametro  $6 \leq \phi \leq 16$  mm.

Rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci:  $\phi_{min}/\phi_{max} \geq 0.6$

**4) VERIFICHE STRUTTURE IN C.A.**

Una volta operata la verifica della struttura mediante il processore SAP, la procedura consente di assegnare a ciascun elemento (trave, pilastro, trave di fondazione) il materiale caratterizzato da specifiche proprietà secondo la tabella in appresso riportata a titolo di esempio:

Tabella tipo

Tabella di MasterArm - banca locale

Normativa: NTC-2008    Versione: 14 Gennaio 2008

Tipo elemento: Travi    Unità di misura tensioni: kg/cm²=daN/cm²

Travi s.l.

Tabella: Tabella travi (attiva)    Modifica...

Classe dei materiali: Rck= 300 fyk= 4580     Elemento sismico secondario

Tipo trave: In elevazione

Dim. sforzo Norm.: Si    Dim. torsione: No

Comb. perm+var.: Si    Aliq.mom.pos.min.: 0

Scansioni: 15

Criterio spuntam.: Solo su appoggio

Entità spuntam.: In larghezza

Spuntamento I: 15 [cm]    Spuntamento J: 15 [cm]

N. braccia staffe: 2    x / d <= 0.3

Ø reggistaffe: 14 [mm]    Ø armature: 14 [mm]    Ø staffe: 8 [mm]

Coprifero inf: 2 [cm]    Coprifero sup: 2 [cm]    Coprifero laterale: 2 [cm]

Cond. ambientali: Ordinaria

OK    Annulla    Applica    Nuova...    Attiva    Banca...

Gli elementi riportati nella tabella in figura sono riportati in testa alla verifica di ciascuna trave nel capitolo **verifiche** al paragrafo **§VERIFICHE STRUTTURALI** suddivise per analisi sismica (SLV)/statica statica (SLU) ed analisi statica (SLE) in riferimento a: travi in elevato, pilastri, architravi, travi di fondazione.

➤ **FATTORI  $\gamma$**

- **analisi statica/sismica**

I coefficienti di sicurezza sono quelli stabiliti ai punti 4.1.2.1.1/4.1.2.1.2 ( $\gamma_c = 1,5$ ) per il calcestruzzo al punto 4.1.2.1.1.3 per l'acciaio ( $\gamma_s = 1,15$ )

**CRITERI DI CONCEZIONE E SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE, MODELLAZIONE DEL TERRENO, PROPRIETA' DEI MATERIALI, EFFICACIA DEL MODELLO**

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è state adeguatamente valutato, interpretato e trasferito nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante

tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi “beam”, il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all’estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi “truss” oppure con elementi “beam” opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi “shell” a comportamento flessionale e membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d’appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse. Nel caso dei pali il comportamento del terreno implica anche l’introduzione di vincoli per la traslazione orizzontale. I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliante dei materiali per considerare l’effetto di fenomeni fessurativi nei materiali. Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione.

La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l’impostazione di un’apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui. Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura. Sono stati inoltre valutate tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

#### **CRITERI PER LA MISURA DELLA SICUREZZA**

##### ➤ METODO DI CALCOLO AGLI STATI LIMITE

Sono stati adottati i criteri contemplati dal metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare sono stati soddisfatti i requisiti per la sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l’azione sismica), allo stato limite di esercizio. Per quanto riguarda le azioni sismiche sono state anche esaminate le deformazioni relative, che controllano eventuali danni alle opere secondarie e agli impianti.

#### **SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO**

Le azioni sono state schematizzate applicando i carichi previsti dalla norma. In particolare i carichi gravitazionali, derivanti dalle azioni permanenti o variabili, sono applicati in direzione verticale (ovvero – Z nel sistema globale di riferimento del modello). Le azioni sismiche, statiche o dinamiche, derivano dall’eccitazione delle masse assegnate alla struttura in proporzione ai carichi a cui sono associate per norma. I carichi sono suddivisi in più condizioni elementari di carico in modo da poter generare le combinazioni necessarie.

##### Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico s.l.u. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l’eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura. Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Vengono in particolare controllate le deformazioni allo stato limite ultimo, e gli effetti del second’ordine. In sede di dimensionamento vengono analizzate tutte le combinazioni, anche sismiche, impostate ai fini della verifica s.l.u. Vengono anche processate le specifiche combinazioni di carico introdotte per valutare lo stato limite di esercizio (tensioni, fessurazione, deformabilità). Oltre all’impostazione spaziale delle situazioni di carico potenzialmente più critiche, in sede di dimensionamento vengono ulteriormente valutate, per le varie travate, tutte le condizioni di lavoro statico derivanti dall’alternanza dei carichi variabili, i cui effetti si sovrappongono a quelli dei pesi propri e dei carichi

permanenti. Vengono anche imposte delle sollecitazioni flettenti di sicurezza in campata e risultano controllate le deformazioni in luce degli elementi.

#### **METODOLOGIE DI CALCOLO; TIPI DI ANALISI E STRUMENTI UTILIZZATI**

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). E' stato utilizzata un'analisi lineare statica / sismica statica equivalente nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite ultimo /esercizio secondo quanto previsto dal DM 17.01.2018, Norme Tecniche per le Costruzioni.

##### elaboratore utilizzato

Computer	Hewlett – Packard HP – Workstation XW4100 Intel ® Pentium ® 4 CPU 3.00 GHz 2.99 GHz, 1.00 Gb di RAM
Sistema	Microsot Windows XP Professional Versione 2002 Service Pack 2

#### **PRESENTAZIONE DEL MODELLO STRUTTURALE E SUE PROPRIETA'**

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. In particolare:

- ✓ Modelli strutturali
- ✓ Eventuali sconnessioni
- ✓ Sezioni impiegate
- ✓ Disposizione e intensità dei carichi
- ✓ Distorsioni impresse
- ✓ Carichi termici
- ✓ Materiali
- ✓ Combinazioni di carico
- I nodi

La struttura è individuata da nodi riportati in coordinate. Ogni nodo possiede sei gradi di libertà, associati alle sei possibili deformazioni. I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondente uguale a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà). Le relazioni complesse creano un legame tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto slave con quelli di un altro nodo detto master. Esistono tre tipi di relazioni complesse. Le relazioni di tipo link prescrivono l'uguaglianza tra gradi di libertà analoghi di nodi diversi. Specificare una relazione di tipo link significa specificare il nodo slave assieme ai gradi di libertà che partecipano al vincolo ed il nodo master. I gradi di libertà slave saranno eguagliati ai rispettivi gradi di libertà del nodo master. La relazione di piano rigido prescrive che il nodo slave appartiene ad un piano rigido e quindi che i due spostamenti in piano e la rotazione normale al piano sono legati ai tre parametri di roto-traslazione rigida di un piano. Il Corpo rigido prescrive che il nodo slave fa parte di un corpo rigido e tutti e sei i suoi gradi di libertà sono legati ai sei gradi di libertà posseduti dal corpo rigido (i gradi di libertà del suo nodo master).

##### ➤ I materiali

I materiali sono individuati da un codice specifico e descritti dal modulo di elasticità, dal coefficiente di Poisson, dal peso specifico, dal coefficiente di dilatazione termica.

##### ➤ Le sezioni

Le sezioni sono individuate in ogni caso da un codice numerico specifico, dal tipo e dai relativi parametri identificativi. La simbologia adottata dal programma è la seguente:

- Rettangolare piena (Rp);

- Rettangolare cava (Rc);
- Circolare piena (Cp);
- Circolare cava (Cc);
- T (T.);
- T rovescia (Tr);
- L (L.);
- C (C.);
- C rovescia (Cr);
- Cassone (Ca);
- Profilo singolo (Ps);
- Profilo doppio (Pd);
- Generica (Ge).

