



REGIONE MARCHE  
**COMUNE DI MONTEPRANDONE**  
Settore 2°: Lavori Pubblici- Tecnico - Manutentivo



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU

PNRR "Missione 4 " - C1-1.1

REALIZZAZIONE DEL NUOVO ASILO NIDO DI MONTEPRANDONE

CUP G55E24000270006



FASE:

**PROGETTO ESECUTIVO**

SERIE:

DESCRITTIVI

DESCRIZIONE:

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA PER  
LE OPERE STRUTTURALI

COD.  
PROGETTO:

P AP 24 004 P

NOME FILE

24004\_RL\_504.pdf

IDENTIFICATIVO ELABORATO

RL 504

SCALA

—

PLOT

1=1

Progettisti:



TERAMO - zona industriale S. Atto snc - 64100  
tel. (+39) 0861/1954832

Certificazioni: ISO 9001:2015 - ISO 14001:2015 - ISO 45001:2018

RESPONSABILI DELLA PROGETTAZIONE

Ing. Raffaele Di Gialluca (Coordinatore)

Ing. Pasquale Di Egidio (Direttore Tecnico)

ESPERTO GESTIONE ENERGIA (UNI CEI 11339)

Ing. Domenico Rapagnani

COLLABORATORI PROMEDIA SRL

Arch. Ercole Volpi

Arch. Gianluca Di Paolo

Arch. Nicola Ciarelli

Arch. Danilo Soares Vinhote Costa

Arch. Alessia Paesani

Ing. Massimo Referza

Ing. Paolo Coccia

Ing. Davide Fioretti

Ing. Elena Socievole

Ing. Matteo Di Berardino

P.Ind. Pierluigi Faragalli

Geom. Amedeo Maria Bizzarri

Geom. Ilenia Di Marco

Geom. Luigi Ridani

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Geom. Pino Cori

revisione	data	riferimento revisione	eseguito	controllato	approvato
0	Settembre 2024	Emissione	<i>DF</i>	<i>PDE</i>	<i>RDC</i>

## INDICE

PREMESSA.....	2
DESCRIZIONE GENERALE.....	3
MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	4
NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI .....	7
CONDIZIONI ELEMENTARI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	9
SOFTWARE DI CALCOLO.....	15
SINTESI DEI RISULTATI .....	25

## **PREMESSA**

Nel presente documento si espongono i criteri di progettazione strutturale di un nuovo edificio ad uso scolastico da realizzare nel comune di Monteprandone.

Nella relazione sono, inoltre, illustrate le caratteristiche, le qualità e le dosature dei materiali che verranno impiegati nella costruzione delle strutture.

Costituiscono parte integrante della progettazione strutturale dell'opera gli elaborati grafici, i particolari costruttivi, le tabelle ed ogni altro documento sussidiario delle relazioni tecniche e di calcolo.

