Relazione di Calcolo - FASCICOLO 1
IMPOSTAZIONI GENERALI
Rev. A - 25/10/2020

CORPO COLLEGAMENTO E GUARDIOLA
via Trani, 1 - 20138 MILANO MUN. 4

FEDERAZIONE ITALIANA NUOTO - C.R. LOMBARDO
Via Piranesi, 46 - 20137 Milano (MI)

Studio Ingegneria Strutturale
Dott. Ing. Andrea Vago - via Po, 21 - 20017 Rho (MI)
tel.: 02/49437418 - cell.: 348-7942927 - email: studio@ingvago.com

Sommario
Opere strutturali - Relazione di calcolo dell'opera (fascicolo 1): impostazioni generali, metodi di calcolo, analisi dei carichi, caratteristiche dei materiali

Rev.	Descrizione revisione	Data
A	Emissione	25/10/2020

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
Dott. Ing. ANDREA VAGO
Settore: a) civile ambientale
n° A 20013

Prog A Op. Strutturali
(timbro e firma)

Indice

1 Descrizione dell'opera 2

2 Caratteristiche della costruzione e del sito 3
2.1 Tipo di costruzione . . . 3
2.2 Localizzazione del sito . . . 4
2.3 Individuazione zona sismica . . . 4
2.4 Caratteristiche del terreno . . . 4

3 Tipo di intervento 4
3.1 Nuove costruzioni . . . 4

4 Normative di riferimento 4
4.1 Normative generali . . . 5
4.2 Eurocodici . . . 5

5 Convenzioni e strumenti di calcolo 5
5.1 Unita' di misura . . . 5
5.2 Caratteristiche dei codici di calcolo . . . 5

6 Criteri di verifica 5
6.1 Metodo di calcolo . . . 5
6.1.1 Sicurezza e prestazioni attese . . . 6
6.1.2 Stati Limite . . . 6
6.2 Condizioni Elementari di Carico [CondEC] . . . 7
6.3 Combinazioni di Carico [CombC] . . . 8
6.3.1 Combinazioni Sisma assente . . . 8
6.3.2 Combinazioni Sisma presente . . . 11
6.4 Analisi sismica . . . 11
6.4.1 Analisi sismica DINAMICA LINEARE 11

7 Caratteristiche dei materiali 12
7.1 Conglomerato cementizio armato . . . 12
7.1.1 Calcestruzzo . . . 12
7.1.2 Acciaio per c.a. . . . 14
7.2 Acciaio per carpenteria . . . 14

8 Analisi dei carichi 15
8.1 Carichi permanenti [G] . . . 15
8.1.1 Carichi permanenti da peso proprio [G_1] 15
8.1.2 Carichi permanenti sempre presenti [G_{21}] . . . 15
8.2 Azioni Variabili [Q] . . . 15
8.2.1 Azioni Variabili Antropiche [Q] . . . 16
8.2.2 Azioni Variabili Ambientali e Naturali [Q] . . . 16
8.3 Sintesi carichi . . . 23

A Dichiarazione del progettista 24

1. Descrizione dell'opera

L'opera in oggetto consiste nella costruzione di due corpi di fabbrica relativi a:

- guardiola
- corpo di collegamento tra spogliatoi e piscina

Entrambe le strutture saranno costituite da strutture metalliche intelaiate con travi principali HEB160 e travi secondarie IPE160.

Le due coperture pseudo piane sono costituite da pannello coibentato grecato a doppia lamiera.

Le strutture metalliche appoggeranno su travi rovesce in c.a. di sezione rettangolare.

La guardiola ha dimensioni circa 3.5x3.0 m e il corpo collegamento ha forma a L in pianta di dimensioni circa 5x4.50.

Entrambe le strutture sono adiacenti a fabbricati esistenti e risultano strutturalmente indipendenti e separate da giunto strutturale.

Di seguito di riportano a titolo esemplificativo alcuni stralci dei disegni di progetto.