➤ I carichi

I carichi agenti sulla struttura possono essere suddivisi in carichi nodali e carichi elementari. I carichi nodali sono forze e coppie concentrate applicate ai nodi della discretizzazione. I carichi elementari sono forze, coppie e sollecitazioni termiche. I carichi in luce sono individuati da un codice numerico, da una azione, una categoria, una condizione e da una descrizione. Sono previsti carichi distribuiti trapezoidali riferiti agli assi globali (fX, fY, fZ, fV) e locali (fx, fy, fz), forze concentrate riferite agli assi globali (FX, FY, FZ, FV) o locali (Fx, Fy, Fz), momenti concentrati riferiti agli assi locali (Mx, My, Mz), momento torcente distribuito riferito all'asse locale x (mx), carichi termici (tx, ty, tz), descritti con i relativi parametri identificativi, aliquote inerziali comprese, rispetto al riferimento locale. I carichi in luce possono essere attribuiti solo a elementi finiti del tipo trave o trave di fondazione.

➤ gli elementi finiti

La struttura può essere suddivisa in sottostrutture, chiamate gruppi.

a) **ELEMENTO FRAME (TRAVERE E PILASTRO, TRAVERE DI FONDAZIONE)**

L'elemento frame implementa il modello della trave nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 2 nodi principali I e J posti alle sue estremità ed un nodo geometrico facoltativo K che serve solamente a fissare univocamente la posizione degli assi locali.

L'elemento frame possiede 12 gradi di libertà.

Ogni elemento viene riferito a una terna locale destra x, y, z. L'elemento frame supporta varie opzioni tra cui:

- deformabilità da taglio (travi tozze);
- sconnessioni totali o parziali alle estremità;
- connessioni elastiche alle estremità;
- offsets, ovvero tratti rigidi eventualmente fuori asse alle estremità;
- suolo elastico alla Winkler nelle tre direzioni locali e a torsione.

L'elemento frame supporta i seguenti carichi:

- carichi distribuiti trapezoidali in tutte le direzioni locali o globali;
- sollecitazioni termiche uniformi e gradienti termici nelle due direzioni principali;
- forza concentrata in tutte le direzioni locali o globali applicata in un punto arbitrario;
- carichi generici mediante prescrizione delle reazioni di incastro perfetto.

I gruppi formati da elementi del tipo trave riportano, in ordine, i numeri dei nodi iniziale (I), finale (J) e di riferimento (K), la situazione degli svincoli ai nodi I e J (indicate in legenda eventuali situazioni diverse dall'incastro perfetto ad entrambi i nodi), i codici dei materiali e delle sezioni, eventuali offset strutturali o conci rigidi applicati. Un'ulteriore tabella riporta anche eventuali valori di offset architettonici. Per ogni asta vengono riportati i carichi applicati: ogni carico è identificato dal suo codice e da un moltiplicatore. I gruppi relativi all'elemento trave di fondazione riportano informazioni analoghe. È indicata la caratteristica del suolo, la larghezza di contatto con il terreno e il numero di suddivisioni interne. Per la trave di fondazione il programma abilita automaticamente solo i gradi di libertà relativi alla rotazione intorno agli assi globali X, Y e alla traslazione secondo Z, bloccando gli altri gradi di libertà. Ogni trave di fondazione è suddivisa in un numero adeguato di parti (aste). Ogni singola asta interagisce con il terreno mediante un elemento finito del tipo vincolo elastico

alla traslazione verticale  $tZ$  convergente ai suoi nodi (vedi figura), il cui valore di rigidità viene determinato dal programma moltiplicando la costante di sottofondo assegnata dall'utente per l'area di contatto con il terreno in corrispondenza del nodo. I tipi di carichi ammessi sono solo di tipo distribuito  $fZ$ ,  $fV$ ,  $fY$ . Inoltre accade che:  $V_i=V_f$ ;  $d_i=df=0$ , ovvero il carico è di tipo rettangolare esteso per tutta la lunghezza della trave.

#### b) ELEMENTO SHELL (GUSCIO)

L'elemento shell implementa il modello del guscio piatto ortotropo nello spazio tridimensionale. È caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K ed L posti nei vertici e 6 gradi di libertà per ogni nodo. Il comportamento flessionale e quello membranale sono disaccoppiati.

Gli elementi guscio/piastra si caratterizzano perché possono subire carichi nel piano ma anche ortogonali al piano ed essere quindi soggetti anche ad azioni flettenti e torcenti.

Gli elementi in esame hanno formalmente tutti i sei gradi di libertà attivi, ma non posseggono rigidità per la rotazione ortogonale al piano dell'elemento.

Nei gruppi shell definiti "platea" viene attuato il blocco di tre gradi di libertà,  $uX$ ,  $uY$ ,  $rZ$ , per tutti i nodi del gruppo.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito da questi parametri:

- elemento numero (massimo 1999 per ogni gruppo);
- nodi di riferimento I, J, K, L;
- spessore;
- materiale;
- temperatura;
- gradiente termico;

Per ogni guscio vengono riportati i carichi applicati: ogni carico è identificato dal suo codice e da un moltiplicatore.

### PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. In particolare:

- Deformazioni (statiche e dinamiche)
- Deformazioni relative
- Frecce
- Sollecitazioni
- Pressioni sul suolo
- Effetti II ordine
- Masse eccitare
- Modi propri di vibrazione

### I METODI DI CALCOLO

#### ➤ ANALISI DINAMICA MODALE

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta.

Il sistema da analizzare è essere visto come un oscillatore a  $n$  gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osserva che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale  $Z$  è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni

assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti. Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. È prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.

L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (inviluppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in tre modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

### ➤ DEFORMATE

Per ogni combinazione di carico e per tutti i nodi non completamente bloccati il programma calcola spostamenti (unità di misura L) e rotazioni (radianti). Viene anche rappresentata la deformata in luce dell'asta che riproduce il comportamento di una funzione polinomiale di quarto grado. Gli spostamenti sono positivi se diretti nel verso degli assi globali X Y Z, le rotazioni positive se antiorarie rispetto all'asse di riferimento, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo (vedi figura a lato).

Viene anche determinato il valore massimo assoluto (con segno) di ogni singola deformazione e il valore massimo dello spostamento nello spazio (radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti).

### ➤ ASPETTI PARTICOLARI DELL'ANALISI DINAMICA

Nella stampa degli autovettori vengono riportati i relativi risultati, pertinenti ad ogni nodo.

Nel calcolo della risposta spettrale vengono determinate, per ogni verso del sisma, le deformazioni relative ai vari modi di vibrare e la corrispondente media quadratica. Tali risultati vengono successivamente combinati e danno luogo ad uno o più inviluppi in relazione a quanto imposto dall'utente nella fase iniziale di intestazione del lavoro.

Nel caso dell'applicazione dell'Ordinanza 3431 (ex 3272) vengono anche determinate le deformazioni allo stato limite ultimo, che risultano amplificate per effetto dei fattori di struttura  $q$  rassegnati alle due direzioni orizzontali e a quella verticale.

### ➤ TRAVI, PILASTRI E TRAVI DI FONDAZIONE

Il programma calcola ai due nodi estremi di ogni elemento e per ogni combinazione di carico sei sollecitazioni, riferite agli assi locali (come indicato nella figura a lato):

- $F_x$  = forza assiale nella direzione locale x;
- $F_y$  = taglio nella direzione locale y;
- $F_z$  = taglio nella direzione locale z;
- $M_x$  = momento torcente attorno all'asse locale x;
- $M_y$  = momento flettente attorno all'asse locale y;
- $M_z$  = momento flettente attorno all'asse locale z;
- con le seguenti convenzioni sui segni:
  - forze positive se concordi con gli assi locali (F);
  - momenti positivi se antiorari rispetto gli assi locali, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo ( $F \cdot L$ ).

Tali convenzioni sono caratteristiche dei codici di calcolo numerico e sono mantenute soltanto nelle stampe globali. Nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe delle verifiche di sicurezza vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

In caso di analisi sismica con il metodo statico equivalente viene riportato un prospetto riguardante il peso sismico del gruppo, le coordinate baricentriche relative, il coefficiente di distribuzione globale del gruppo funzione della sua quota, il coefficiente globale ricavato dal precedente in base ai parametri sismici, la forza sismica relativa.