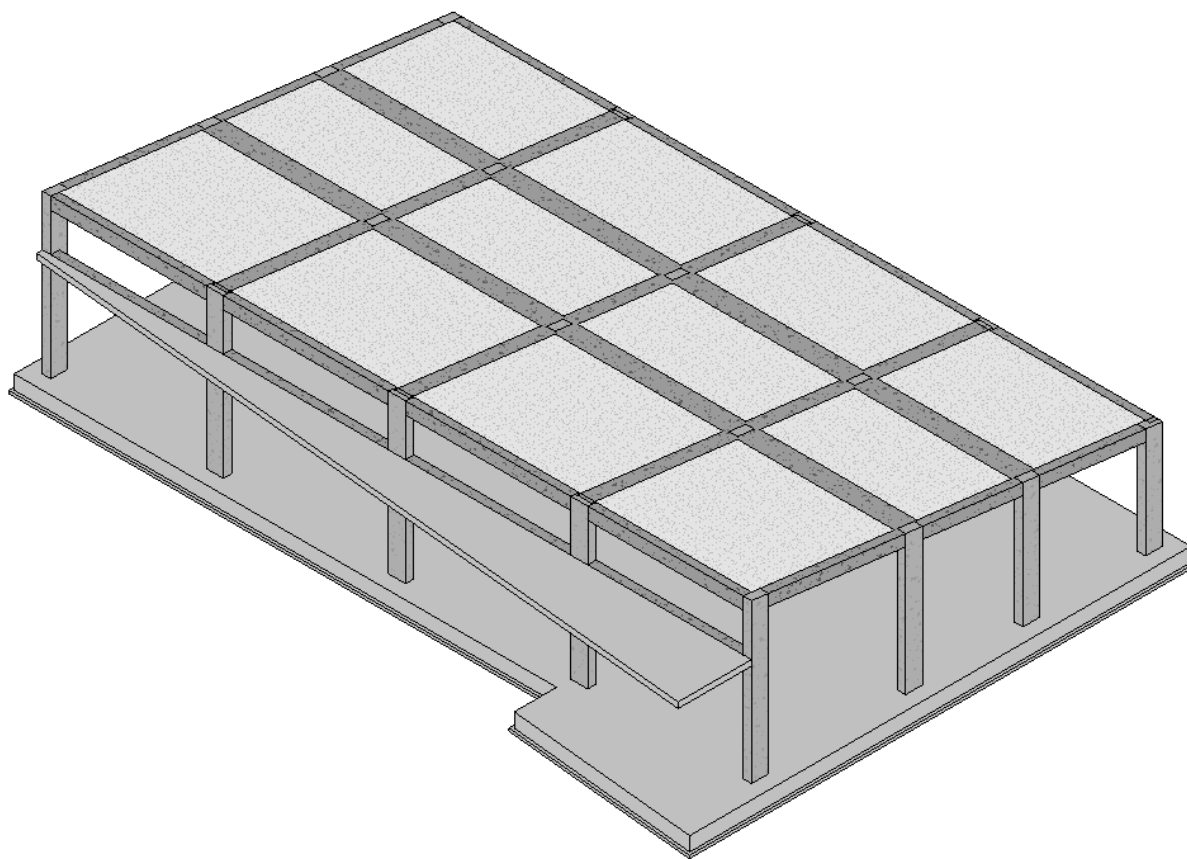
## **DESCRIZIONE GENERALE**

Il corpo strutturale è costituito da un totale di 1 impalcato, la copertura, costituito da un solaio in laterocemento 20+5.

Per quanto riguarda le strutture in elevazione, il corpo strutturale è costituito da una struttura a telaio, con pilastri 30x60, travi a spessore 80x25 e 50x25, e travi calate 30x40.

Nella parte frontale è presente una soletta a sbalzo dello spessore 20cm collegata ad una trave 30x40.

L'edificio è fondato su una fondazione di tipo diretto a platea dello spessore pari a 40cm.