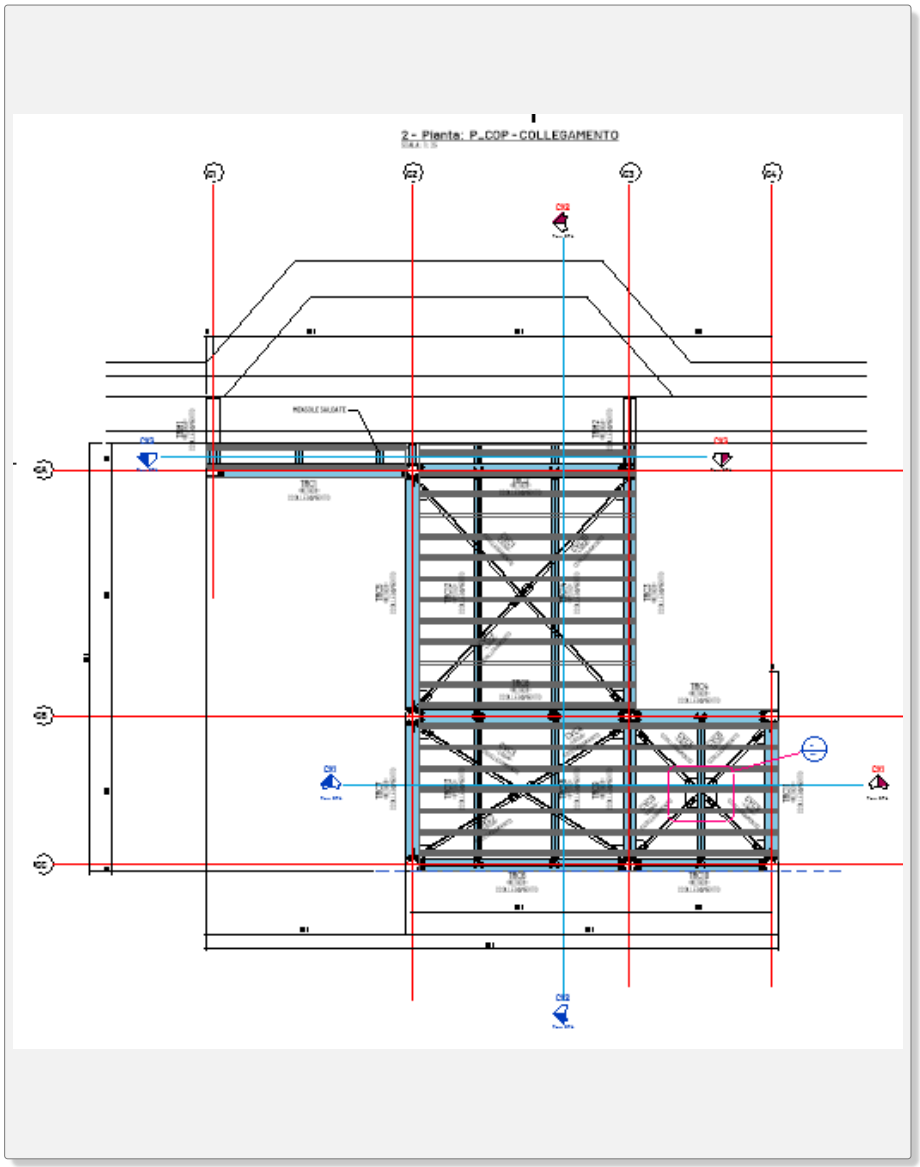


Fig. 1: Corpo di collegamento

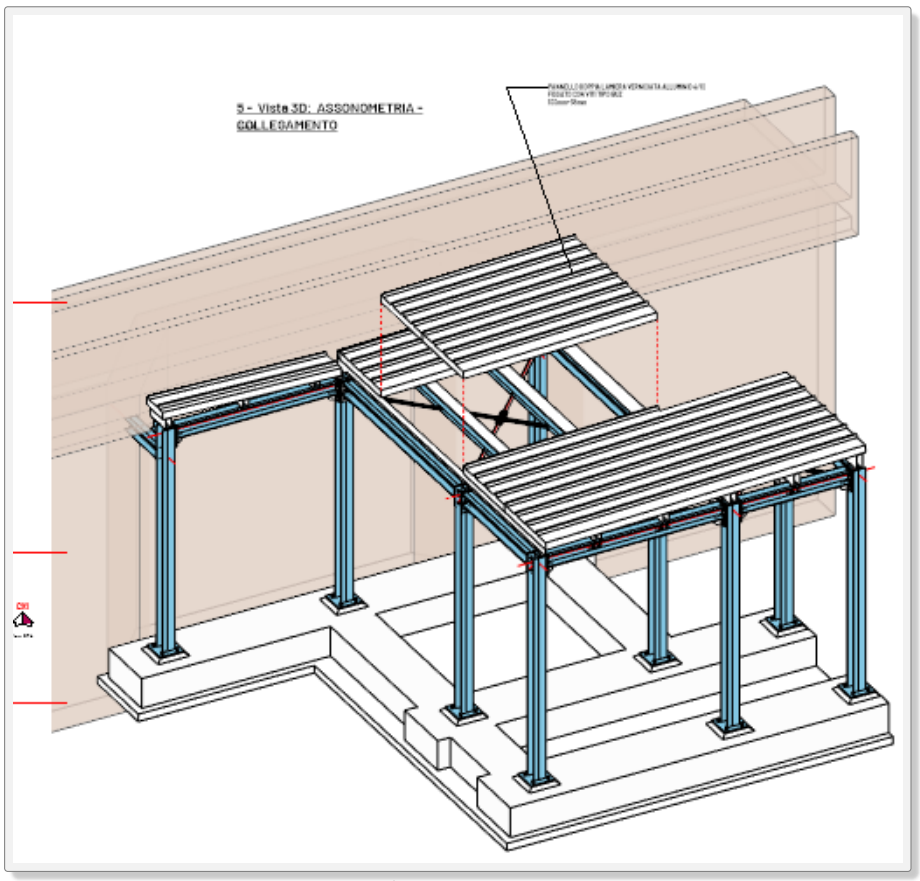


Fig. 2: Corpo di collegamento

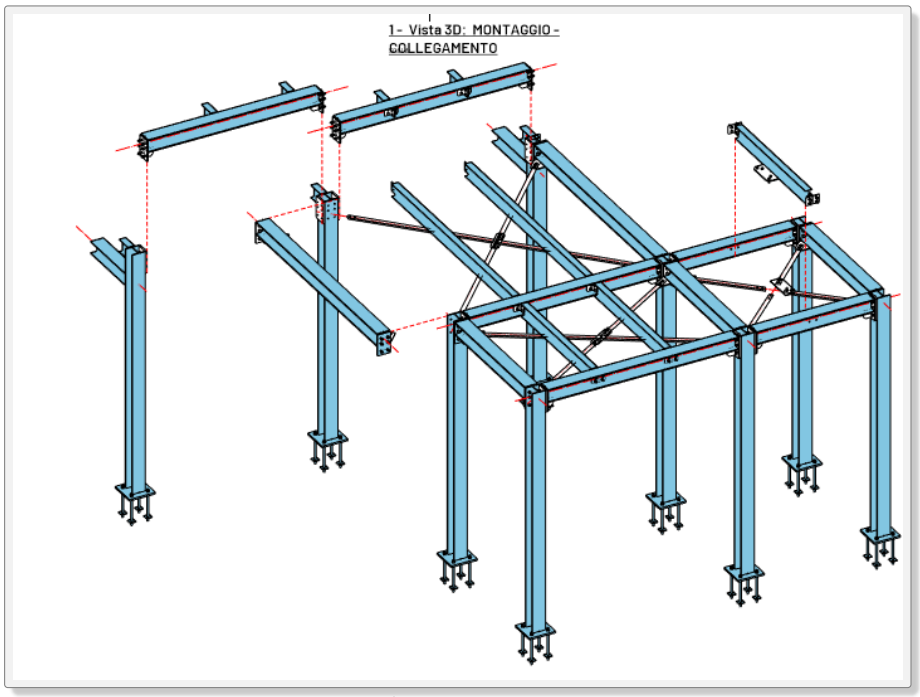


Fig. 3: Corpo di collegamento

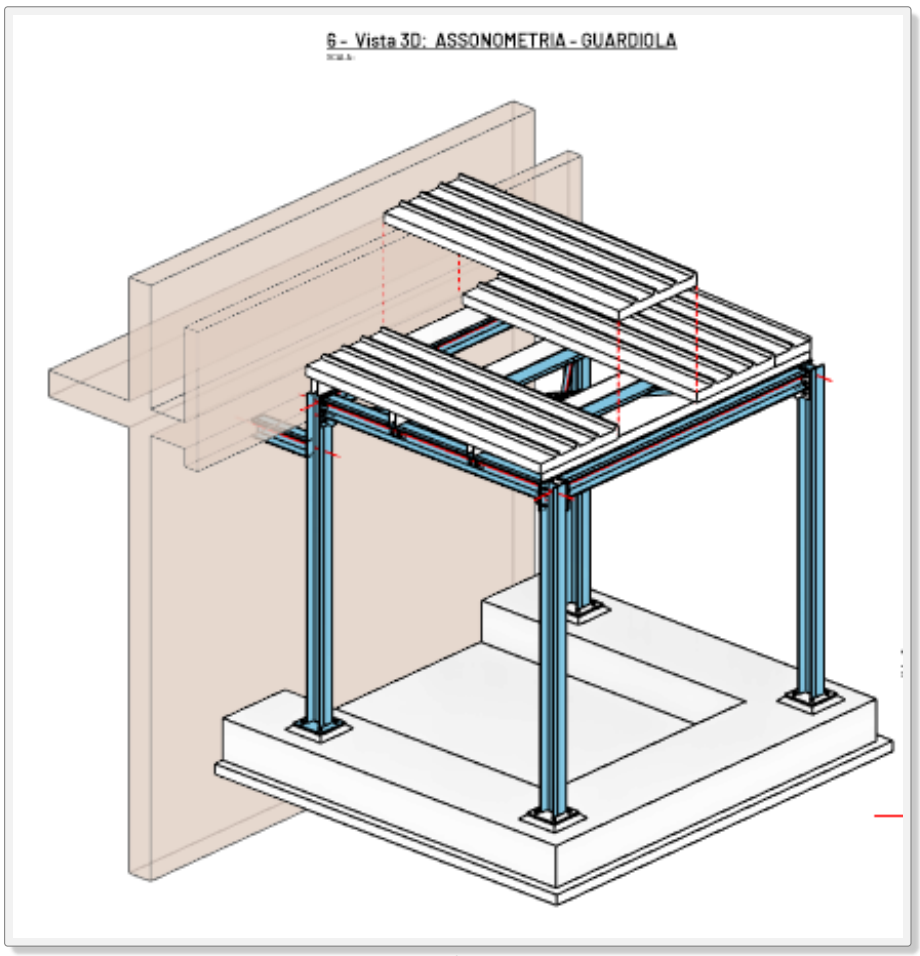


Fig. 4: Guardiola

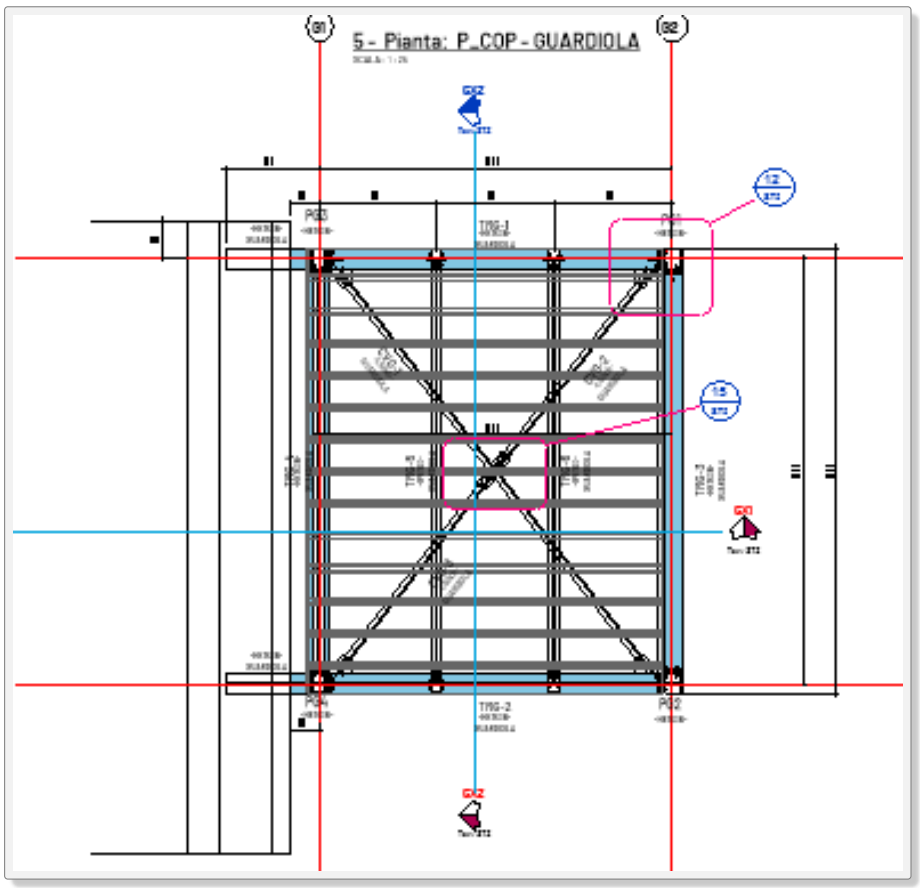


Fig. 5: Guardiola

2. Caratteristiche della costruzione e del sito

2.1. Tipo di costruzione

Per procedere alla valutazione delle azioni sulla struttura (v. ad es. azione sismica) è necessario definire :

Tipo di costruzione: in base a quanto riportato dalle norme (D.M.14/01/2018) nella Tab. 1.

Vita nominale: V_N è il numero di anni durante i quali la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, può essere usata per lo scopo al quale è destinata, è diversa in base al tipo di opera da realizzare, e fa riferimento a quanto riportato dalle norme (D.M. 14/01/2018) nella Tab. 1.

Classe d'uso: le norme fanno riferimento a 4 classi d'uso, diverse sulla base delle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso (dove l'interruzione o il collasso sono dovute alla presenza di azioni sismlche). Sulla base delle caratteristiche dell'opera in oggetto, di comune accordo con la committenza, alla struttura verrà attribuita una classe d'uso in base alla tabella

Periodo di riferimento V_R: Le azioni sismiche sulla struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u ovvero $V_R = V_N \cdot C_u$. Il coefficiente d'uso è tabulato dalle norme, come indicato nella Tab. 2 nella pagina seguente.

Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

Per la definizione dei valori della V_N e di C_u nel nostro caso specifico si stabilisce:

Tab. 1: Coefficiente V_N [anni]

Tipo	Descrizione	V_N
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva.	$\leq$ **10**
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq$ **50**
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.	$\geq$ **100**

Tab. 2: Coefficiente C_u

Classe d'uso	Descrizione	C_u
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	**0.7**
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	**1.0**
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	**1.5**
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	**2.0**

- Tipo di costruzione: **2**
  - Vita nominale stabilita: V_N =**50** anni
- Classe d'uso: **II**
  - Coeff. d'uso: C_u =**1.0**
- Vita di riferimento: $V_R = V_N \cdot C_u$ =**50.00** anni

2.2. Localizzazione del sito

Per procedere alla valutazione delle azioni sulla struttura (v. ad es. azione sismica, azione del vento, azione della neve, . . .) è necessario inoltre definire con precisione le caratteristiche del sito nel quale verrà realizzata la costruzione:

- lat: **45.454056**
- lon: **9.245737**
- Indirizzo: **via Trani, 1 - 20138 MILANO MUN. 4**
- Quota media sul livello del mare: **140.0** m

2.3. Individuazione zona sismica

Sulla base della localizzazione del sito e dell'accelerazione di gravità con periodo di ritorno 475 anni si possono distinguere, a titolo indicativo, 4 zone sismiche:

$$a_g(475) \leq 0.05 \rightarrow \text{ zona 4}$$
$$0.05 < a_g(475) < 0.15 \rightarrow \text{ zona 3}$$
$$0.15 \leq a_g(475) < 0.25 \rightarrow \text{ zona 2}$$
$$a_g(475) \geq 0.25 \rightarrow \text{ zona 1}$$

Per il sito in oggetto:
- $a_g(475)$: **0.053**
- Zona: **3**

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) il sito è stato classificato in **Zona Sismica 3**

2.4. Caratteristiche del terreno

Per le caratteristiche del terreno, vista l'esiguità dell'opera si è fatto riferimento a valori prudenziali circa la capacità portante del terreno.

In base alle normative NTC2018 secondo i criteri dell'approccio 2 par.6.4.2.1 delle NTC2018 utilizzando la combinazione (A1+M1+R3) per la verifica del terreno (GEO), la capacità portante ultima condiderata è: $Q_{Rd} = 0.104$ MPa.