Nell'analisi dinamica vengono calcolate le medesime sollecitazioni per ognuna delle tre azioni sismiche previste (Z eventuale). Viene evidenziato il modo di vibrazione che dà luogo all'effetto massimo, il valore di tale effetto (con segno), la risultante dovuta alla combinazione di tutti i modi di vibrazione mediante il criterio prescelto dall'utente.



Per le travi di fondazione il programma calcola ai due nodi estremi della trave e in tutti i punti intermedi generati per effetto della suddivisione della trave di fondazione, per ogni combinazione di carico:

- $F_y$  = taglio nella direzione locale  $y$  (F);
- $M_x$  = momento torcente attorno asse locale  $x$  (F\*L);
- $M_z$  = momento flettente attorno asse locale  $z$  (F\*L);
- $U_Z$  = spostamento lungo  $Z$  (L);
- $r_X$  = rotazione intorno  $X$  (rad);
- $r_Y$  = rotazione intorno  $Y$  (rad);
- pressione sul suolo (F/L<sup>2</sup>).

➤ GUSCI

Il programma propone i risultati al “centro” di ogni elemento. Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono evidenziate:

- $S_{xx}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $S_{yy}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $S_{xy}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $M_{xx}$  (F\*L/L);
- $M_{yy}$  (F\*L/L);
- $M_{xy}$  (F\*L/L);
- $\sigma_{idsup}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $\sigma_{idinf}$  (F/L<sup>2</sup>).
- $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$  rappresentano le tensioni membranali (vedi figura)
- $M_{xx}$  rappresenta il momento flettente (per unità di lunghezza) che produce tensioni in direzione locale  $x$ ; analogamente per  $M_{yy}$ ;
- $M_{xy}$  rappresenta il momento torcente (sempre per unità di lunghezza).

Le tensioni ideali  $\sigma_{idsup}$  (al bordo superiore, ovvero sul semiasse positivo dell'asse locale  $z$ ) e  $\sigma_{idinf}$  sono calcolate mediante il criterio di Huber-Hencky-Mises. I momenti flettenti generano ai bordi dell'elemento delle tensioni valutate in base al modulo di resistenza dell'elemento. Le tensioni da momento flettente  $M_{xx}$  si sovrappongono alle tensioni  $S_{xx}$ , con segno positivo al bordo superiore, con segno negativo al bordo inferiore (analogamente per  $M_{yy}$  e  $S_{yy}$ ). Gli effetti tensionali da momento torcente vengono sovrapposti a  $S_{xy}$ . Le convenzioni sui segni dei momenti sono caratteristiche dei codici di calcolo automatici e sono mantenute solo nelle stampe dei risultati conseguenti all'elaborazione strutturale, nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe dei postprocessori vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni. Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni elemento, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo, la risultante per sovrapposizione modale per  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$ ,  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ .

Nel calcolo degli involucri viene effettuata la sovrapposizione. Anche in questo caso vengono calcolate le tensioni ideali.

Nell'analisi statica e negli involucri dinamici, fra i risultati, alla fine di ogni gruppo vengono riportati i massimi delle tensioni (comprese quelle ideali) e dei momenti, nonché il numero dell'elemento e la combinazione di carico relativa.

#### VERIFICHE DI SICUREZZA DEGLI ELEMENTI

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

#### VERIFICHE DI OPERE IN CEMENTO ARMATO (TRAVI, TRAVI DI FONDAZIONE)

Fra le informazioni di testa per le travi è segnalata la travata di appartenenza, la componente del peso proprio e il carico medio. Per i soli pilastri oltre al numero strutturale dell'asta è anche indicato l'eventuale numero di pilastri.

Le sollecitazioni sono riferite al sistema locale  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Vengono riportate, in ordine:

- NC: numero della combinazione di carico;

- x: ascissa di calcolo (cm);
- Per i soli pilastri, per le combinazioni sismiche e nei casi in cui va applicata la gerarchia delle resistenze, vengono inserite due colonne  $\alpha My$  e  $\alpha Mz$  che riportano i valori dei moltiplicatori delle sollecitazioni  $My$  ed  $Mz$ .
- in sequenza  $F_x, F_y, F_z$  (F);  $M_x, M_y, M_z$  ( $F \cdot m$ ).

NB: Per elementi trave di fondazione  $F_x, F_z, M_y$  sono generalmente nulli.

Le convenzioni adottate sui segni delle sollecitazioni sono:

- $F_x$  (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- $F_y$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;
- $F_z$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso negativo dell'asse locale corrispondente;
- $M_x$  (momento torcente) è positivo se antiorario intorno a x a sinistra dell'ascissa in esame;
- $M_y$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre posteriori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse z;
- $M_z$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre inferiori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse y.

Compaiono poi nel tabulato gli ulteriori risultati:

- in sequenza, armatura posteriore, anteriore, inferiore, superiore ( $cm^2$ ); si noti che tali armature sono quelle totali.

**NB:** La sezione di due reggistaffe contribuisce in tutti quattro i valori di armatura; per i pilastri circolari viene determinata e stampata l'armatura totale distribuita uniformemente su tutta la circonferenza;

- campo (di rottura): rappresenta il campo di rottura determinato dalla procedura di verifica; nel caso delle travi, qualora sia stata deselezionata la verifica a sforzo normale, il campo di rottura viene sostituita dal rapporto  $x/d$ ;
- indice di resistenza a presso-tensoflessione ( $F_x, M_y, M_z$ ): rappresenta il moltiplicatore delle sollecitazioni allo s.l.u., ovvero il rapporto fra la sollecitazione agente e quella resistente;
- indice di resistenza a taglio/torsione (Bielle): rappresenta l'indice di resistenza delle bielle compresse sollecitate a taglio e/o torsione;
- indice di resistenza a taglio/torsione ( $V, M_x$ ): rappresenta l'indice di resistenza "taglio e torsione" per elementi che non necessitano di armatura trasversale;
- indice di resistenza a scorrimento: riporta l'indice di resistenza che si ricava dal rapporto fra la resistenza a scorrimento (vedi § 7.4.4.5.2.1 delle NTC/2018) e la sollecitazione di taglio.
- $aswta, aswto$ : in  $cm^2/m$  rappresenta l'area di armatura per unità di lunghezza derivante, rispettivamente, dall'effetto di taglio e torsione;
- passo staffe: in cm rappresenta il passo delle staffe derivante da  $aswta$  e  $aswto$  e dall'applicazione dei minimi di normativa;

Viene evidenziata, su una riga conclusiva apposita, l'involuppo delle armature in grado di resistere a tutte le situazioni. Per la sezione rettangolare viene riportata l'armatura aggiuntiva effettiva sui quattro lati, detraendo dall'armatura totale quella dei reggistaffe. Per la sezione circolare è invece sempre riportato il valore totale distribuito. Viene infine indicato il passo delle staffe calcolato o di normativa.

Per i setti viene anche effettuata la verifica a scorrimento in corrispondenza delle sezioni al piede e in testa poste all'interno delle zone critiche. In questi casi, alla fine del tabulato delle armature riguardante la singola asta, vengono riportate:

- quota alla quale viene effettuata la verifica a scorrimento;
- sollecitazione di taglio per il dimensionamento ( $V_{Ed}$ );
- resistenza a spinotto delle barre verticali ( $V_{dd}$ );
- resistenza per attrito ( $V_{fd}$ );
- eventuale armatura inclinata totale ( $cm^2$ ) derivante dalla verifica.