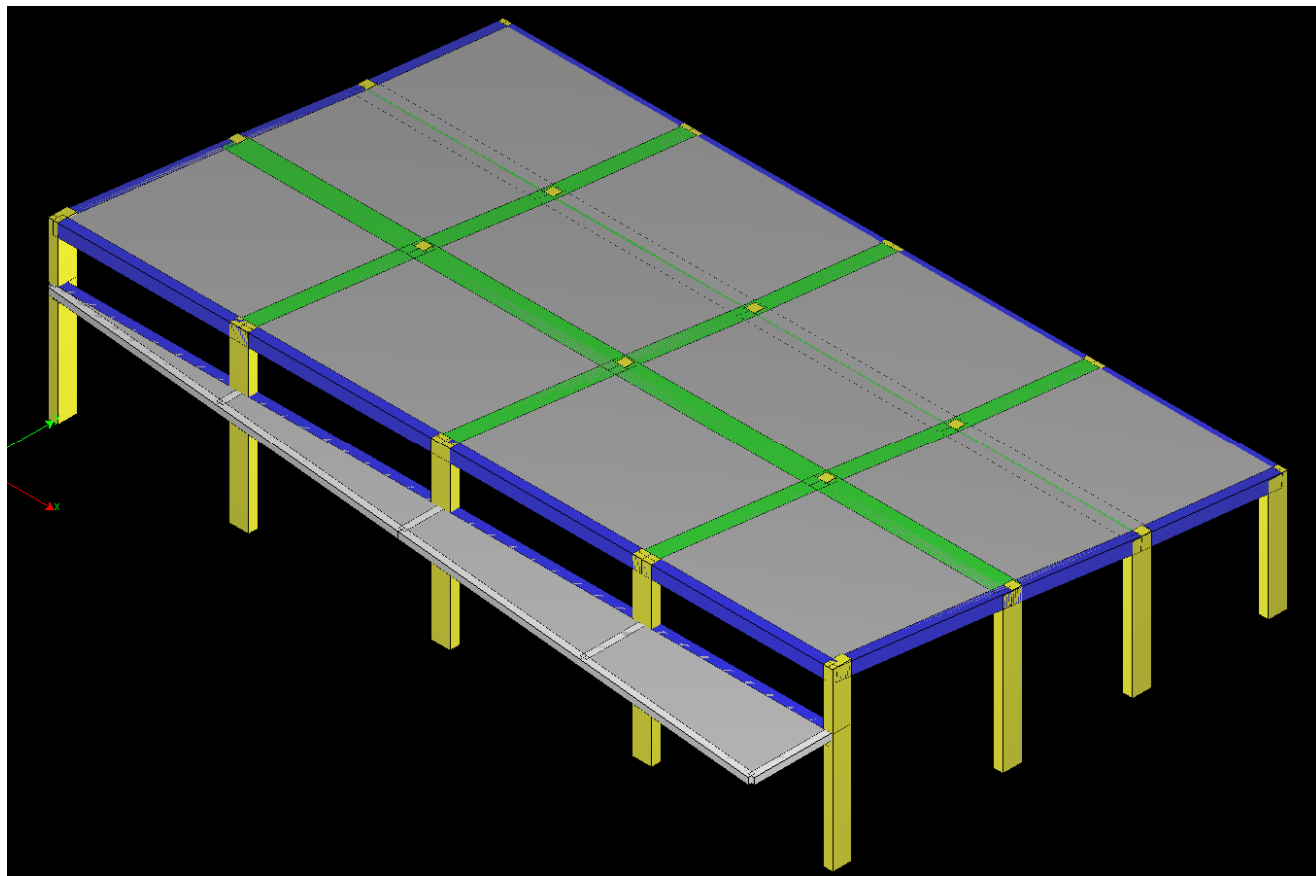


*Modello BIM strutturale*

## MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il corpo strutturale è stato modellato utilizzando elementi Beam per travi e pilastri, ed elementi Shell per i setti, ed inserendo un diaframma rigido di piano a quota di ciascun impalcato, essendo dotati di soletta di 5cm.

La struttura in elevazione è stata calcolata come incastrata alla base. La fondazione è stata invece calcolata modellando la platea con elementi shell su suolo elastico alla Winkler, modellando la rigidità delle molle in base alla stratigrafia del terreno, come riportato nella relazione geotecnica.



*Modello di calcolo*

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I criteri di progettazione, dimensionamento e verifica sono conformi alle seguenti direttive: **LEGGI, DECRETI E CIRCOLARI**

- D.M. 09/03/2007 – “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei vigili del fuoco”
- L. 05/11/1971, n° 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- L. 02/02/1974, n° 64 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/03 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.M. 16/02/2007 – “Classificazione e resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”.
- D.M. 17/01/2018 – “Norme tecniche per le costruzioni”.
- “Circolare 21/01/2019 n° 7”

### **Norme nazionali**

- Istruzioni C.N.R. 10011/97 – “Costruzioni in acciaio- Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione il collaudo e la manutenzione”.
- Istruzioni C.N.R. 10025/98 – “Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo”.
- UNI EN 1194: 31/10/2000 – “ Strutture di legno - Legno lamellare incollato – Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici”.
- UNI 9502/2001 – “Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale, e precompresso”.
- UNI 11035-2: 01/02/2003 – “ Legno strutturale- Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname utilizzati”.
- UNI EN 338: 01/12/2004 – “ Legno strutturale – classi di resistenza “.
- UNI EN 11104:2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- UNI EN 1912: 01/05/2005 – “ Legno strutturale – Classi di resistenza- Assegnazione delle categorie visuali e delle specie “.
- UNI EN 206-1/2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione produzione e conformità”.