Il valore della tensione di esercizio (SLE) fra fondazioni e terreno è pari a 0.0.08 MPa per limitare i cedimenti.

L'analisi strutturale viene condotta con le normali combinazioni STR (A1) agli SL e si confrontano le pressioni sul terreno con Q_{Rd}.

3. Tipo di intervento

3.1. Nuove costruzioni

L'intervento in oggetto si configura come "nuova costruzione" ed è pertanto soggetto a tutte le indicazioni delle NTC2018 e s.m.i. .

4. Normative di riferimento

Le normative utilizzate nella progettazione dell'opera sono le seguenti:

4.1. Normative generali

- **Legge 05/11/71 n.1086** - "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".
- **Circ. M.LL.PP. 14/02/74, n.11951** - "Applicazione delle norme sul cemento armato".
- **Nuove NTC 2018** "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" approvate con DM 17.01.2018 e pubblicate nella G.U. del 20.02.18
- **Circolare 21 GENNAIO 2019, n. 7** - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
- **Decreto Ministeriale 31 luglio 2012** Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici

4.2. Eurocodici

Per quanto non espressamente specificato nelle NTC2018, ci si può riferire a normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati nel Cap. 12 della norma suddetta. In particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle NTC2018.

Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo

UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1 : Regole generali e regole per gli edifici

Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio

UNI EN 1993-1-1:2005 Parte 1-1 : Regole generali e regole per gli edifici

5. Convenzioni e strumenti di calcolo

Nei paragrafi seguenti si descrivono alcune convenzioni prese a riferimento nella presente relazione e gli strumenti di calcolo utilizzati.

5.1. Unita' di misura

Per i calcoli si adottano le seguenti U.M. in accordo con il S.I.:

Grandezze	U.M.
Forze:	kN
Carichi:	kN/m, kN/m^2
Massa specifica:	kg/m^3
Peso specifico:	kN/m^3
Tensioni e resistenze:	MPa
Momenti:	kN m

Con le seguenti equivalenze:

- $1\,\text{daN} \approx 1 kg_f$
- $1\,\text{kN} = 100\,\text{daN}$
- $1\,\text{MPa} = 1\,\text{N/mm}^2 = 10\,\text{daN/cm}^2$
- $1\,\text{kN/cm}^2 = 10\,\text{MPa}$

5.2. Caratteristiche dei codici di calcolo

Le analisi strutturali e le verifiche sono state sviluppate con l'ausilio dei seguenti programmi di calcolo:

- programma di calcolo per Elementi Finiti Midas/Gen di MIDAS IT co. ;
- programma MathCAD della Mathsoft Engineering Inc. per la redazione dei fogli di calcolo;
- programmi di calcolo eseguiti mediante linguaggio interpretato Python (Open Source)
- programma di composizione tipografica LaTeX(Open Source)

6. Criteri di verifica

6.1. Metodo di calcolo

Tutti gli elementi strutturali sono stati verificati con il **metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite (SL)** secondo quanto indicato dalla normativa vigente (NTC2018).

Sulla base di tale metodo e delle norme di applicazione (in particolare si fa riferimento al D.M. 14/01/2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2018) si individuano diverse **condizioni di carico elementari** cumulate secondo **combinazioni di carico** tali da risultare le più sfavorevoli tra quelle possibili ai fini delle singole verifiche.

6.1.1. Sicurezza e prestazioni attese

Le opere e le componenti strutturali oggetto della presente relazione sono progettate affinché, sottoposte ad adeguata manutenzione in forma economicamente sostenibile, possano mantenere inalterato il livello di sicurezza previsto dalle norme vigenti (D.M. 14/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" - NTC2018).

La sicurezza e le prestazioni dell'opera o di una parte di essa saranno valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, secondo quanto stabilito dalle NTC2018, la struttura nel suo complesso e le varie tipologie strutturali rispetteranno i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, sarà garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento della struttura, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione.

I prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali saranno chiaramente identificati (nei capitoli successivi) in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione, così come specificato più avanti.

6.1.2. Stati Limite

I principali **SL** (Stati Limite) si possono suddividere nel caso si consideri il "sisma presente" o il "sisma assente":

■ SL Sisma Assente

▶ *SLU sisma assente*

I principali Stati Limite Ultimi, in caso di sisma assente, sono elencati nel seguito:

- perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- spostamenti o deformazioni eccessive;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere.

▶ *SLE sisma assente*

I principali Stati Limite di Esercizio, in caso di sisma assente, sono elencati nel seguito:

- danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione;

Altri stati limite di esercizio sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere.

Tab. 3: Verifiche Sisma Presente

SL	Prestazione	Rif. Norme	Classe d'uso I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§7.3.7.2			×	×
	Funzionalità degli impianti	§7.3.7.3			×	×
SLD	Resistenza degli elementi strutturali	§7.3.7.1			×	×
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§7.3.7.2	×	×		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	§7.11.5.3	×	×	×	×
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	§7.11.6.2.2	×	×	×	×
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	§7.2.2	×	×	×	×
	Resistenza delle strutture	§7.3.6.1	×	×	×	×
	Duttilità delle strutture	§7.3.6.2	×	×	×	×
	Assenza collasso fragile ed espulsione elementi non str.	§7.3.6.3	×	×	×	×
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	§7.3.6.3	×	×	×	×
	Stabilità del sito	§7.11.3	×	×	×	×
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	§7.11.4	×	×	×	×
	Resistenza del sistema fondazione-terreno	§7.11.5.3	×	×	×	×
	Stabilità dei muri di sostegno	§7.11.6.2.2	×	×	×	×
	Stabilità delle paratie	§7.11.6.3.2	×	×	×	×
	Resistenza e stabilità sistemi di contrasto e ancoraggi	§7.11.6.4.2	×	×	×	×
SLC	Resist. dei dispositivi di vinc. temp. tra costruzioni isolate	§7.2.1	×	×	×	×
	Capacità di spostamento degli isolatori	§7.10.6.2.2	×	×	×	×

■ SL Sisma Presente

▶ *SLU sisma presente*

I principali Stati Limite Ultimi, in caso di sisma presente, sono elencati nel seguito:

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

▶ *SLE sisma presente*

I principali Stati Limite di Esercizio, in caso di sisma presente, sono elencati nel seguito:

- **SLO** Stato Limite di esercizio (sisma presente): **O**perativiti¿ $\frac{1}{2}$: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **SLD** Stato Limite di esercizio (sisma presente): **D**anno della struttura in condizioni sismiche : a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

■ Verifiche SL sisma presente

Le verifiche di sicurezza da effettuare sono riepilogate in funzione della Classe d'uso in Tab. 3 , in cui si fa riferimento anche al paragrafo che nelle NTC disciplina ciascuna verifica. A riguardo, si evidenzia che le verifiche allo SLC devono essere effettuate di necessità sulle sole costruzioni provviste di isolamento sismico.

6.2. Condizioni Elementari di Carico [CondEC]

Le condizioni elementari di carico sono i carichi caratteristici che possono gravare sulla struttura come ad es.: peso proprio, carichi permanenti portati, carichi variabili in genere (ambientali, antropici, ecc. . .), carichi accidentali, ecc. . . . .

I carichi caratteristici (indicati con pedice $_k$) vengono poi combinati con opportuni coefficienti moltiplicativi riportati nel paragrafo seguente.

Le convenzioni utilizzate nella presente relazione per indicare i carichi sono le seguenti per la condizione CondEC (apice ^{CondEC}):

Carichi concentrati o azioni generalizzate

- G_{ki}^{CondEC} = carichi permanenti
- Q_{ki}^{CondEC} = azioni variabili
- E_{ki}^{CondEC} = azioni sismiche
- A_{ki}^{CondEC} = azioni accidentali
- P_{ki}^{CondEC} = azioni dovute alla precompr. e pret.

Carichi distribuiti

- g_{ki}^{CondEC} = carichi permanenti
- q_{ki}^{CondEC} = azioni variabili
- e_{ki}^{CondEC} = azioni sismiche
- a_{ki}^{CondEC} = azioni accidentali
- p_{ki}^{CondEC} = azioni dovute alla precompr. e pret.

6.3. Combinazioni di Carico [CombC]

Nel calcolo dei coefficienti moltiplicativi relativi a ciascuna combinazione di carico è necessario distinguere le combinazioni che includono l'azione sismica da quelle che non la includono.

Si riportano di seguito le espressioni generiche delle combinazione di carico nel caso di verifiche allo Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Esercizio.

Le azioni e le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni si indicano con pedice $_{Ed}$ (Effect design) e apice ^{CombC} (combinazione i-esima)

Azioni generalizzate:

- F_{Edi}^{CombC} = azioni

Sollecitazioni:

- N_{Edi}^{CombC} = Soll. Assiale
- M_{Edi}^{CombC} = Momento
- V_{Edi}^{CombC} = Taglio
- T_{Edi}^{CombC} = Torsione

Per le effettive combinazioni di carico ed i relativi coeff. moltiplicativi si vedano i capitoli riguardanti le verifiche degli elementi strutturali.

6.3.1. Combinazioni Sisma assente

■ Stato Limite Ultimo

Si riporta di seguito l'espressione di riferimento per combinazioni di carico che non comprendono l'azione sismica:

$$F_{Ed} = \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{gi} \cdot G_{ki} + \gamma_{q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi}(\psi_{0i} \cdot Q_{ki}) \tag{1}$$

Intendendo con:

- G_{ki} = carichi permanenti
- Q_{k1} = azioni variabili di base
- Q_{ki} = azioni variabili tra loro dipendenti
- $\gamma_{gi}, \gamma_{q1}, \gamma_{qi}$ = sono i coeff. parziali di sicurezza che dipendono dal tipo di combinazione considerata.

Per i coeff. parziali di sicurezza si distinguono **3 tipi di combinazione allo SLU**:

- EQU : combinazioni che riguardano lo stato limite di equilibrio come corpo rigido
- STR : combinazioni che riguardano lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione
- GEO : combinazioni che riguardano lo stato limite di resistenza del terreno

I coeff. parziali di sicurezza possibili sono riportati in Tab. 4 nella pagina seguente,Tab. 5 nella pagina successiva, Tab. 6 nella pagina seguente,Tab. 7 nella pagina successiva, Tab. 8 a pagina 10,Tab. 9 a pagina 10.

Si fa notare che tali coeff. possono assumere valori γ_{sup} e γ_{inf} a seconda che siano favorevoli o sfavorevoli alla sicurezza.