Alla fine del tabulato di progetto delle armature riguardante un'asta, se attivata l'opzione sulla combinazione dei carichi, la procedura propone uno specchietto che riepiloga nell'ordine:

- numero della combinazione di carico che dà luogo al momento massimo; tale sollecitazione può infatti derivare per effetto di una combinazione di carico spaziale di MasterSap (in questo caso viene riportato il relativo numero di

combinazione o simbolo identificativo) o a causa della combinazione dei carichi permanenti e variabili o dell'eventuale momento di sicurezza (in questo secondo caso il contrassegno di combinazione è dato dal simbolo --);

- $xM_{max}$ ; ascissa dell'asta in cui si verifica il momento massimo positivo;
- $M_{max}$ ; valore del momento massimo positivo;
- $A_{inf}$ , D. inf agg.; armatura inferiore totale derivante dall'azione del momento massimo positivo, numero e diametro delle barre aggiuntive, come al solito, rispetto ai reggistaffe comunque presenti;
- $A_{sup}$ , D. sup agg.; valgono le stesse considerazioni di sopra, riferite all'armatura superiore;
- il rapporto  $x/d$  e l'indice di resistenza a flessione.

Nelle verifiche di esercizio per gli elementi vengono considerati i soli effetti del momento flettente  $M_z$ , ma per comodità dell'utente il tabulato riporta anche il valore delle altre sollecitazioni, incluse fra [ ] per significare che non entrano in gioco nella verifica. Per lo stesso motivo fra parentesi [ ] sono anche riportate le armature anteriori e posteriori.

- Apertura delle fessure  $w$  (mm): rappresenta l'ampiezza della fessura derivante dall'azione del momento flettente  $M_z$  all'ascissa indicata. La fessura si apre superiormente per  $M_z$  negativo, inferiormente per  $M_z$  positivo.
- La freccia viene riportata nel prospetto specifico (che compare a fine trave) riguardante anche il momento massimo in campata.

Per elementi verificati di tipo "pilastro" o "setto" viene effettuata la verifica delle tensioni di esercizio, mentre la verifica a fessurazione è eseguita senza calcolo diretto dell'ampiezza della fessura, in accordo al punto §C4.1.2.2.4.6 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (Istruzioni alle NTC 2018). Nella verifica alle tensioni la sezione viene trattata a pressotensoflessione, trascurando in questo caso l'eventuale contributo del calcestruzzo a trazione. Vengono ignorate agli effetti della verifica le sollecitazioni torcenti e di taglio, comunque riportate fra [ ] nei tabulati per memoria.

Se si verifica la necessità di armare a punzonamento le travi o le fondazioni viene determinata la sezione complessiva delle barre piegate, che andranno disposte parallelamente alle staffe della trave.

Vengono indicate:

- asta: numero dell'asta oggetto di verifica;
- ascissa  $x$  (cm): ascissa dell'asta;
- taglio: valore dell'azione di taglio complessiva agente al nodo;
- carico limite di punzonamento;
- coefficiente di sicurezza al punzonamento;
- armatura piegati a punzonamento ( $cm^2$ ), eventuale.

#### **Considerazioni per l'analisi dinamica.**

I risultati dinamici considerati sono quelli ottenuti per inviluppo, a seconda della modalità scelta. Si possono generare diverse combinazioni risultanti (sovrapposizione degli effetti statici e degli effetti dinamici) indicate nei tabulati con delle lettere.

Per quanto riguarda gli effetti dinamici si tenga presente che il segno degli inviluppi è sempre positivo e che le norme impongono che tali risultati siano considerati anche con segno opposto.

## **I RISULTATI PER ELEMENTI GUSCIO**

Il tabulato riporta:

- numero elemento in esame.;
- numero combinazione di carico;
- $N_{xx}$  (F),  $M_{xx}$  (F\*m),  $N_{yy}$  (F),  $M_{yy}$  (F\*m): sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente; le sollecitazioni con indice  $xx$  producono tensioni in direzione locale  $xx$ ; analogamente per  $yy$ . Si tenga presente che gli sforzi normali sono positivi se di trazione, i momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori.

Successivamente vengono riportati gli esiti della verifica:

- $A_{xx}$  inf,  $A_{xx}$  sup,  $A_{yy}$  inf,  $A_{yy}$  sup ( $cm^2$ ): le armature in direzione  $xx$  risultano dalla verifica a pressotensoflessione effettuata sulla base di  $N_{xx}$  e  $M_{xx}$ ; analogamente per  $yy$ ; le sollecitazioni sono calcolate per un tratto pari al passo;

- indici di resistenza per le verifiche a pressoflessione, a taglio nel piano e a taglio fuori piano. Per il taglio nel piano si controlla che  $S_{xy} \leq \sqrt{f_{cd}/f_{ck}}$ ; l'indice di resistenza a taglio è il rapporto fra il primo e il secondo termine della disuguaglianza;

- il taglio fuori piano (chiamato  $V_z$ ), agente lungo l'asse locale  $z$  ortogonale all'elemento, viene perciò utilmente confrontato con il taglio limite  $V_{rd1}$  contemplato per sezioni sprovviste di armatura a taglio.

Nelle verifiche di esercizio per gli elementi soggetti a sforzo normale  $N_{xx}$  e  $N_{yy}$  trascurabile (ovvero eccentricità rispetto ai momenti  $M_{xx}$  e  $M_{yy}$  molto grande, tale da assimilare tale situazione a quella di una flessione semplice), la verifica alle tensioni e alla fessurazione segue le regole già illustrate per il caso delle travi (a cui si rimanda). Le sezioni di verifica sono due (in direzione locale  $x$  e in  $y$ ) e per ciascuna si ottengono risultati in termini di tensioni ( $S_c$ ,  $S_f$ ) e ampiezza delle fessure ( $w$ ). In stampa per ognuna delle grandezze calcolate viene riportato il valore più alto tra le due elaborazioni.

Viene infine calcolato il carico limite di punzonamento e il coefficiente di sicurezza al punzonamento (con relativa combinazione più gravosa). La resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo ( $f_{ctd}$ ) viene letta fra i parametri assegnati dall'utente.

Per ogni combinazione di carico viene riportato:

- coefficiente  $\beta$ ;
- lo sforzo di taglio-punzonamento ridotto ( $N_{rid}$ ) relativo al contorno  $u_0$ ;
- la sollecitazione di taglio res resistente sul contorno  $u_0$  del pilastro, determinata in base all'espressione 6.53 EC2, che rimanda alla 6.14 EC2, equivalente alla grandezza  $V_{Rcd}$  dell'espressione 4.1.19 NTC 2018: ovvero viene effettuata una verifica delle bielle compresse;
- I.R. bielle compresse, pari a  $\beta \cdot N_{rid}/V_{Rcd}$ , che deve risultare non superiore a 1, altrimenti il plinto non è verificabile (come avviene per tutti gli elementi strutturali quando fallisce la verifica delle bielle compresse);
- il contorno finale  $u_1$ ;
- il rapporto geometrico di armatura  $\rho$  ( $\leq 0.2\%$ ) che interviene nella determinazione di  $V_{Rd}$  (vedi 6.42 EC2); per inciso osserviamo che l'introduzione di un passo minimo nelle tabelle dei plinti è stato ispirato dalla convenienza di avere un valore minimo di  $\rho$  significativo, perché è solo l'armatura diffusa su tutto il plinto che contribuisce a determinare  $\rho$ ;
- lo sforzo di taglio-punzonamento ridotto ( $N_{rid}$ ) relativo al contorno  $u_1$ ;
- la sollecitazione resistente  $V_{Rd}$ ;
- I.R., pari a  $\beta \cdot N_{rid}/V_{Rd}$ .

Se quest'indice è maggiore di 1 si aprono due soluzioni alternative

- La prima soluzione consiste nell'aumentare l'armatura tesa (inferiore) che determina  $\rho$ , ovvero viene calcolata l'armatura aggiuntiva, oltre a quella base già presente, che porta a un valore sufficiente e accettabile per  $V_{Rd}$ . Viene riportata questa eventuale armatura aggiuntiva (in  $cm^2$ ) da porre in opera è specificata separatamente per le due direzioni  $y$  e  $z$ .
- La seconda soluzione è quella di adottare barre piegate a taglio-punzonamento adottando le formule suggerite al par. 6.4.5 EC2. Anche in questo caso l'eventuale armatura da porre in opera (in  $cm^2$ ) è specificata separatamente per le due direzioni  $y$  e  $z$ .
- sollecitazione di taglio per il dimensionamento ( $V_{Ed}$ );

combinazione di arico, poiché dipende anche dallo sforzo normale agente attraverso  $v_d$ .

#### VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITA'

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste.

Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione.

E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati.

Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate della Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Il dimensionamento e le verifiche di sicurezza hanno determinato risultati che sono in linea con casi di comprovata validità, confortati anche dalla propria esperienza.

#### INFORMAZIONI INTEGRATIVE SULL'USO DEI CODICI DI CALCOLO

**Titolo del codice di calcolo:** MasterSap;

**Autore, produttore e distributore:** AMV s.r.l., via San Lorenzo 106, 34077 Ronchi dei Legionari (Go);

**Versione:** MasterSap TOP 2018, MasterMuri TOP

**Estremi della licenza d'uso o di altra forma di autorizzazione all'uso:** 32445, vers.29.10

#### AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO

##### ➤ MASTERSAP (AMV Software)

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento. Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine. Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore. Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo. Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*. L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica. Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato. Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it). E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli

vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi

interessati. Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidità del sistema. Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni. Il rilascio di ogni nuova versione dei programmi è sottoposta a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.

#### ➤ **SOLAIO 2000 (Newsoft)**

##### **Precisazioni sul codice di calcolo utilizzato per l'analisi**

Si forniscono di seguito le ulteriori indicazioni richieste dal punto 10.2 del testo unico delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018)

L'analisi è stata condotta utilizzando il codice di calcolo Solaio, versione 6.10, di cui lo scrivente è licenziatario registrato. Il programma Solaio è un codice di calcolo specifico per l'analisi e la verifica di solaio latero-cementizi a nervature parallele, realizzate in opera o con l'ausilio di elementi prefabbricati, tipo travetti tralicciati ad armatura lenta o travetti in cemento armato precompresso. Il programma è prodotto dalla Newsoft sas, operante sul territorio nazionale e specificamente indirizzata alla produzione di software per l'ingegneria civile. La casa produttrice cura direttamente il servizio di assistenza tecnica e rende disponibili sul suo sito Internet manuali operativi e documentazioni tecniche complete relativi a casi di prova, liberamente scaricabili, che consentono un controllo ed un riscontro sull'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo. La modellazione del solaio è basata su una schematizzazione a trave continua su più appoggi. Nella valutazione delle caratteristiche di rigidità degli elementi con cui sono modellati i travetti si tiene conto della loro deformabilità assiale, flessionale e tagliante. Si tiene conto, inoltre dell'ingombro finito dei nodi di interconnessione, mediante terminazioni rigide che collegano la linea d'asse baricentrica del travetto al centro dei due nodi di estremità. I carichi sono distribuiti sui travetti o concentrati nei nodi. I carichi di tipo variabile sono tipizzati secondo le categorie previste dalla normativa, in modo da consentirne l'involuppo secondo i criteri regolamentari richiesti. Lo scrivente ha avuto modo di valutare, in base ad uno studio della documentazione fornita ed all'esame dei risultati ottenuti su strutture test significative, la robustezza ed affidabilità del codice utilizzato, di cui fa proprie le ipotesi di base e le modalità operative, che ritiene adeguate al contesto di utilizzo. Lo scrivente fa inoltre propri i risultati forniti dal codice ed inseriti nella presente relazione di calcolo, che ha avuto modo di controllare sia attraverso le restituzioni sintetiche tabellari e grafiche ed i filtri di autodiagnostica offerti dal codice, sia mediante riscontri di massima eseguiti a campione sui risultati delle analisi.

Ulteriori informazioni sulla Società produttrice possono ricavarsi dal sito ufficiale <http://www.newsoft-eng.it>.

Informazioni dettagliate sul codice Solaio, comprendenti le ipotesi base utilizzate e le modalità operative, sono descritte nella pagina web <http://www.newsoft-eng.it/Solaio.htm>. Il manuale operativo ed una serie di strutture test, utilizzabili per un controllo sulla accuratezza dei risultati, sono liberamente scaricabili dagli indirizzi web [http://www.newsoft-eng.it/Down\\_Manuali.htm](http://www.newsoft-eng.it/Down_Manuali.htm) e <http://www.newsoft-eng.it/TestsSolaio.htm>.

## NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### STRUTTURA

**Legge 5 novembre 1971 N. 1086** - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.

**Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018**

**Norme di cui è consentita l'applicazione ai sensi del cap. 12 del D.M. 17 gennaio 2018:**

**UNI EN 1990: 2004 - Eurocodice 1** – Criteri generali di progettazione strutturale.

**UNI ENV 1991-1-1: 2004; -1-2; 1-3; 1.5 ; UNI ENV 1991-2-4: 1997** - Azioni sulla struttura.

**Eurocodice 2** - Progettazione delle strutture in calcestruzzo.

**UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1:**Regole generali e regole per gli edifici.

**Eurocodice 3** – Progettazione delle strutture in acciaio.

**UNI ENV 1993-1-1** - Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici.

**UNI EN 206-1/2001** - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.

Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici – “Linee Guida sul calcestruzzo strutturale” –

**Circ. MIN.LL.PP. N.11951 del 14 febbraio 1992** - Circolare illustrativa della legge N. 1086.

**D.M. 14 febbraio 1992** - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.

**Circ. MIN.LL.PP. N.37406 del 24 giugno 1993** – Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 14 febbraio 1992.

**D.M. 9 gennaio 1996** – Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996 n.252 AA.GG./S.T.C.** - Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo e l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al D.M. 09.01.1996.

### CARICHI E SOVRACCARICHI

**D.M. 16 gennaio 1996** – Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

**Circ. MIN.LL.PP. N.156AA.GG./STC del 4 luglio 1996** – 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 gennaio 1996.

**D.M. 16.1.1996** - Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche

**Circ. Min. LL.PP. 10.4.1997, n. 65** - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996

**Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018**

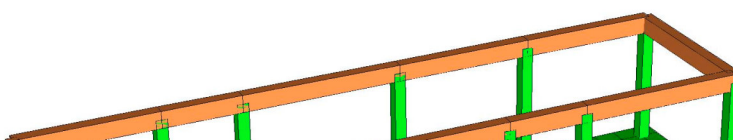
### TERRENI E FONDAZIONI

**D.M. 11 marzo 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**Circ. MIN.LL.PP. N.30483 del 24 settembre 1988** - Istruzioni 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre.

## FABBRICATO

### 1) MODELLO STRUTTURALE



Il modello strutturale è stato realizzato partendo dal progetto architettonico. Gli elementi utili alla ricostruzione del modello strutturale sono quindi deducibili dal modello architettonico, tanto per le dimensioni in pianta che per quelle in altezza. Nell'elaborato grafico sono riportate le coordinate spaziali (in termini di coordinate x,y,z) grazie alle quali è stato costruito il modello strutturale. Le platee e le pareti (vasca e cunicolo) in calcestruzzo di classe C.25/30 sono state modellate agli "elementi finiti" mediante l'inserimento di "macroelementi" a loro volta suddivisi in "elementi" (gusci) ai quali è stato assegnato sia lo spessore, deducibile dal modello architettonico (cm.25/cm.30). Al materiale è stata quindi assegnata la corrispondente caratteristica in termini di "modulo elastico", "coefficiente di poisson", "peso unitario", "coefficiente di dilatazione termica", "aliquota inerziale", "rigidezza al taglio" e "rigidezza flessionale". Gli elementi lineari in calcestruzzo (travi in fondazione ed in elevato, cordoli, architravi,) sono stati modellati secondo il modello a "travi e pilastri" ed a questi sono stati assegnati la sezione trasversale ed il materiale che in questo caso è il calcestruzzo di classe C.25/30 (anche per questo materiale le caratteristiche sono quelle sopra menzionate per le murature).