***Normativa europea ed internazionale***

- UNI EN 1990 - Eurocodice – *“Criteri generali di progettazione strutturale”*.
- UNI EN 1992 - Eurocodice 2 – *“Progettazione delle strutture di calcestruzzo”*.
- UNI EN 1993 - Eurocodice 3 – *“Progettazione delle strutture di acciaio”*.
- UNI EN 1994 - Eurocodice 5 – *“Progettazione delle strutture in legno”*.
- UNI EN 1997 - Eurocodice 7 – *“Progettazione geotecnica”*.

## **CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI**

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

### **ACCIAIO**

#### **Acciaio per armatura delle strutture in calcestruzzo**

Barre ad aderenza migliorata in acciaio laminato a caldo tipo B450 C secondo UIN EN ISO 9001:2000, accertato secondo UNI EN ISO 15630-1:2004:

Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5 \%$

Le superfici metalliche dovranno distare dalle facce esterne del conglomerato di almeno cm. 2 per le solette e di almeno cm. 3 per le strutture in elevazione (pilastri e travi); sulle tavole esecutive sono comunque esplicitamente riportate le dimensioni dei copriferri dei principali elementi strutturali. Le superfici delle barre saranno distanziate in ogni direzione di almeno 1,5 volte il diametro delle barre stesse e in ogni caso non meno di cm. 2.



## **CALCESTRUZZO**

### **Calcestruzzo per fondazioni**

Classificazione secondo norma UNI-EN 206-1 e UNI 11104

- Classe di resistenza del calcestruzzo C 25/30
- Classe di abbassamento al cono (slump) S4
- Dimensione massima dell'inerte  $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- Classe di esposizione XC2
- Resistenza cubica caratteristica a 28 gg  $R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
- Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg  $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$

### **Calcestruzzo per elevazioni**

Classificazione secondo norma UNI-EN 206-1 e UNI 11104

- Classe di resistenza del calcestruzzo C 32/40
- Classe di abbassamento al cono (slump) S4
- Dimensione massima dell'inerte  $D_{max} = 20 \text{ mm}$
- Classe di esposizione XC3
- Resistenza cubica caratteristica a 28 gg  $R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
- Resistenza cilindrica caratteristica a 28 gg  $f_{ck} \geq 32 \text{ MPa}$

## CONDIZIONI ELEMENTARI E COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica degli elementi strutturali seguono il Metodo Semi-Probabilistico agli Stati Limite. Le condizioni elementari di carico vengono cumulate secondo combinazioni di carico tali da risultare le più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, determinando quindi le azioni di calcolo da utilizzare per le verifiche agli Stati Limite.

### **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO PROPRIO DI RIFERIMENTO**

#### VITA NOMINALE

I valori minimi di vita nominale  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tab 2.4.I delle NTC2018, di seguito riportata:

**Tab. 2.4.I** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Si evidenzia che, ai sensi e per gli effetti del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'uso, e non dalla vita nominale.

Fatte queste premesse, per il fabbricato in oggetto, si assume una vita nominale  $V_N = 100$ anni,

#### CLASSE D'USO

Il fabbricato ricade in **Classe IV:  $C_u=2$**

#### PERIODO DI RIFERIMENTO

Il periodo di riferimento per l'azione sismica corrisponde dunque a:

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \times 2 = 200 \text{ anni}$$

## **CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO**

Le condizioni elementari di carico sono: peso proprio, carichi permanenti, carichi variabili, coazioni e sisma. I carichi permanenti e variabili sono quelli indicati nelle NTC2018 e successive istruzioni per l'applicazione.

### **ANALISI DEI CARICHI**

I pesi propri degli elementi strutturali inseriti nei modelli di calcolo sono autodeterminati dal programma, in funzione delle dimensioni e del peso specifico del materiale:  $\gamma_{cls}$ , armato = 25 kN/m<sup>3</sup>.