In generale, ai fini delle combinazioni, si possono tenere conto di tre tipi di variabilità di tali coefficienti:

- variazione inf/sup
- cambiamento di segno
- eventuale non compresenza fra alcune condizioni elementari di carico

Tab. 4: Coefficienti parziali di sicurezza EQU

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	**1.1**	**0.9**
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	**1.1**	**0.9**
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	**1.5**	**0.0**
Q_{ab}	Var. Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	var	**1.5**	**0.0**
Q_{uff}	Var. Cat. B - Uffici	var	**1.5**	**0.0**
Q_{aff}	Var. Cat. C - Amb. suscettibili di affollamento	var	**1.5**	**0.0**
Q_{com}	Var. Cat. D - Ambienti ad uso commerciale	var	**1.5**	**0.0**
Q_{mag}	Var. Cat. E - Bibliot., archivi, magazzini, ind.	var	**1.5**	**0.0**
Q_{rim1}	Var. Cat. F - Rimesse, auto peso <=30 KN	var	**1.5**	**0.0**
Q_{rim2}	Var. Cat. G - Rimesse, auto peso >30 KN	var	**1.5**	**0.0**
Q_{cop}	Var. Cat. H - Coperture	var	**1.5**	**0.0**
Q_{win}	Var. Vento	var	**1.5**	**0.0**
Q_{nev1}	Var. Neve (a quota <= 1000 m.s.l.m.)	var	**1.5**	**0.0**
Q_{nev2}	Var. Neve (a quota > 1000 m.s.l.m.)	var	**1.5**	**0.0**
Q_{term}	Var. Variazioni termiche	var	**1.5**	**0.0**
ε_1	Precompressione	altro	**1.0**	**1.0**

Tab. 5: Coefficienti parziali di sicurezza EQU - Ponti

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	**1.10**	**0.90**
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	**1.10**	**0.90**
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	**1.50**	**0.00**
Q	Var. da traffico	var	**1.35**	**0.00**
Q_i	Var. variabili	var	**1.50**	**0.00**
ε_1	Distorsioni e presollecitazioni di progetto	var	**1.00**	**0.90**
ε_2	Ritiro e viscosità	var	**1.20**	**0.00**
ε_3	Variazioni termiche	var	**1.20**	**0.00**
ε_4	Cedimenti vincolari	var	**1.20**	**0.00**

Tab. 6: Coefficienti parziali di sicurezza STR

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	**1.3**	**1.0**
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	**1.3**	**1.0**
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	**1.5**	**0.0**
Q_{ab}	Var. Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	var	**1.5**	**0.0**
Q_{uff}	Var. Cat. B - Uffici	var	**1.5**	**0.0**
Q_{aff}	Var. Cat. C - Amb. suscettibili di affollamento	var	**1.5**	**0.0**
Q_{com}	Var. Cat. D - Ambienti ad uso commerciale	var	**1.5**	**0.0**
Q_{mag}	Var. Cat. E - Bibliot., archivi, magazzini, ind.	var	**1.5**	**0.0**
Q_{rim1}	Var. Cat. F - Rimesse, auto peso <=30 KN	var	**1.5**	**0.0**
Q_{rim2}	Var. Cat. G - Rimesse, auto peso >30 KN	var	**1.5**	**0.0**
Q_{cop}	Var. Cat. H - Coperture	var	**1.5**	**0.0**
Q_{win}	Var. Vento	var	**1.5**	**0.0**
Q_{nev1}	Var. Neve (a quota <= 1000 m.s.l.m.)	var	**1.5**	**0.0**
Q_{nev2}	Var. Neve (a quota > 1000 m.s.l.m.)	var	**1.5**	**0.0**
Q_{term}	Var. Variazioni termiche	var	**1.5**	**0.0**
ε_1	Precompressione	altro	**1.0**	**1.0**

Tab. 7: Coefficienti parziali di sicurezza STR - Ponti

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	**1.35**	**1.00**
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	**1.35**	**1.00**
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	**1.50**	**0.00**
Q	Var. da traffico	var	**1.35**	**0.00**
Q_i	Var. variabili	var	**1.50**	**0.00**
ε_1	Distorsioni e presollecitazioni di progetto	var	**1.00**	**1.00**
ε_2	Ritiro e viscosità	var	**1.20**	**1.00**
ε_3	Variazioni termiche	var	**1.20**	**1.00**
ε_4	Cedimenti vincolari	var	**1.20**	**1.00**

Tab. 8: Coefficienti parziali di sicurezza GEO

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	1.0	1.0
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	1.0	1.0
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	1.3	0.0
Q_{ab}	Var. Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	var	1.3	0.0
Q_{uff}	Var. Cat. B - Uffici	var	1.3	0.0
Q_{aff}	Var. Cat. C - Amb. suscettibili di affollamento	var	1.3	0.0
Q_{com}	Var. Cat. D - Ambienti ad uso commerciale	var	1.3	0.0
Q_{mag}	Var. Cat. E - Bibliot., archivi, magazzini, ind.	var	1.3	0.0
Q_{rim1}	Var. Cat. F - Rimesse, auto peso <=30 KN	var	1.3	0.0
Q_{rim2}	Var. Cat. G - Rimesse, auto peso >30 KN	var	1.3	0.0
Q_{cop}	Var. Cat. H - Coperture	var	1.3	0.0
Q_{win}	Var. Vento	var	1.3	0.0
Q_{nev1}	Var. Neve (a quota <= 1000 m.s.l.m.)	var	1.3	0.0
Q_{nev2}	Var. Neve (a quota > 1000 m.s.l.m.)	var	1.3	0.0
Q_{term}	Var. Variazioni termiche	var	1.3	0.0
ε_1	Precompressione	altro	1.0	1.0

Tab. 9: Coefficienti parziali di sicurezza GEO - Ponti

Cod.	Descr.	Tipo	γ_{sup}	γ_{inf}
G_1	Peso proprio strutturale	pp	1.00	1.00
G_{21}	Permanente non strutturale sempre presente	perm1	1.00	1.00
G_2	Permanente non strutturale non definito	perm2	1.30	0.00
Q	Var. da traffico	var	1.15	0.00
Q_i	Var. variabili	var	1.30	0.00
ε_1	Distorsioni e presollecitazioni di progetto	var	1.00	1.00
ε_2	Ritiro e viscosità	var	1.00	0.00
ε_3	Variazioni termiche	var	1.00	0.00
ε_4	Cedimenti vincolari	var	1.00	0.00

■ Stato Limite di Esercizio

Le combinazioni allo stato limite di esercizio si suddividono in:

$$F_{Ed} = G_k + Q_{k1} + \sum_{i=2}^{n}(\psi_{0i} \times Q_{ki}) \text{ Rare} \tag{2}$$

$$F_{Ed} = G_k + \psi_{11}Q_{k1} + \sum_{i=2}^{n}(\psi_{2i} \times Q_{ki}) \text{ Frequenti} \tag{3}$$

$$F_{Ed} = G_k + \sum_{i=2}^{n}(\psi_{2i} \times Q_{ki}) \text{ Quasi permanenti} \tag{4}$$

Per i valori dei coefficienti $\psi_{0i}, \psi_{1i}, \psi_{2i}$ si è fatto riferimento alla tabella Tab. 10 e Tab. 11.

Tab. 10: Coefficienti di combinazioni per carichi variabili

Cod.	Descr.	Tipo	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Q_{ab}	Var. Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	var	0.7	0.5	0.3
Q_{uff}	Var. Cat. B - Uffici	var	0.7	0.5	0.3
Q_{aff}	Var. Cat. C - Amb. suscettibili di affollamento	var	0.7	0.7	0.6
Q_{com}	Var. Cat. D - Ambienti ad uso commerciale	var	0.7	0.7	0.6
Q_{mag}	Var. Cat. E - Bibliot., archivi, magazzini, ind.	var	1.0	0.9	0.8
Q_{rim1}	Var. Cat. F - Rimesse, auto peso <=30 KN	var	0.7	0.7	0.6
Q_{rim2}	Var. Cat. G - Rimesse, auto peso >30 KN	var	0.7	0.5	0.3
Q_{cop}	Var. Cat. H - Coperture	var	0.0	0.0	0.0
Q_{win}	Var. Vento	var	0.6	0.2	0.0
Q_{nev1}	Var. Neve (a quota <= 1000 m.s.l.m.)	var	0.5	0.2	0.0
Q_{nev2}	Var. Neve (a quota > 1000 m.s.l.m.)	var	0.7	0.5	0.2
Q_{term}	Var. Variazioni termiche	var	0.6	0.5	0.0

Tab. 11: Coefficienti di combinazioni per carichi variabili - Ponti

Cod.	Descr.	Tipo	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Q_{s1t}	Var. schema 1 - carichi tandem	var	0.75	0.75	0.00
Q_{s1d}	Var. schema 1 - carichi distribuiti	var	0.40	0.40	0.00
Q_{s2}	Var. schema 2	var	0.00	0.75	0.00
Q_2	Var. tipo 2	var	0.00	0.00	0.00
Q_{3c}	Var. schema 3 - carichi concentrati	var	0.40	0.40	0.00
Q_3	Var. tipo 3	var	0.00	0.00	0.00
Q_{4c}	Var. schema 4 - carichi concentrati	var	0.40	0.40	0.00
Q_4	Var. tipo 4 - folla	var	0.00	0.00	0.00
Q_{5d}	Var. schema 5 - carichi distribuiti	var	0.40	0.40	0.00
Q_5	Var. tipo 5	var	0.00	0.00	0.00
Q_6	Var. schema 6 - carichi distribuiti	var	0.40	0.40	0.00
Q_{ws}	Var. vento a ponte scarico (SLU e SLE)	var	0.60	0.20	0.00
Q_{wq5e}	Var. vento q_5 esecuzione	var	0.80	-	0.00
Q_{wq5c}	Var. vento q_5 a ponte carico	var	0.60	-	-
Q_{nq5sl}	Var. neve q_5 SLU e SLE	var	0.00	0.00	0.00
Q_{nq5e}	Var. neve q_5 esecuzione	var	0.80	0.60	0.50
Q_{term}	Var. temperatura	var	0.60	0.60	0.50

6.3.2. Combinazioni Sisma presente

■ Stato Limite Ultimo

Nel caso di analisi sismica la verifica allo stato limite ultimo deve essere eseguita combinando l'azione sismica con le altre azioni agenti come indicato nella seguente espressione:

$$F_{Ed} = G_k + E_k + \sum_{i=1}^{n} (\psi_{2i} \times Q_{ki}) \tag{5}$$

Intendendo con:

- G_k = carichi permanenti
- E_k = azione sismica
- Q_{ki} = azioni variabili
- ψ_{2i} = coefficiente di combinazione che fornisce il valore quasi-permanente dell'azione variabile

Gli effetti dell'azione sismica tengono conto delle **masse associate ai seguenti carichi gravitazionali**:

$$W_k = G_k + \sum_{i=1}^{n} (\psi_{2i} \times Q_{ki}) \tag{6}$$

Per i coeff. di combinazione v. Tab. 10 nella pagina precedente e Tab. 11 nella pagina precedente.