## **2) INFORMAZIONI**

Le informazioni relative alle ipotesi di base sono riportate al paragrafo **§ STAMPA DATI DI PROGETTO**

## **3) CONTROLLO DELLE MASSE ECCITATE**

Preliminarmente è necessario verificare la percentuale di masse eccitate dal sisma. Si prendono in esame tutti i modi di vibrare con massa partecipante maggiore del 5% e viene considerato un numero di modi in grado di eccitare l'85% della massa (§ 7.3.3.1\_NTC/20118). I modi vengono combinati mediante l'espressione (SRSS):

$$E = \sqrt{(\sum_i \sum_j \rho_{ij} * E_i * E_j)} \quad \text{con}$$

$E_i, E_j$  = valore dell'effetto relativo al modo i,J

$\rho_{ij}$  = coefficiente di correlazione tra il modo i ed il modo J

In specifico, sono stati considerati esclusivamente i carichi permanenti strutturali e non strutturali ed è stata condotta l'analisi allo SLV utilizzando la combinazione dei modi SRSS. Si è così verificato che il numero di modi di vibrare tali da eccitare l'85% della massa è pari a **sette (numero di frequenze)**. La verifica è riportata nel capitolo **verifiche**, paragrafo **§ TABELLA MASSE ECCITATE**.

## **3) MATERIALI**

L'elenco dei materiali utilizzati è riportato al paragrafo **§ LISTA MATERIALI UTILIZZATI**

## **4) SEZIONI**

L'elenco delle sezioni utilizzate è riportato al paragrafo **§ RIEPILOGO DELLE SEZIONI UTILIZZATE**

## **5) AZIONI APPLICATE ALLA STRUTTURA**



➤ **CARICHI PERMANENTI E PESI PROPRI**

Parete in mattoni di cemento	1.500 kg/mc
Peso proprio calcestruzzo	2.500 kg/mc
Intonaco	30 kg/m <sup>2</sup>
Tufina di allettamento (spessore cm.10)	170 kg/m <sup>2</sup>
Lastrico solare (spessore cm.4)	68 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento compreso malta di allettamento	100 kg/m <sup>2</sup>

➤ **PESO PROPRIO DEL SOLAIO**

Peso Proprio Solai a travetti pc e interposti laterizi H = 20+4 cm	285 kg/m <sup>2</sup>
--	-----------------------

➤ **CARICHI VARIABILI**

Cat.A Ambienti accessibili per la sola manutenzione	61 kg/m <sup>2</sup>
---	----------------------

L'elenco dei carichi utilizzati è riportato al paragrafo [§ CARICHI PER ELEMENTI TRAVE, TRAVE DI FONDAZIONE E RETICOLARE](#) mentre le combinazioni di carico sono riportate al paragrafo [§ COMBINAZIONI DI CARICO](#)

**4) CONTROLLO RIGIDEZZA E RESISTENZA**

Si utilizza l'**analisi lineare dinamica** con comportamento strutturale **non dissipativo** ( $\leq 1,5$ ) e quindi conducendo le verifiche (§7.3.6\_NTC/2018):

- in termini di rigidezza (RIG) accertando che la deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile. Nel caso di Classe d'uso **II** lo spostamento deve essere calcolato per lo **SLD** accertando che (costruzioni di muratura ordinaria):

$$\begin{aligned}q_{dr} &\leq 0,0050 * h \text{ (per tamponature fragili)} \\q_{dr} &\leq 0,0075 * h \text{ (per tamponature duttili)} \\q_{dr} &\leq 0,0020 * h \text{ (per costruzioni in muratura)}\end{aligned}$$

con:

$d_r$  = spostamento di interpiano

h = altezza del piano

I risultati di tale verifica sono riportati al capitolo **verifiche**, paragrafo [§ SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI in termini di resistenza \(RES\)](#) verificando che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo assieme possiedano una capacità di resistenza sufficiente a soddisfare la domanda allo **SLV**.

6) il fattore di comportamento "q" viene assunto pari ad **1,5** considerando che la Tab.7.3.I (NTC/2018) pone ad esso i seguenti limiti:

$$\text{SLV} \leq 1,5$$

$$\text{SLD} \leq 1,5$$

accertato inoltre che che il valore di "q" assunto è inferiore a quello limite:

$$q_{lim} = (2/3) * q_{CDB} = (2/3) * 1,75 a_u/a_1 = (2/3) * 1,75 * 1,7 = 1,93 \text{ (si assume 1,5)}$$

I risultati di calcolo sono riportati al paragrafo [§ VERIFICHE STRUTTURALI SLU](#) ed al paragrafo [§ VERIFICHE STRUTTURALI SLE](#)

**5) CALCOLO SOLAIO DI COPERTURA**

La seguente relazione riporta i risultati dei calcoli statici relativi al solaio di un edificio sito in comune di così come ottenuti dal Calcolatore con l'uso del programma SOLAIO 2000 prodotto dalla Newsoft s.a.s., programma specifico per l'analisi e la verifica di solai in cemento armato a nervature parallele. Il responsabile dei calcoli ne è licenziatario registrato.

### **Riferimenti legislativi**

L'analisi della struttura e le verifiche sugli elementi sono state condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare delle seguenti norme:

D.M. 17/01/18, " Norme tecniche per le costruzioni. "

Altre referenze tecniche

C.M. 02/02/2009, n.617, "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni. "

### **Modellazione**

Il travetto di solaio è schematizzato come una trave continua semplicemente appoggiata. La modellazione dell'elemento travetto si avvale di un elemento trave dotato di deformabilità flessionale, tagliante ed estensionale e munito agli estremi di terminazioni rigide che tengono conto dell'ingombro finito dei nodi di interconnessione. I carichi agenti appartengono alle condizioni Permanente, Coperture, Neve bassa quota, categoria A (ambienti residenziali). L'analisi è stata effettuata per le combinazioni quasi permanente, frequente, rara, ultima ed ultima sismica. Ciascuna di queste è ottenuta combinando le azioni base ( Permanente, Coperture, Neve bassa quota, residenziali) mediante fattori di combinazione assunti in valore minimo e in valore massimo, in accordo con le regole di combinazione prescritte dalla normativa. I fattori finali di combinazione per una particolare azione si ottengono come prodotto fra un fattore parziale  $\Psi$  dipendente dal tipo di azione e un fattore parziale  $\Gamma$  dipendente sia dall'azione che dalla combinazione di carico. In particolare, il fattore  $\Psi$  tiene conto della ridotta probabilità di occorrenza simultanea di due o più azioni indipendenti e può assumere i valori  $\Psi_0$ ,  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$ , che definiscono rispettivamente il valore raro, frequente e quasi-permanente dell'azione, riportati nella tabella 'Tipi di condizioni di carico'. Il fattore  $\gamma$  tiene conto della possibilità che l'azione possa avere effetti favorevoli o sfavorevoli sulla sicurezza. Per tale ragione è considerato sempre ed in maniera indipendente sia in valore minimo (per minimizzare gli effetti favorevoli) sia in valore massimo (per massimizzare gli effetti sfavorevoli). I valori sono diversificati per tre tipi diversi di azioni: permanente, variabile, sismico e sono riportati nella tabella 'Tipi di combinazioni di carico'. Con tali regole di involucro si determinano i valori estremi di variabilità (minimo-massimo) delle caratteristiche di sollecitazione e per entrambi tali valori vengono eseguite le verifiche. Questa strategia di involucro è ripetuta per tutte le combinazioni di carico prescritte dalla normativa. Si tiene conto altresì di possibili carichi variabili mutuamente escludenti (la presenza di uno esclude gli altri), che possono essere definiti in fase di modellazione. Tali informazioni sono riportate nella tabella 'Tipi di condizioni di carico', già menzionata.