I carichi permanenti strutturali e non strutturali vengono computati, nel modello di calcolo, come masse afferenti gli elementi strutturali ai quali sono applicati.

Nelle pagine seguenti si riporta l'analisi dei carichi per ognuno degli impalcati:

Analisi carichi copertura			
Elemento	Peso [kg/m <sup>3</sup> ]	Spessore [m]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]
Solaio Laterocemento			325
<b>TOTALE G1</b>			<b>325</b>
Controsoffitto e Impianti			30
Pannello sandwich			15
intonaco	2000	0.015	30
Fotovoltaico			25
<b>TOTALE G2</b>			<b>100</b>
Copertura H			50
<b>TOTALE Q</b>			<b>50</b>

Analisi carichi sbalzo			
Elemento	Peso [kg/m <sup>3</sup> ]	Spessore [m]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]
Soletta 20cm			500
<b>TOTALE G1</b>			<b>500</b>
Massetto pendenze	1200	0.075	90
isolamenti			10
<b>TOTALE G2</b>			<b>100</b>
Copertura H			50
<b>TOTALE Q</b>			<b>50</b>

## NEVE

Il carico provocato dalla neve sulla copertura è valutato, in base alle prescrizioni riportate nel D.M. 14/01/2018, mediante la seguente espressione:

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

Dove, per il fabbricato in esame, si andranno a considerare i seguenti valori:

1.  $\mu_i = 0,8$

In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione, i valori nominali del coefficiente di forma  $\mu_i$  delle coperture ad una o a due falde possono essere ricavati dalla Tab. 3.4.II, essendo  $\alpha$ , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Per  $q_{sk}$ : vista l'altitudine del sito di 280 mslm, si andrà a considerare la seguente formulazione:

### Zona II

Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Grosseto, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

2.  $q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$

$a_s > 200 \text{ m}$

Si ricava, dunque, il valore di  **$q_{sk}$ : 1,13 kN/m<sup>2</sup>**

3.  $C_E = 1$

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati di questo coefficiente sono forniti in Tab. 3.4.I per diverse classi di esposizione. Se non diversamente indicato, si assumerà  $C_E = 1$ .

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

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

4.  $C_T = 1$

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

**$Q_s$ :  $0,8 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1 = 0.91$**

Per il calcolo è stato utilizzato un carico neve pari a 95 kg/m<sup>2</sup>.

## Carichi di esercizio

I carichi variabili sono prescritti dalla Normativa vigente e correlati alla destinazione d'uso dei locali. I valori dei carichi sono indicati in tabella 3.1.II, di seguito riportata.

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

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale</b>			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	<b>Uffici</b>			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b>			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

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

In virtù della succitata tabella il carico d'esercizio scelto per l'impalcato di copertura è

- Cat. H per la copertura (50kg/mq)

### SISMA

La verifica sismica dell'opera in oggetto viene eseguita secondo le indicazioni delle Norme Tecniche sulle Costruzioni. Si esegue una ricerca per coordinate del sito oggetto d'intervento ricadente nel comune di **Monteprandone**. Le coordinate sono indicate nei tabulati. La struttura è stata progettata in Classe di Duttilità Bassa (CDB)

### **Parametri sismici di riferimento**

Si è fatto riferimento allo studio di risposta sismica locale allegato.

### **Fattore di struttura (Q)**

Il fattore di struttura (q) è il parametro che da indicazioni sulle proprietà di dissipazione energetica delle strutture soggette all'azione sismica.

Il valore di tale parametro, da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \cdot K_w$$

dove:

$q_0$  : è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  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.

L'edificio è una struttura a telaio, risulta regolare in pianta e regolare in altezza, per cui:

- $\alpha_u/\alpha_1 = 1.10$
- $K_R=1$  per costruzioni regolari in altezza
- $K_w=1$  (per strutture a telaio e miste equivalenti)

Il valore finale del fattore di struttura si può assumere pertanto pari a:

$$q = 3 * 1 * 1 * 1.05 = 3.30$$

### COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico adottate sono quelle previste dalla normativa tecnica vigente, e sono individuabili nella relazione di calcolo.