► *Analisi sismica statica o dinamica in campo lineare:*

se la risposta della struttura viene valutata mediante **analisi sismica statica o dinamica in campo lineare** (non analisi semplificata zona 4) gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati intendendo, con rotazione dei coeff. moltiplicativi:

$$E_k = \mathbf{1.00} \cdot E_x + 0.30 \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z \tag{7}$$
$$E_k = 0.30 \cdot E_x + \mathbf{1.00} \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z \tag{8}$$
$$E_k = 0.30 \cdot E_x + 0.30 \cdot E_y + \mathbf{1.00} \cdot E_z \tag{9}$$

considerando le azioni in tre direzioni principali E_x, E_y, E_z (in dir. z verticale solo se richiesto).

6.4. Analisi sismica

Per quanto riguarda l'analisi in presenza di effetti sismici si possono utilizzare diversi metodi. A parte analisi non lineari, nell'ambito delle costruzioni ordinarie si possono utilizzare

- Analisi non sismica semplificata in zona 4
- Analisi sismica STATICA LINEARE
- Analisi sismica DINAMICA LINEARE

Nel nostro caso si è utilizzato:

6.4.1. Analisi sismica DINAMICA LINEARE

L'analisi dinamica lineare consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale),
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto (v. § 8.2.2 a pagina 20), per ciascuno dei modi di vibrare individuati,
- nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. E' opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi di vibrare si utilizza una **combinazione quadratica completa SRSS** degli effetti relativi a ciascun modo,

$$E = \sqrt{\sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j} \tag{10}$$

con:

- E_i valore dell'effetto relativo al modo i-esimo;

- ρ_{ij} coefficiente di correlazione tra il modo i-esimo e il modo j-esimo

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2\beta_{ij}^{3/2}}{(1+\beta_{ij})\left[(1+\beta_{ij})^2 + 4\xi^2\beta_{ij}\right]} \tag{11}$$

dove:

- ξ smorzamento viscoso dei modi i e j;
- $\beta_{ij} = T_j/T_i$

7. Caratteristiche dei materiali

Si descrivono di seguito le caratteristiche fisiche dei materiali scelti per le strutture in oggetto.

I valori riportati si intendono calcolati sulla base delle normative vigenti e saranno di raffronto per le verifiche degli elementi strutturali.

7.1. Conglomerato cementizio armato

7.1.1. Calcestruzzo

▶ **Classe di resistenza calcestruzzo: C25/30**

$f_{ck} = 25.00\,\text{MPa}$

$R_{ck} \cong f_{ck}/0.83 = 30.12\,\text{MPa}$

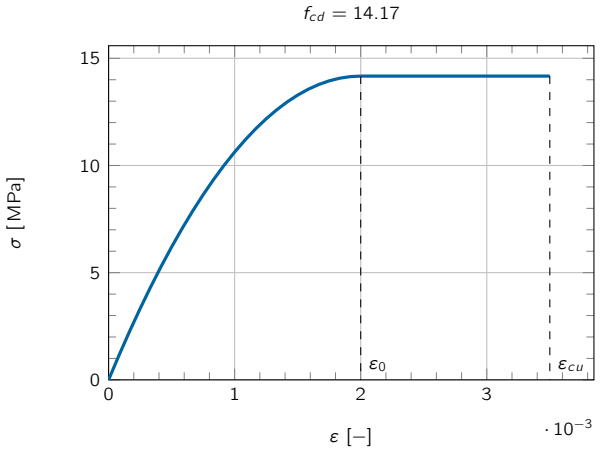
$\gamma_c = 1.5$

$E_{cm} = 22000 \cdot ((f_{ck} + 8.0)/10.0)^{0.3} = 31475.81\,\text{MPa}$

$|\epsilon_{c0}| = 0.002$

$|\epsilon_{cu}| = 0.0035$

Per il legame costitutivo del calcestruzzo si faccia riferimento allo schema seguente.



SLU (Stato Limite Ultimo) a compressione:

$$f_{cd} = \alpha_{cc}\frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0.85 \cdot \frac{25.00}{1.5} = 14.17\,\text{MPa}$$

$$f'_{cd} = 0.80 \cdot f_{cd} = 11.34\,\text{MPa}$$

SLU (Stato Limite Ultimo) a trazione e taglio:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} \cong 0.27 \cdot R_{ck}^{2/3} = 2.56\,\text{MPa}$$

$$f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 0.7 \times 2.56 = 1.79\,\text{MPa}$$

$$f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm} = 1.3 \times 2.56 = 3.33\,\text{MPa}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{0.25 \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 0.30\,\text{MPa}$$

SLE (Stato Limite di esercizio) : limitazione delle tensioni

$\tilde{\sigma_c} \leq 0.60 \cdot f_{ck} = 15.00\,\text{MPa}$	Comb. rara
$\tilde{\sigma_c} \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 11.25\,\text{MPa}$	Comb. quasi perm.
Per compr. centrata:	
$\tilde{\sigma_c} \leq 0.80 \cdot (0.60 \cdot f_{ck}) = 12.00\,\text{MPa}$	RARA compr. centr.
$\tilde{\sigma_c} \leq 0.80 \cdot (0.45 \cdot f_{ck}) = 9.00\,\text{MPa}$	QPERM compr. centr.

Tab. 12: Classi di esposizione e composizione UNI EN206-1

1. Assenza di rischio di corrosione o attacco

Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo o attacco chimico	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa	-	15	-	15

2. Corrosione indotta da carbonatazione

Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente:

Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa. Calcestruzzo costantemente immerso in acqua	0.60	30	300	20
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Molte fondazioni	0.60	30	300	20
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia	0.55	35	320	30
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	0.50	40	340	30

3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare

Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue:

Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina	0.55	35	320	30
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri	0.50	40	340	30
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri.Pavimentazioni.Pavimentazioni di parcheggi	0.45	45	360	40

4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare

Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con cloruri presenti nell'acqua di mare oppure con aria che trasporta sali derivanti dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue:

Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	0.50	40	340	30
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine	0.45	45	360	40
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea	Parti di strutture marine	0.45	45	360	40

5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti

Qualora il calcestruzzo bagnato sia esposto ad un attacco significativo dovuto a cicli di gelo/disgelo, l'esposizione sarà classificata come segue:

Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo	0.50	40	320	30
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo	0.50	30	340	30
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo	0.50	30	340	30
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo	0.45	35	360	40

6. Attacco chimico

Qualora il calcestruzzo sia esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno avente caratteristiche definite nel prospetto 2, l'esposizione verrà classificata come è indicato di seguito. La classificazione dell'acqua di mare dipende dalla località geografica; perciò si dovrà applicare la classificazione valida nel luogo di impiego del calcestruzzo.

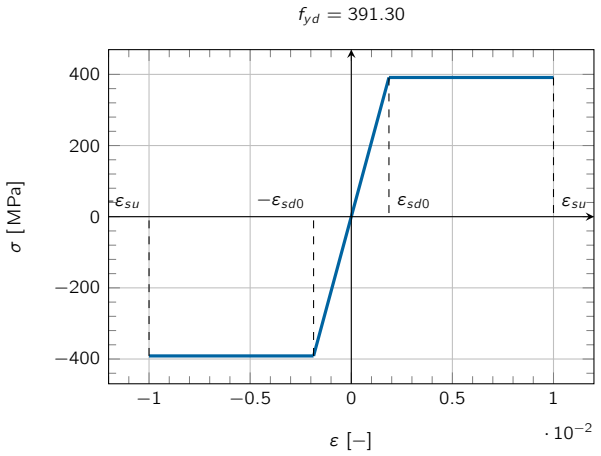
Classe	Descrizione ambiente	Esempi	A/Cmax	$R_{ck\ min}$	Min cem. [kg]	Coprif. min [mm]
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI en 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acqua reflue	0.55	35	320	30
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI en 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	0.50	40	340	30
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI en 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acqua industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali.	0.45	45	360	40

7.1.2. Acciaio per c.a.

▶ Tipo di acciaio: B450C (ex FeB44K)

$f_{yk} = 450\,\text{MPa}$	Resistenza a snervamento
$f_{tk} = 540\,\text{MPa}$	Resistenza a rottura
$\gamma_s = 1.15$	Coeff. di sicurezza del materiale
$E_s = 210000\,\text{MPa}$	Modulo elastico
$\lvert\epsilon_{sd0}\rvert = 0.0018633333$	Def. al limite plastico
$\lvert\epsilon_{su}\rvert = 0.01$	Def. al limite ultimo

Per il legame costitutivo dell'acciaio si faccia riferimento allo schema seguente.



SLU (Stato Limite Ultimo) :

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.30\,\text{MPa} \qquad \text{Resistenza di progetto}$$

SLE (Stato Limite di esercizio) : limitazione delle tensioni

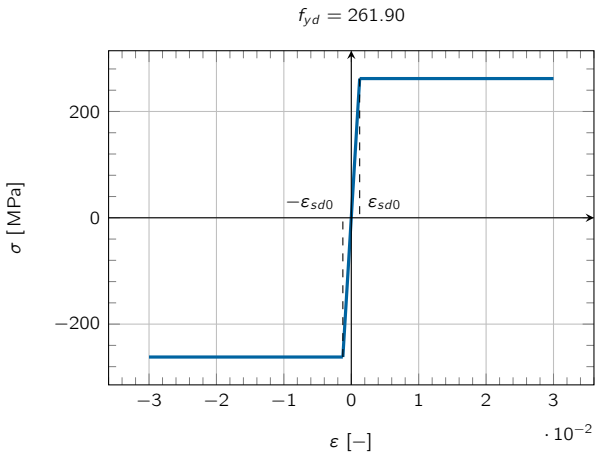
$$\bar{\sigma_s} \leq 0.80 \cdot f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360.00\,\text{MPa} \qquad \text{Comb. rara}$$

7.2. Acciaio per carpenteria

Le caratteristiche del materiale utilizzate nei calcoli sono le seguenti:

▶ Classe di resistenza acciaio: S275JR (ex Fe430B)

$f_y = 275\,\text{MPa}$	Snervamento
$f_u = 430\,\text{MPa}$	Rottura
$\gamma_{M0} = 1.05$	Classe 1,2,3
$\gamma_{M1} = 1.05$	Classe 4
$\gamma_{M2} = 1.20$	Sez. nette
$E_s = 210000\,\text{MPa}$	Modulo elastico
$\rho_s = 78.50\,\text{kN/m}^3$	Densità
$\nu = 0.3$	Coeff. di Poisson
$\alpha_s = 12 \cdot 10^{-6}/°C$	Coeff. di dil. termica



SLU (Stato Limite Ultimo) :

$$f_{sd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1.05} = 261.90\,\text{MPa} \qquad \text{Sez cl. 1,2,3}$$

$$\tau_{sd} = \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{275/\sqrt{3}}{1.05} = 151.21\,\text{MPa} \qquad \text{Taglio sez cl. 1,2,3}$$

Per il legame costitutivo si faccia riferimento allo schema seguente.