### **Modalità di verifica**

Le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte col metodo degli stati limite in accordo con le norme tecniche e le modalità operative specificate nel citato D.M. 17/01/2018. Sono state considerate le combinazioni di azioni quasi permanente, frequente, rara, ultima ed ultima sismica. Il progetto delle armature è svolto in modo da pervenire ad una armatura il più possibile ridotta e in grado di assicurare il rispetto di tutte le verifiche richieste.

Sono state inoltre rispettate le seguenti specifiche:

A - In corrispondenza di ciascuno appoggio, è stata disposta inferiormente un'armatura longitudinale convenientemente ancorata, in grado di assorbire uno sforzo di trazione uguale al taglio massimo.

B - Lo sforzo di taglio è assorbito interamente dal calcestruzzo, tenendo conto delle dimensioni di fascia piena e semipiena assegnate.

C - Le armature longitudinali sono prolungate oltre la sezione in cui vengono computate alla resistenza per una distanza minima ad assicurare l'ancoraggio nell'ipotesi di aderenza tra barra e calcestruzzo.

Sollecitazioni di verifica

La verifica degli elementi resistenti è effettuata su un insieme di sezioni significative e sulla base dell'involuppo delle sollecitazioni definito dalla combinazione di carico considerata.

Sono individuate undici sezioni di verifica per ogni travetto: sette disposte alle ascisse poste allo 0%, 10%, 35%, 50%, 65%, 90% e 100% della luce e quattro in corrispondenza delle ascisse di discontinuità della sezione resistente, corrispondenti al passaggio fra fascia piena e semipiena e fra fascia semipiena e sezione corrente del travetto.

Il momento flettente agente nei travetti è stato incrementato per tenere conto, direttamente nella verifica a flessione, della forza di trazione richiesta dall'ancoraggio longitudinale delle bielle a 45° di calcestruzzo compresso previste dal modello a traliccio di Mörsch. Tale incremento è stato risolto attraverso l'operazione di slittamento del diagramma dei momenti. In

ogni sezione di verifica, i valori utili ai fini dell'involuppo sono stati calcolati slittando, nel senso più restrittivo, il diagramma del momento per una distanza pari a  $0.9 \cdot H$ . In ogni caso, le verifiche a flessione dei travetti nelle sezioni in campata sono state effettuate considerando agente un momento minimo positivo pari almeno a  $q \cdot l^2 / 16$ , in cui  $q$  rappresenta il carico distribuito agente per singola condizione di carico. Inoltre, le verifiche a flessione dei travetti nelle sezioni di appoggio sono state effettuate considerando agente un momento minimo negativo pari almeno a  $q \cdot l^2 / 24$ , in cui  $q$  rappresenta il carico distribuito agente per singola condizione di carico. Ciò posto, ai fini del dimensionamento delle armature nei travetti, si considera ogni campata suddivisa in tre zone: zona di sinistra comprendente le sezioni poste fra le ascisse 0%-22.5% della luce; zona di mezzera comprendente le sezioni poste fra le ascisse 22.5%-77.5% della luce; zona di destra comprendente le sezioni poste fra le ascisse 77.5%-100% della luce. Per ogni zona si valuta l'area di armatura inferiore e superiore richiesta dal soddisfacimento delle verifiche e dalle imposizioni tecnologiche assegnate e, in base alle aree determinate, si costruiscono i ferri di armatura.

#### **Verifica alle punte tensionali**

La verifica alle punte tensionali è effettuata per le sollecitazioni massime e minime di involuppo ottenute per le combinazioni di carico di esercizio quasi permanente, frequente, rara. È stato assunto un comportamento elastico degli elementi resistenti della struttura e le tensioni sono state calcolate sulla base delle seguenti ipotesi:

1. conservazione delle sezioni piane,
2. calcestruzzo non resistente a trazione,
3. comportamento elastico lineare tanto per l'acciaio che per il calcestruzzo,
4. è stato tenuto conto della differenza di modulo elastico fra calcestruzzo e acciaio, utilizzando un coefficiente di omogenizzazione dell'acciaio pari a 15.
5. è stato tenuto conto della differenza di modulo elastico fra calcestruzzo gettato e calcestruzzo precompresso utilizzando per questo un coefficiente di omogenizzazione pari a 1.

La verifica tensionale è stata infine effettuata controllando che in nessun caso i valori delle tensioni normali e tangenziali ottenuti superano i valori limite ammissibili.

#### **Verifica di resistenza**

La verifica di resistenza è riferita alla combinazione di carico ultima in cui può essere ammessa una plasticizzazione della sezione. Nella verifica si assume ancora la conservazione delle sezioni piane, tuttavia si fa riferimento ad una descrizione più articolata del comportamento dei materiali, con i criteri esposti al punto 4.1.2.1.2 del citato D.M. 17/01/18. La verifica a taglio è stata effettuata secondo le disposizioni riportate al 4.1.2.1.3 del D.M. 17/01/18, considerando gli elementi resistenti privi di armatura a taglio e tenendo conto delle reali dimensioni della sezione resistente per effetto delle fasce piene e semipiene assegnate.

#### **Verifica alla fessurazione**

La verifica è stata effettuata in base all'aggressività ambientale ed alla sensibilità delle armature alla corrosione, in accordo con i criteri esposti al punto 4.1.2.2.4 del citato D.M. 17/01/18.

In particolare si è assunto:

condizioni ambientali: ordinarie

sensibilità alla corrosione armature lente: bassa

sensibilità alla corrosione armature pretese: alta.

Nelle campate realizzate con travetti precompressi, tenendo conto che le armature di pretensioni sono da considerare sensibili alla corrosione, le verifiche a fessurazione sono state diversificate per i due lembi:

Per il lembo inferiore sono state condotte verifiche di:

aperture fessure per combinazione Frequente ( $W_{flim}=0.30$  mm)

aperture fessure per combinazione Q.permanente ( $W_{flim}=0.20$  mm)

Per il lembo superiore sono state condotte verifiche di:

aperture fessure per combinazione Frequente ( $W_{flim}=0.40$  mm)

aperture fessure per combinazione Q.permanente ( $W_{flim}=0.30$  mm)

**Verifica di deformabilità**

La verifica di deformabilità è stata eseguita controllando che il valore della freccia massima elastica su ogni campata risulti inferiore dei valori limiti assegnati, nei due seguenti casi:

Freccia massima dovuta ai carichi permanenti e ai carichi variabili minore di 1/500 della luce

Freccia massima dovuta ai soli carichi variabili minore di 1/1000 della luce

L'involuppo delle frecce dovute ai diversi carichi variabili è stato eseguito con le stesse regole di combinazione utilizzate per le sollecitazioni.

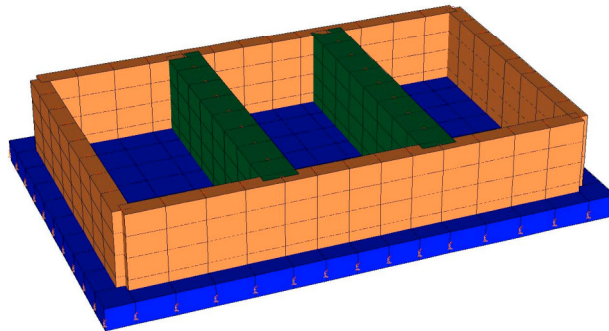
**Risultati dell'analisi**

Il tabulato seguente riporta la descrizione geometrica di dettaglio delle strutture, i carichi assunti ed i risultati ottenuti dalla analisi e dalle verifiche. Il significato delle diverse quantità stampate, insieme alle unità di misura adottate, sono riportate nelle legende esplicative che precedono il tabulato.

## PLATEA TRASFORMATORE

### 1) MODELLO STRUTTURALE

Il modello strutturale è stato realizzato partendo dal progetto architettonico. Gli elementi utili alla ricostruzione del modello strutturale sono quindi deducibili dal modello architettonico, tanto per le dimensioni in pianta che per quelle in altezza.