## SOFTWARE DI CALCOLO

Le elaborazioni mediante calcolatore sono state eseguite con l'ausilio dei seguenti programmi:

- WinStrand® ver. 2016/046 sviluppato da **En.Ex.Sys.** s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna). Questo software è utilizzato per l'analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare, il calcolo e la verifica di aste in acciaio e sezioni in calcestruzzo armato.

Il programma viene usato in forza di regolari licenze d'uso (Utente Promedia S.r.l. – Licenza n. 9642PRMDSN) e sono testati periodicamente mediante procedure di controllo codificate, tali da verificare l'attendibilità delle applicazioni e dei risultati ottenuti ed individuare eventuali vizi ed anomalie.

Si forniscono di seguito le ulteriori indicazioni richieste dal punto 10.2 del testo unico delle Norme Tecniche per le Costruzioni

### - En.Ex.Sys. WinStrand®

#### - Structural Analysis & Design

---

##### Ditta produttrice:

**En.Ex.Sys.** s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

---

##### Sigla:

WinStrand

---

##### Piattaforma software:

Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional

---

##### Documentazione in uso:

Manuale teorico - Manuale d'uso

---

##### Campo di applicazione:

Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

#### - Elementi finiti implementati

- Truss.
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastri).
- Travi su suolo elastico alla Winckler.
- Plinti su suolo elastico alla Winckler.
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

#### - Schemi di Carico

- Carichi nodali concentrati.
- Carichi applicati direttamente agli elementi.



- Carichi Superficiali.

#### - Tipo di Risoluzione

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDL<sup>T</sup>.
- Analisi Statica:
  - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
  - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
  - Via statica equivalente.
  - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

WinStrand è un software modulare indirizzato alla modellazione, analisi, verifica e disegno di sistemi strutturali 3D in acciaio e cemento armato, basato su proprio solutore indirizzato all'analisi di strutture civili a 1000 Nodi con la possibilità di essere esteso ad Infiniti Nodi.

Il **Codice non lineare** di *Enexsys* consente di analizzare una struttura in regime non lineare geometrico o materiale. La non linearità strutturale viene implementata sia modellando gli elementi in modo non lineare sia risolvendo in modo non lineare il sistema strutturale.

Il modulo di analisi non lineare comprende i seguenti elementi strutturali:

- elementi beam non lineari per geometria, per l'analisi di strutture a forte comportamento non lineare geometrico
- elementi beam per non linearità materiale a plasticità concentrata, per l'analisi di strutture per le quali sia ragionevole una modellazione che tralasci l'influenza dello sforzo assiale sul raggiungimento del momento ultimo nelle sezioni terminali monitorate (per es. travi in c.a)
- elementi beam per non linearità materiale a fibre, tipicamente impiegati nelle strutture in acciaio o in c.a. per l'analisi di pilastri o comunque di elementi per i quali non sia trascurabile l'influenza dello sforzo assiale sul comportamento a rottura delle sezioni trasversali degli elementi.

L'analisi complessiva della struttura che, dato il comportamento non lineare, procede per step di carico successivi, tiene comunque conto, anche per gli elementi elastici lineari connessi, della variazione della configurazione geometrica nel raggiungimento dell'equilibrio al termine di ogni passo di carico; viene sempre preso conseguentemente in considerazione l'effetto P-Δ strutturale globale.

Il **Codice non lineare** può impiegare diversi legami costitutivi per i materiali tra cui quelli che prevedono rami di carico e di scarico che possono essere impiegati per modellare elementi soggetti a carichi ciclici oppure quelli adatti a carichi monotoni.

Oltre alle classiche analisi statiche, è inoltre possibile svolgere delle analisi di tipo Push Over con output congruente con la normativa (OPCM 3274, NTC-DM205, NTC-DM2008) adottata nel progetto. Il codice di calcolo viene usato in forza di regolari licenze d'uso ed è testato periodicamente mediante procedure di controllo codificate, tali da verificare l'attendibilità delle applicazioni e dei risultati ottenuti ed individuare eventuali vizi ed anomalie.