▶ Saldature a cordoni d'angolo

$\gamma_{Mw\,a} = 1.35$ Coeff. di sicurezza del materiale

▶ Saldature a completa penetrazione

$\gamma_{Mw\,l} = 1.05$ Coeff. di sicurezza per I classe

▶ **Bulloni: Classe 8.8**

$f_{yb} = 640\,\text{MPa}$ Resistenza a snervamento

$f_{ub} = 800\,\text{MPa}$ Resistenza a rottura

$\gamma_{Mb} = 1.35$ Coeff. di sicurezza del materiale

SLU (Stato Limite Ultimo) :

$$f_{bd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_{Mb}} = \frac{640}{1.35} = 474\,\text{MPa}$$ Resistenza di progetto a trazione

$$\tau_{bd} = \frac{f_{yb}/\sqrt{3}}{\gamma_{Mb}} = \frac{640/\sqrt{3}}{1.35} = 274\,\text{MPa}$$ Resistenza di progetto a taglio

8. Analisi dei carichi

Di seguito si riporta un'analisi dei carichi utilizzati per il calcolo delle membrature portanti:

8.1. Carichi permanenti [G]

I carichi permanenti riguardano azioni che agiscono durante tutta la vita della costruzione e la loro variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo.

In genere tale categoria riguarda carichi da peso proprio degli elementi strutturali o da carichi permanenti portati.

8.1.1. Carichi permanenti da peso proprio [G_1]

Per la determinazione dei pesi propri dei più comuni materiali possono essere assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 13.

Tab. 13: Peso proprio materiali

Materiali	PS [kN/m^3]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24.0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25.0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14.0 ÷ 20.0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28.0 ÷ 50.0
Malta di calce	18.0
Malta di cemento	21.0
Calce in polvere	10.0
Cemento in polvere	14.0
Sabbia	17.0
Metalli e leghe	
Acciaio	78.5
Ghisa	72.5
Alluminio	27.0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17.0
Calcare compatto	26.0
Calcare tenero	22.0
Gesso	13.0
Granito	27.0
Laterizio (pieno)	18.0
Legnami	
Conifere e pioppo	4.0 ÷ 6.0
Latifoglie (escluso pioppo)	6.0 ÷ 8.0
Sostanze varie	
Acqua dolce (chiara)	9.81
Acqua di mare (chiara)	10.1
Carta	10.0
Vetro	25.0

8.1.2. Carichi permanenti sempre presenti [G_{21}]

Sono carichi derivanti da elementi non strutturali ma sempre presenti sulla struttura (es. sottofondi, pareti, impianti, ecc.)

8.2. Azioni Variabili [Q]

I carichi variabili riguardano azioni che agiscono temporaneamente durante la vita della costruzione con variazione di intensità nel tempo.

In tale categoria possiamo distinguere:

- carichi antropici: dovuti all'azione dell'uomo
- carichi ambientali: dovuti all'influenza dell'ambiente in cui è inserita la costruzione
- carichi accidentali: dovuti ad eventi eccezionali (incendio, urti, . . .)

8.2.1. Azioni Variabili Antropiche [Q]

Le azioni variabili antropiche sono prodotte da azioni conseguenti all'uso della struttura secondo gli scopi per la quale è stata progettata e costruita.

Nella Tab. 14 si riporta una sintesi dei carichi variabili suddivisi per tipologie di ambienti come da NTC2018.

Tab. 14: Carichi variabili

Categ.	Ambienti	q_k[kN/m^2]	Q_k[kN]	H_k[kN/m]
	Ambienti ad uso residenziale			
A	Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi, (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2.0	2.0	1.0
	Uffici			
B1	Uffici non aperti al pubblico	2.0	2.0	1.0
B2	Uffici aperti al pubblico	3.0	2.0	1.0
	Ambienti suscettibili di affollamento			
C1	Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole.	3.0	2.0	1.0
C2	Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4.0	4.0	2.0
C3	Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune.	5.0	5.0	3.0
	Ambienti ad uso commerciale			
D1	Negozi	4.0	4.0	2.0
D2	Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie.	5.0	5.0	2.0
	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.			
E1	Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri.[1]	$\geq$6.0	6.0	1.0
E2	Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso.	-	-	-
	Rimesse e parcheggi			
F	rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN.[2]	2.5	2x10.0	1.0
G	Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso.	-	-	-
	Coperture e sottotetti			
H1	Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0.5	1.2	1.0
H2	Coperture praticabili (Secondo categoria di appartenenza)	-	-	-
H3	Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso.	-	-	-

8.2.2. Azioni Variabili Ambientali e Naturali [Q]

Le azioni variabili ambientali riguardano carichi dipendenti dal sito nel quale la costruzione è collocata e sono ad esempio prodotti da vento, neve, sisma, azione termica, moto dei fluidi e/o ondoso del mare, ecc. . I fenomeni naturali sono funzione del tempo e di carattere ciclico. La loro definizione avviene in un contesto spazio-temporale ed in genere l'intensità dell'azione è introdotta per una prefissata vita di riferimento (V_R).

■ Azione del Vento

L'effetto del vento si valuta secondo quanto indicato in **Nuove NTC 2018** approvate con DM 14.01.2018 e pubblicate nella G.U. del 4.02.08 e in **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018 .

La **pressione del vento** agente in direzione x e in direzione y è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d \tag{12}$$

Intendendo con:

- q_b = pressione cinetica di riferimento
- c_e = coefficiente di esposizione
- c_p = coefficiente di forma
- c_d = coefficiente dinamico

Per quanto riguarda la **pressione cinetica di riferimento**

$$q_b = \frac{v_b^2}{2} \cdot \rho \tag{13}$$

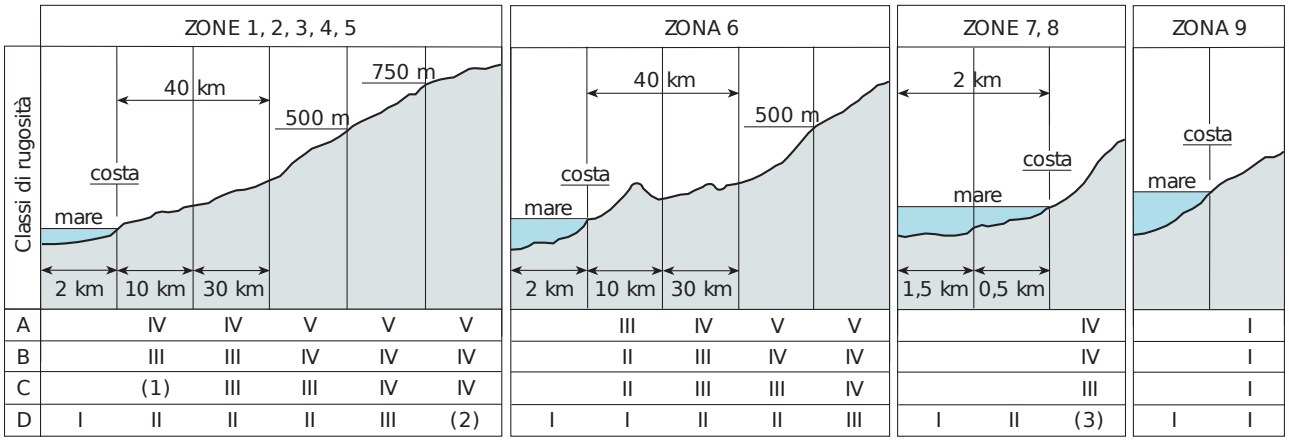
Nella quale:

- v_b = velocità di riferimento del vento in m/s
- ρ = densità dell'aria 1.25 kg/m^3

Essa dipende dalla zona del territorio italiano in cui ricade la costruzione (v. Fig. 1)

$$v_b = v_{b,0} \text{ per } a_s \leq a_0 \tag{14}$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) \text{ per } a_s > a_0 \tag{15}$$



(1) Categoria II in zone 1,2,3,4
Categoria III in zona 5

(2) Categoria III in zone 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1

(3) Categoria II in zona 8
Categoria III in zona 7

Fig. 6: Zone vento

Per il calcolo del coeff. di esposizione si utilizzano le formule seguenti

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \text{ per } z \geq z_{min} \tag{16}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \text{ per } z < z_{min} \tag{17}$$

Il **coefficiente di forma** C_p si valuta considerando che la costruzione è a pianta rettangolare con copertura piana.

$c_p^{(+)} = +0.8$ per elementi sopravento

$c_p^{(-)} = -0.4$ per elementi sottovento

$c_p^{(tot)} = +1.2$ in totale

Il **coefficiente dinamico** c_d si valuta facendo riferimento alla Circolare Ministeriale suddetta. A favore di sicurezza si considera il massimo valore di c_d, pari a 1.0. A favore di sicurezza si considera il coeff. di topografia c_t, pari a 1.0.