Nell'elaborato grafico sono riportate le coordinate spaziali (in termini di coordinate x,y,z) grazie alle quali è stato costruito il modello strutturale. Le platee e le pareti (vasca e cunicolo) in calcestruzzo di classe C.25/30 sono state modellate agli "elementi finiti" mediante l'inserimento di "macroelementi" a loro volta suddivisi in "elementi" (gusci) ai quali è stato assegnato sia lo spessore, deducibile dal modello architettonico (cm.25/cm.30). Al materiale è stata quindi assegnata la corrispondente caratteristica in termini di "modulo elastico", "coefficiente di poisson", "peso unitario", "coefficiente di dilatazione termica", "aliquota inerziale", "rigidezza al taglio" e "rigidezza flessionale". Gli elementi lineari in calcestruzzo (travi in fondazione ed in elevato, cordoli, architravi,) sono stati modellati secondo il modello a "travi e pilastri" ed a questi sono stati assegnati la sezione trasversale ed il materiale che in questo caso è il calcestruzzo di classe C.25/30 (anche per questo materiale le caratteristiche sono quelle sopra menzionate per le murature).

### 2) INFORMAZIONI

Le informazioni relative alle ipotesi di base sono riportate al paragrafo [§ STAMPA DATI DI PROGETTO](#)

### 3) MATERIALI

L'elenco dei materiali utilizzati è riportato al paragrafo [§ LISTA MATERIALI UTILIZZATI](#)

### 4) AZIONI APPLICATE ALLA STRUTTURA

#### ➤ CARICHI PERMANENTI E PESI PROPRI

Peso proprio calcestruzzo	2.500 kg/mc
Trasformatore (posizione 1)	62.000 kg

#### ➤ CARICHI VARIABILI

Cat.A Ambienti accessibili per la sola manutenzione	61 kg/m <sup>2</sup>
---	----------------------

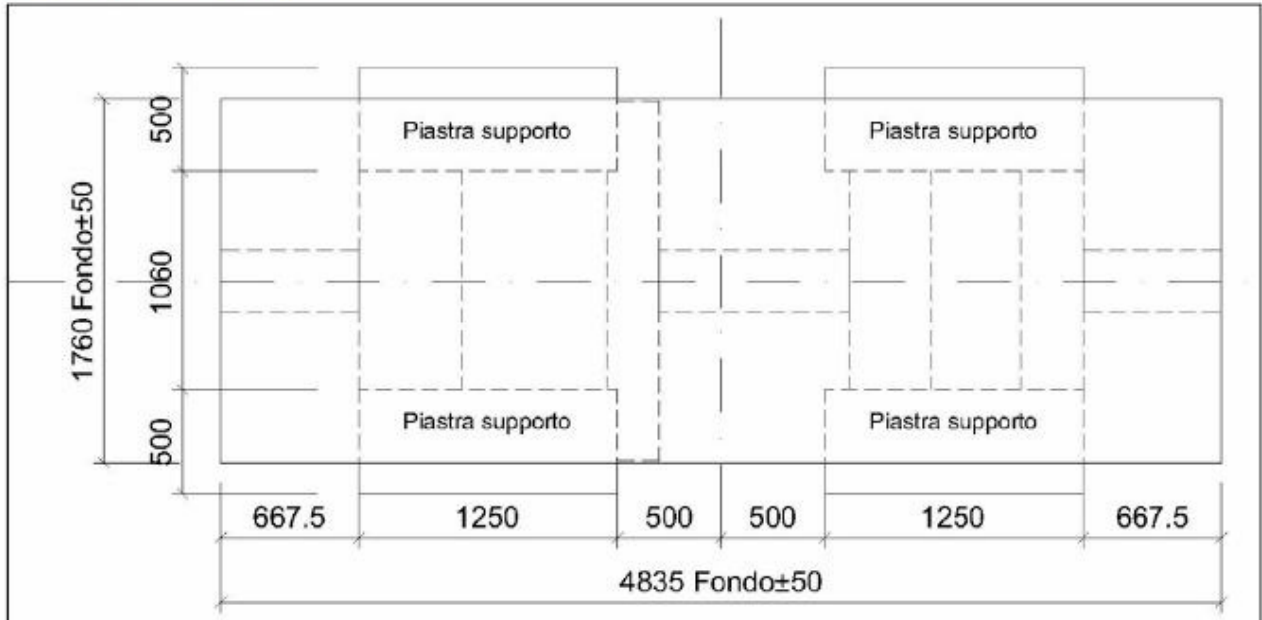
Il trasformatore MT/AT (30/150 kV) sarà corredato di:

- Supporto castelletto di arrivo linea MT

- Supporto cavo centro stella

Configurazione appoggi:

Configurazione appoggi:



L'elenco dei carichi utilizzati è riportato al paragrafo [§ CARICHI PER ELEMENTI BIDIMENSIONALI](#) ed al paragrafo [§ CARICHI NODALI](#) mentre le combinazioni di carico sono riportate al paragrafo [§ COMBINAZIONI DI CARICO](#)

#### **5) CONTROLLO RESISTENZA**

Si utilizza l'**analisi lineare dinamica** con comportamento strutturale **non dissipativo** ( $\leq 1,5$ ) e quindi conducendo le verifiche (§7.3.6\_NTC/2018):

in termini di resistenza (RES) verificando che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo assieme possiedano una capacità di resistenza sufficiente a soddisfare la domanda allo **SLV**.

6) il fattore di comportamento "q" viene assunto pari ad **1,5** considerando che la Tab.7.3.I (NTC/2018) pone ad esso i seguenti limiti:

SLV  $\leq 1,5$

SLD  $\leq 1,5$

accertato inoltre che il valore di "q" assunto è inferiore a quello limite:

$$q_{lim} = (2/3) * q_{CDB} = (2/3) * 1,75 a_u/a_1 = (2/3) * 1,75 * 1,7 = 1,93 \text{ (si assume } 1,5)$$

I risultati di calcolo sono riportati al paragrafo [§ VERIFICHE STRUTTURALI SLU](#) ed al paragrafo [§ VERIFICHE STRUTTURALI SLE](#)

<b>APPARECCHIATURE ELETTRICHE</b>
-----------------------------------

- **Scaricatore di tensione AT (posizione 2 – n. apparecchiature 4)**

Peso dell'apparecchiatura (*una apparecchiatura per ogni sostegno*) 50 Kg

- Interruttore tripolare con trasformatori di corrente TA 150 kV

(*posizione 3 – n. apparecchiature 4*)

Peso dell'apparecchiatura (*totale, incluso il sostegno tralicciato*) 1.950 Kg

Azione dinamica per manovre

Verticali 800 Kg

Orizzontali 200 Kg

- **Sezionatore unipolare verticale 150 kV (posizione 4 – n. apparecchiature 3)**

Peso dell'apparecchiatura (*totale per le tre linee*) 1.100 Kg

- **Trasformatore di tensione capacitivo di sbarra (posizione 5 – n. apparecchiature 1)**

Peso dell'apparecchiatura (*una apparecchiatura per ogni sostegno*) 250 Kg

- Sostegno sbarre (posizione 6 – n. apparecchiature 4)

Peso dell'apparecchiatura (una apparecchiatura per ogni sostegno) 60 Kg

Peso conduttori 150 kV

- conduttore in corda in alluminio  $\varnothing$  36 mm 2,12 Kg/m

- conduttore in tubo in alluminio  $\varnothing$  100/86 mm 5,52 Kg/m

- **Trasformatore di tensione capacitivo TV-C (posizione 7 – n. apparecchiature 1)**

Peso dell'apparecchiatura (una apparecchiatura per ogni sostegno) 210 Kg

- Sezionatore unipolare orizzontale con lame di terra 150 kV

(*posizione 8 – n. apparecchiature 2*)

Peso dell'apparecchiatura (totale per le tre linee) 1.200 Kg

- Colonnino arrivo/discesa cavi AT (posizione 9 – n. apparecchiature 2)

Peso dell'apparecchiatura (una apparecchiatura per ogni sostegno) 100 Kg