Il programma è prodotto dalla **En.Ex.Sys.** s.r.l., 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 manuali operativi e documentazioni tecniche complete relativi a casi di prova, liberamente consultabili, che consentono un controllo ed un riscontro sull'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo. 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 sintetico 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.enexsys.com>.

## **AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO WINSTRAND**

Ditta produttrice: **En.Ex.Sys.** s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

Campo di applicazione: analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Il cap. 10 del Decreto del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 14 Gennaio 2008 fornisce le istruzioni relative alla **Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo**, cui il progettista delle strutture deve attenersi nella redazione degli elaborati progettuali.

Il punto 10.2 **Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo** specifica:

- *Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità.*

Nella fase di stesura della relazione di calcolo, utilizzando i tabulati provenienti da codici di calcolo, è demandato al progettista il compito di analisi preliminare della documentazione:

- *Il progettista dovrà esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.*

Il presente documento costituisce assieme alle stampe degli esempi documento di validazione dei software prodotti dalla *En.Ex.sys srl*.

## **Benchmark**

Il controllo della affidabilità delle analisi numeriche è stato condotto su una serie di esempi di letteratura la cui soluzione sia esprimibile in forma chiusa, allo scopo di verificare l'affidabilità del software.

## Test - Telaio piano

Documento relativo a:

**Fonte:** Timoshenko, **Strength of Material**, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 188

**Tipi di analisi:** statica lineare

**Descrizione schema statico:** Portale incastrato alla base dei ritti e caricato nella mezzeria del traverso con un carico concentrato P. Lo schema è staticamente indeterminato.

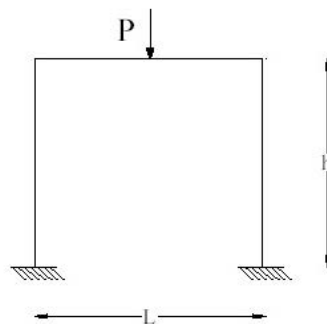


Fig. 1 Schema statico

**Obiettivo:** determinare le reazioni verticali alla base dei ritti. Si trascura il peso delle aste.

**Dati:**

$$E = 2068428 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$L = 3.04 \text{ [m]}$$

$$h = 2.54 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{rit}} = 25.80 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{\text{trav}} = 51.61 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$P = 0.45 \text{ [t]}$$

**Modello:** I due nodi alla base del portale vengono vincolati in modo da lasciare libera solo la rotazione Z. I nodi rimanenti sono completamente liberi. Il carico P viene applicato al nodo inserito in mezzeria del traverso.

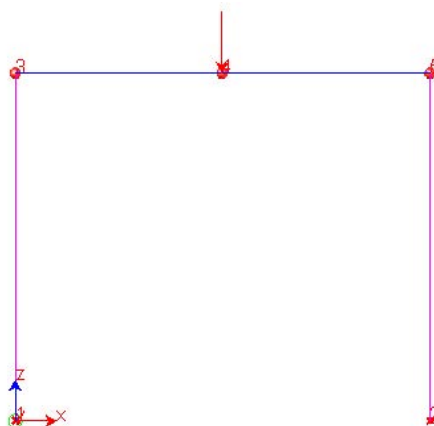


Fig. 2 Modello

#### Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R1 = R2$ [t]	0.225	0.225	1.000

#### Test - Flessione in una piastra circolare

Fonte: Cremonesi - **Manuale Ingegneria Civile**, ESAC, SEZ. II, pag. 114

**Tipi di analisi:** statica lineare

**Descrizione schema statico:** Piastra circolare sottile di raggio **a** e spessore **t** soggetta a diverse condizioni di vincolo sul contorno e di carico.

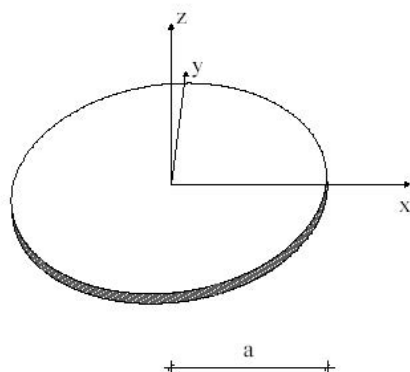


Fig. 1 Schema statico

**Obiettivo:** determinare l'abbassamento **w** del centro della piastra, trascurando il peso della piastra, nei seguenti casi:

- carico uniformemente distribuito  $q_0$  su tutta la piastra e contorno incastrato;
- carico concentrato  $P$  applicato nel centro della piastra e contorno incastrato;
- carico uniformemente distribuito  $q_0$  su tutta la piastra e contorno appoggiato.