Nel caso in oggetto consideriamo:

⇒ Regione: **Lombardia**

⇒ Zona: **1**

- $v_{ref,0} =$ **25.00** m/s
- $a_0 =$ **1000.00** m
- $K_a =$ **0.010** $1/s$

⇒ Classe di rugosita': **B** - Aree urbane non di classe A, suburbane, industriali e boschive

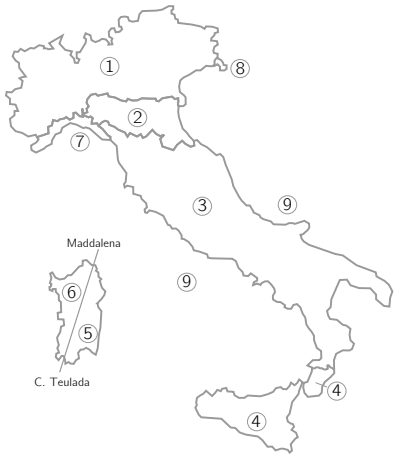
⇒ Altezza media s.l.m.: $a_s =$ **140.00** m

⇒ Distanza dalla costa: **43000.00** m

⇒ Altezza massima edificio: $z_{max} =$ **3.50** m

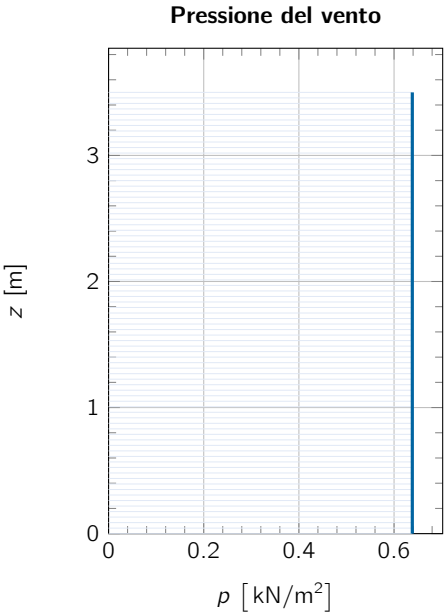
⇒ Categoria di esposizione: **IV**

- $K_r =$ **0.22**
- $z_0 =$ **0.30** m
- $z_{min} =$ **8.00** m



Calcolando la pressione del vento a quote significative si ottiene:

z [m]	$C_e(z)$	C_p	C_d	q_{ref} $[kN/m^2]$	$p(z)$ $[kN/m^2]$
3.50	1.63	1.00	1.00	0.39	**0.64**



■ Azione della Neve

L'effetto della neve si valuta secondo quanto indicato in **Nuove NTC 2018** approvate con DM 14.01.2018 e pubblicate nella G.U. del 4.02.08 e in **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018 .

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

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T \tag{18}$$

Intendendo con:

- q_s = è il carico neve sulla copertura;
- μ_i = è il coefficiente di forma della copertura;
- q_{sk} = è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m^2] per un periodo di ritorno di 50 anni;
- C_E = coefficiente di esposizione;
- C_T = coefficiente termico ;

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

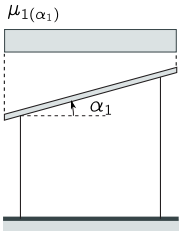
Utilizzato	Topografia	Descrizione	C_E
	Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	**0.9**
⇒	Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	**1.0**
	Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	**1.1**

Tab. 15: Coefficiente C_E

Il coeff. μ_i dipende dalla forma della copertura:

▶ Coperture a una falda

$$\mu_1 = \begin{cases} 0.8 & \text{se } 0 \leq \alpha \leq 30, \\ 0.8\dfrac{(60-\alpha)}{30} & \text{se } 30 < \alpha < 60 \\ 0.0 & \text{se } \alpha \geq 60 \end{cases}$$



Per quanto riguarda il **valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo**, esso si deduce sulla base della zonizzazione del territorio italiano e della quota s.l.m. del sito.

■ Zone neve

Zona I - Alpina
Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza

$$q_{sk} = \begin{cases} 1.50\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s \leq 200\,\text{m}, \\ 1.39[1+(a_s/728)^2]\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s > 200\,\text{m} \end{cases}$$

Zona I - Mediterranea
Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese

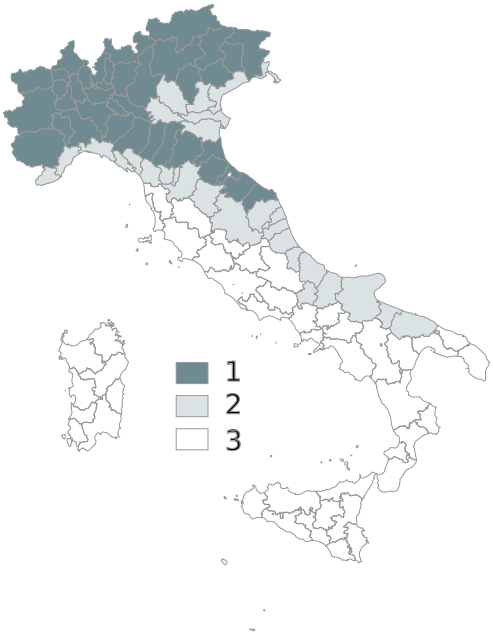
$$q_{sk} = \begin{cases} 1.50\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s \leq 200\,\text{m}, \\ 1.35[1+(a_s/602)^2]\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s > 200\,\text{m} \end{cases}$$

Zona II
Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

$$q_{sk} = \begin{cases} 1.00\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s \leq 200\,\text{m}, \\ 0.85[1+(a_s/481)^2]\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s > 200\,\text{m} \end{cases}$$

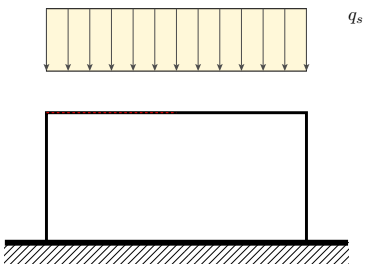
Zona III
Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanisetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

$$q_{sk} = \begin{cases} 0.60\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s \leq 200\,\text{m}, \\ 0.51[1+(a_s/481)^2]\,\text{kN/m}^2 & \text{se } a_s > 200\,\text{m} \end{cases}$$



▶ *Calcolo neve*

Copertura a una falda



Calcolo carico da neve:

Zona: **IM**

$$a_s = 140.0\,\text{m altezza s.l.m.}$$
$$\alpha_1 = 0.0^\circ$$
$$q_{sk} = 1.50\,\text{kN/m}^2$$
$$\mu_{1(\alpha_1)} = 0.80$$
$$q_s = \mu_{1(\alpha_1)} \cdot q_{sk} = 0.80 \times 1.50 = 1.20\,\text{kN/m}^2$$

■ Azione Sismica

Per valutare le azioni simiche è necessario stabilire alcuni parametri riguardanti la **vita nominale della struttura** e la **classe d'uso** definite in Tab. 1 a pagina 3 e Tab. 2 a pagina 4.

Operativamente, le azioni sismiche si determinano sulla base del seguente schema a blocchi. Si riportano di seguito, per maggior chiarezza, i dati già dichiarati in § 2.1 a pagina 3 e in § 2.2 a pagina 4 relativi al tipo di costruzione ed al sito in oggetto.

Per il sito ci si riferisce alle seguenti coordinate:

- lat: **45.454056**
- lon: **9.245737**

Per la costruzione in oggetto si stabilisce:

- Categoria suolo: **C**
- Categoria topografica: **T1**
- classe d'uso: **II**
- Coeff. d'uso: $C_u = 1.000$
- vita nominale: $V_N = 50$ anni
- vita di riferimento: $V_R = V_N \cdot C_u = 50$ anni (se $V_R \leq 35$ si pone $V_R = 35$ anni)

In base alla vita di riferimento si calcolano i periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento dei carichi per i 4 stati limite:

- **SLO** Stato Limite di esercizio (sisma presente): **O**perativiti¿$\frac{1}{2}$
- **SLD** Stato Limite di esercizio (sisma presente): **D**anno della struttura in condizioni sismiche
- **SLV** Stato Limite ultimo (sisma presente): salvaguardia della **V**ita
- **SLC** Stato Limite ultimo (sisma presente): **C**ollasso della struttura

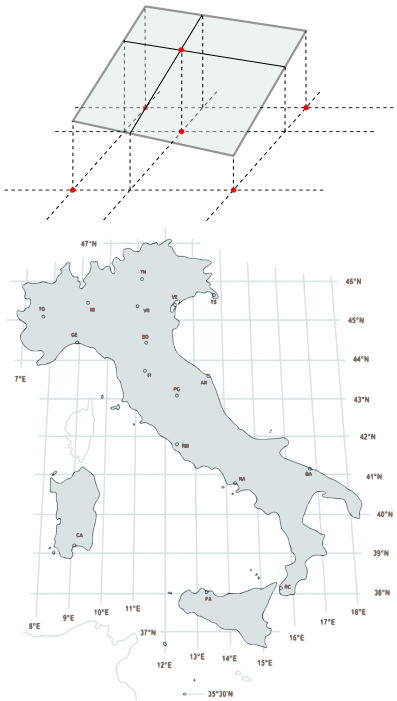
Nella Fig. 2a nella pagina seguente si nota il raffronto con i periodi di riferimento in rosso per vita di riferimento 50 anni per i 4 stati limite).

La strategia di progettazione consiste nel considerare periodi di ritorno superiori ai minimi di riferimento per i vari stati limite.

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} \text{ periodi di ritorno alle varie } P_{V_R}$$

$P_{V_R} = [81\%, 63\%, 10\%, 5\%]$ rispettivamente per SLO, SLD, SLV, SLC

I dati $a_g\, F_0\, T_c^*$ sono mappati in 10751 punti sul territorio e per periodi standard $[30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475]$ anni.



Per ricavare tali parametri nel punto esattamente considerato e nei periodi di ritorno corrispondenti a SLO, SLD, SLV, SLC occorre eseguire una doppia interpolazione:

- una prima interpolazione sul quadrilatero che contiene il punto considerato per ricavare $a_g\, F_0\, T_c^*$ nel punto esatto per i periodi di ritorno standard $[30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475]$ anni.
- una seconda interpolazione lineare in scala logaritmica per ricavare $a_g\, F_0\, T_c^*$ nei periodi di ritorno corrispondenti a SLO, SLD, SLV, SLC per la V_R effettivamente considerata

Nel primo caso è necessario individuare i 4 punti intorno a quello considerato e ricavare i tre parametri $a_g\, F_0\, T_c^*$ per periodi standard $[30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475]$ anni.
Nel secondo caso, si esegue per ogni parametro $a_g\, F_0\, T_c^*$ una interpolazione lineare in scala logaritmica per ricavare i tre valori nei periodi di ritorno corrispondenti a SLO, SLD, SLV, SLC (v. Fig. 2b, Fig. 2c, Fig. 2d).