**Dati:**

$$E = 2100000 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\nu = 0.3$$

$$a = 1.50 \text{ [m]}$$

$$t = 3 \text{ [cm]}$$

$$q_0 = 10 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$P = 2 \text{ [t]}$$

**Modello:** La piastra viene modellata nei tre casi sempre nello stesso modo e cioè con una mesh di elementi piani a 4 nodi. Nella direzione radiale sono presenti 8 intervalli mentre lungo il perimetro sono presenti 20 intervalli per un totale di 150 elementi finiti.

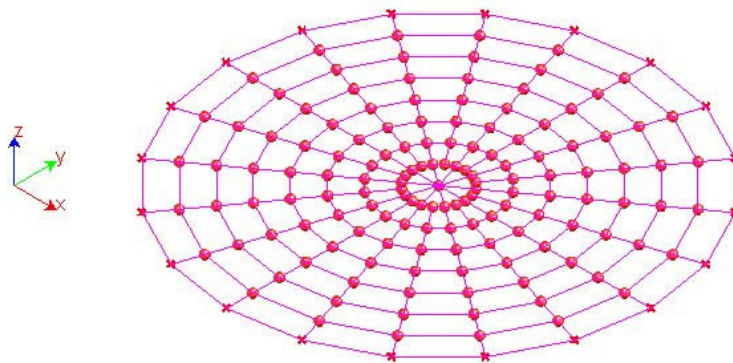


Fig. 2 Modello

**Caso A - carico uniformemente distribuito  $q_0$  su tutta la piastra e contorno incastrato**

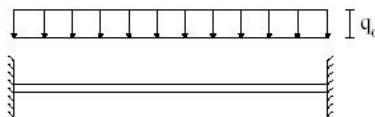


Fig. 3 Schema del caso A

#### Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	15.20	15.25	1.003

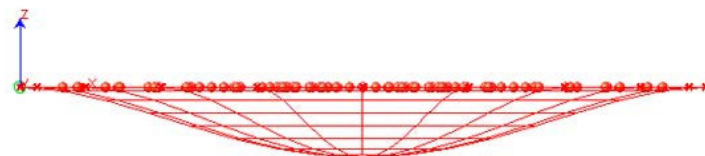


Fig. 4 Deformata del caso A

#### Caso B - carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato

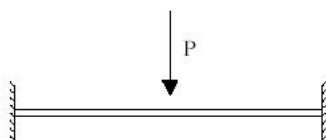


Fig. 5 Schema del caso B

#### Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	1.725	1.722	0.998



Fig. 6 Deformata del caso B

#### Caso C - carico uniformemente distribuito $q_0$ su tutta la piastra e contorno appoggiato

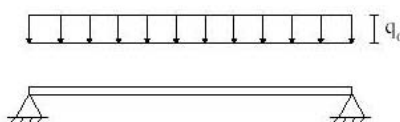


Fig. 7 Schema del caso C

**Analisi dei risultati:**

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	61.96	61.88	0.999

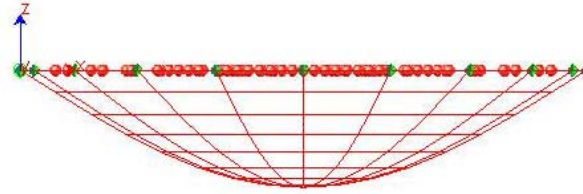


Fig. 8 Deformata del caso C



## **VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITÀ**

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

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

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari abbiano dato valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

## SINTESI DEI RISULTATI

Come indicato in maniera più approfondita nei tabulati di calcolo, tutte le verifiche sono soddisfatte. Di seguito si riporta una sintesi grafica con la percentuale di utilizzo della struttura.