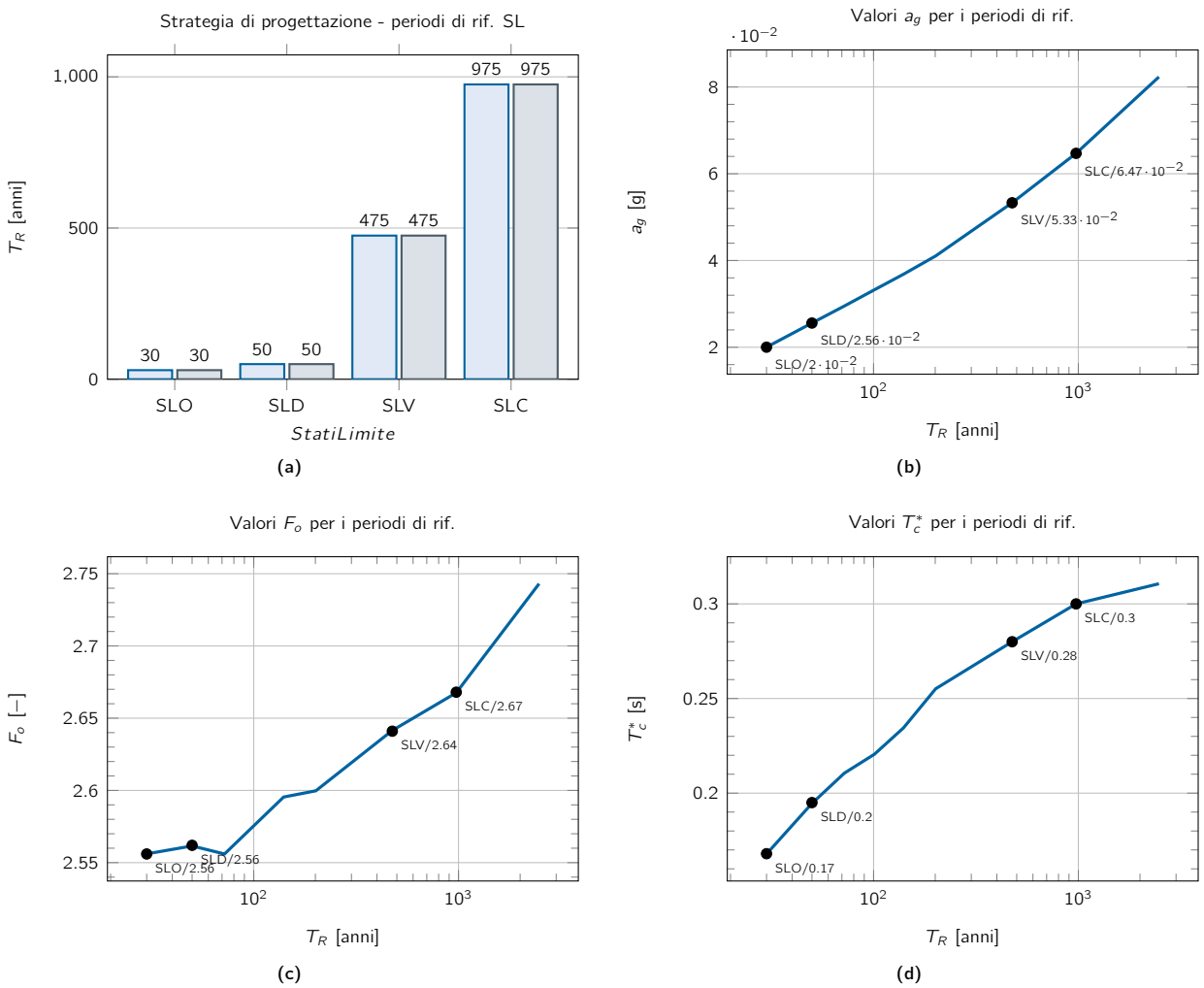


Fig. 7: Parametri di progetto dell'azione sismica

Ricavati i valori $a_g\, F_0\, T_c^*$ si possono tracciare gli **spettri di risposta** corrispondenti a SLO, SLD, SLV, SLC per forze orizzontali e verticali.

▶ *Forze orizzontali*

Innanzitutto si tracciano gli **spettri elastici** riportati in Fig. 3a nella pagina seguente.

Per forze orizzontali:

$$S_{he(T)} = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\dfrac{T}{T_B} + \dfrac{1}{\eta F_0}\left(1 - \dfrac{T}{T_B}\right)\right] & 0 \leq T < T_B \\ a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 & T_B \leq T < T_C \\ a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\dfrac{T_C}{T}\right) & T_C \leq T < T_D \\ a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\dfrac{T_C T_D}{T^2}\right) & T_D \leq T \end{cases}$$

dove:

- $a_g\, F_0\, T_C^*$ parametri corrispondenti allo SL considerato
- $T_B = T_C/3$ periodo corrispondente all'inizio del tratto ad **accelerazione costante**
- $T_C = C_C T_C^*$ periodo corrispondente all'inizio del tratto a **velocità costante**
- $T_D = 4.0\dfrac{a_g}{g} + 1.6$ periodo corrispondente all'inizio del tratto a **spostamento costante**
- $S = S_S \cdot S_T$ è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
- $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55$ è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ (espresso in percentuale) diversi dal 5%

In base alla categoria di sottosuolo e alla categoria topografica del sito si ricavano:

Coeff. funzione della categoria di sottosuolo:

$$C_C = \begin{cases} 1.00 & \text{cat. sottosuolo A} \\ 1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20} & \text{cat. sottosuolo B} \\ 1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33} & \text{cat. sottosuolo C} \\ 1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50} & \text{cat. sottosuolo D} \\ 1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40} & \text{cat. sottosuolo E} \end{cases}$$

Coeff. di amplificazione stratigrafica:

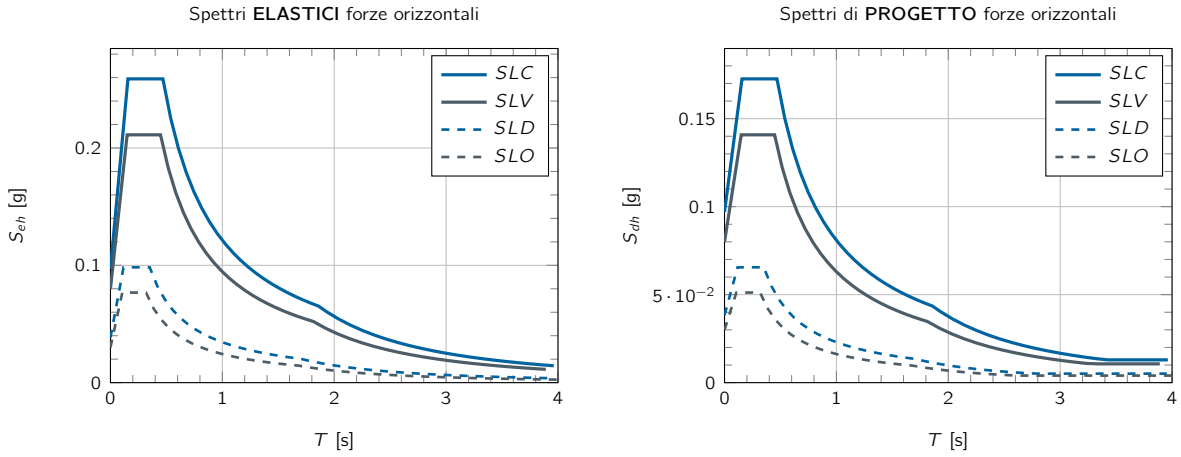
$$S_S = \begin{cases} 1.00 & \text{cat. sottosuolo A} \\ 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \dfrac{a_g}{g} \leq 1.20 & \text{cat. sottosuolo B} \\ 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \dfrac{a_g}{g} \leq 1.50 & \text{cat. sottosuolo C} \\ 0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \dfrac{a_g}{g} \leq 1.80 & \text{cat. sottosuolo D} \\ 1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \dfrac{a_g}{g} \leq 1.60 & \text{cat. sottosuolo E} \end{cases}$$

Coeff. di amplificazione topografica:

$$S_T = \begin{cases} 1.00 & \text{cat. top. T1} \\ 1.20 & \text{cat. top. T2 sommità del pendio} \\ 1.20 & \text{cat. top. T3 cresta del rilievo} \\ 1.40 & \text{cat. top. T4 cresta del rilievo} \end{cases}$$

Dagli spettri elastici si ricavano gli **spettri di progetto** riportati in Fig. 3b nella pagina successiva sostituendo $\eta = 1/q$ fattore di struttura.

Il fattore di struttura dipende dal tipo di tecnologia costruttiva.



(a) (b)

Fig. 8: Spettri forze orizzontali

$$S_{hd\,(T)} = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\frac{1}{q} F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] & 0 \leq T < T_B \\ a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 & T_B \leq T < T_C \\ a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) & T_C \leq T < T_D \\ a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) & T_D \leq T \end{cases}$$

$$S_{hd\,(T)} \geq 0.2 a_g \qquad\qquad q = K_r q_0$$

dove:

- q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- K_r è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

8.3. Sintesi carichi

Di seguito si riportano le sintesi dei carichi :

Peso proprio materiali:		
Peso proprio c.a.:	**25.0**	kN/m^3
Peso proprio carpenteria acciaio:	**78.5**	kN/m^3

Copertura		
Peso proprio solaio:	**0.50**	kN/m^2
Carico Permanente:	**0.30**	kN/m^2
Carico Variabile:	**1.20**	kN/m^2

A. Dichiarazione del progettista

Il sottoscritto **Dott. Ing. Andrea Vago**, *in qualità di Calcolatore delle Opere strutturali in oggetto, univocamente identificate, nonché verificate nella presente relazione di calcolo:*

DICHIARA

- *che tutte le strutture in oggetto sono state calcolate e progettate a norma delle vigenti disposizioni di legge;*
- *che gli elaborati di dettaglio sono completi e sufficienti ad indicare e definire le opere da eseguire;*
- *che i materiali di cui si è previsto l'impiego sono idonei in funzione delle sollecitazioni specifiche massime assunte a base del calcolo.*

Inoltre, tutte le strutture oggetto di verifica sono state ipotizzate sempre a favore di sicurezza, con funzionamento in accordo con i normali metodi della Scienza delle Costruzioni con l'uso di tipologie, codici di calcolo, formule, tabelle, coefficienti etc. di provata affidabilità tecnica e con schematizzazioni di immediata e conservativa traduzione matematica, onde ottenere valori attendibili e paragonabili con le sollecitazioni resistenti di progetto.

Il Prog. delle Opere Strutturali
(timbro e firma)