



AGENZIA DEL DEMANIO

# AGENZIA DEL DEMANIO

Direzione Regionale Calabria

PROGETTO  
PRELIMINARE

PROGETTO  
DEFINITIVO

PROGETTO  
ESECUTIVO

**OGGETTO:** Progettazione definitiva ed esecutiva, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione, direzione lavori, contabilità dei lavori ed accatastamento, finalizzati al completamento ed all'ampliamento del polifunzionale "Manganelli" per la nuova sede del XII Reparto Mobile della Polizia di Stato, in Reggio Calabria, Località Santa Caterina.

**UBICAZIONE:** Località Santa Caterina - Reggio Calabria


**COMMITTENTE:** Agenzia del Demanio - Direzione Regionale Calabria

**CODICE CIG:** 7121966045

**CODICE CUP:** G36D17000050001

## PROGETTO STRUTTURALE

REV.	DATA	MODIFICA	DISEGNATORE / COMPILATORE
00	26/11/2018	Prima Emissione	Ing. Mariano Salvatore
01	08/01/2019	Modifiche a seguito di verifica del RINA	VERIFICATO DA: Ing. Carlo Carletti
			APPROVATO DA: Arch. Valentino Tropeano

CODICE D'IDENTIFICAZIONE	ELABORATO :
05/17- <b>PS.RT14/01</b>	Porticato:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relazione tecnica generale – Relazione di calcolo</li> </ul>

<b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b> Ing. Salvatore CONCETTINO	<b>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> Arch. Valentino TROPEANO
--	---

PROGETTISTA RESPONSABILE COORDINATORE Arch. Valentino TROPEANO	
<b>RESPONSABILI</b>	<b>GRUPPO DI LAVORO</b>
<b>RESPONSABILE PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA</b> Arch. Gianfranco PICARIELLO	Ing. Antonio GRAZIANO
<b>RESPONSABILE PROGETTAZIONE STRUTTURALE</b> Ing. Carlo CARLETTI	Ing. Lella Liana IMBRIANI
<b>RESPONSABILE INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> Geol. Carmine MAZZAROTTI	Ing. Mariano SALVATORE
<b>RESPONSABILE PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI</b> Ing. Bruno MATTIA	Ing. Domenico DE MATTIA
<b>RESPONSABILE PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI</b> Ing. Mauro GUERRIERO	Ing. Rosa LO PRIORE
<b>RESPONSABILE PROGETTAZIONE SICUREZZA</b> Arch. Patrizia GAMMA	Arch. Ivan GUERRIERO
	Arch. Stanislaw SACCARDO
	Geom. Gennarino IANDIORIO
	Geom. Franco IMBIMBO
	Per.Ind. Antonio FESTA
	<b>CONSULENTI SCIENTIFICI</b>
	Prof. Ing. Luigi PETTI
	Prof. Geol. Francesco Maria GUADAGNO

## RELAZIONE TECNICA GENERALE - RELAZIONE DI CALCOLO

La relazione di calcolo del presente progetto è comprensiva di ipotesi di carico, schemi statici assunti ed una chiara sintesi dei risultati ottenuti

**OGGETTO:** Progettazione definitiva ed esecutiva, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione, direzione lavori, contabilità dei lavori ed accatastamento, finalizzati al completamento ed all'ampliamento del polifunzionale "Manganelli" per la nuova sede del XII Reparto Mobile della Polizia di Stato, in Reggio Calabria, Località Santa Caterina.

**UBICAZIONE:** Località Santa Caterina - Reggio Calabria

**COMMITTENTE:** Agenzia del Demanio - Direzione Regionale Calabria

## RELAZIONE TECNICA GENERALE ILLUSTRATIVA PRINCIPALI DATI DI PROGETTO

La presente relazione riguarda la progettazione strutturale e il dimensionamento di un porticato in acciaio a copertura del camminamento d'ingresso all'edificio polifunzionale A, a servizio della nuova sede del XII Reparto Mobile della Polizia di Stato in Reggio Calabria, Località Santa Caterina.

L'intervento prevede la realizzazione di una struttura semplice in acciaio, costituita da colonne tonde in acciaio TUBO168X4 disposte ad interasse variabile, travi in profili scatolare rettangolare TUB200X100X4 e traversi in profili tubolari 120x60x4, copertura con pannello coibentato, lattoneria di finitura.

Il presente progetto è stato redatto con l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui all' **Aggiornamento 2018 delle «Norme tecniche per le costruzioni».** (18A00716)

(G.U. Serie Generale n. 42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)

### DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC/2018

**NORMATIVA**

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	IV
Vita di riferimento	100 anni
Luogo	Reggio di Calabria - (RC)
Longitudine	15.65740
Latitudine	38.12910
Categoria del suolo	da R.S.L.
Fattore topografico	1

**PARAMETRI SISMICI**

	TR	ag/g	FO	TC*
SLO	60	0.130	2.90	0.32
SLD	101	0.200	2.50	0.32
SLV	949	0.600	2.70	0.36

**STATO LIMITE ULTIMO**

Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	0%
Numero di frequenze	30
TR utilizzato nel progetto	949 anni
Comportamento strutturale	NON Dissipativo

Fattore q di struttura per sisma orizzontale qor=1

**PARAMETRI SISMICI**

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Presente
Fattore di struttura qv per sisma verticale	1.5
Combinazione dei modi	SRSS
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8
$\lambda$	0.3
$\mu$	0.3

## RELAZIONE DI CALCOLO

### 1) Descrizione delle opere

L'intervento prevede la realizzazione di una struttura semplice in acciaio, costituita da colonne tonde in acciaio TUBO168X4 disposte ad interasse variabile, travi in profili scatolare rettangolare TUB200X100X4 e traversi in profili tubolari 120x60x4, copertura con pannello coibentato, lattoneria di finitura.

Per le dimensioni degli elementi strutturali si rimanda agli elaborati grafici allegati.

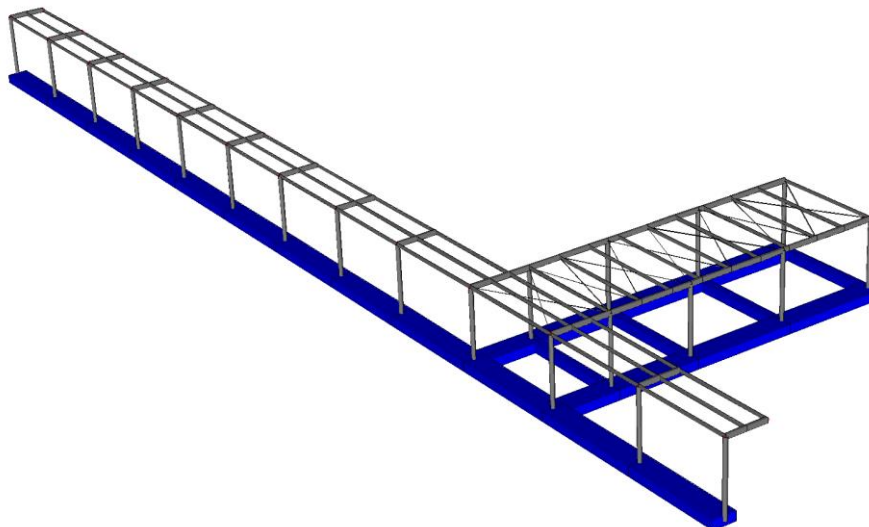
### Tipologia strutturale

Le strutture in acciaio in oggetto possono essere considerate, ai sensi del § 7.5.2.1 delle NTC 17.01.2018 e in accordo con il loro comportamento, secondo il tipo:

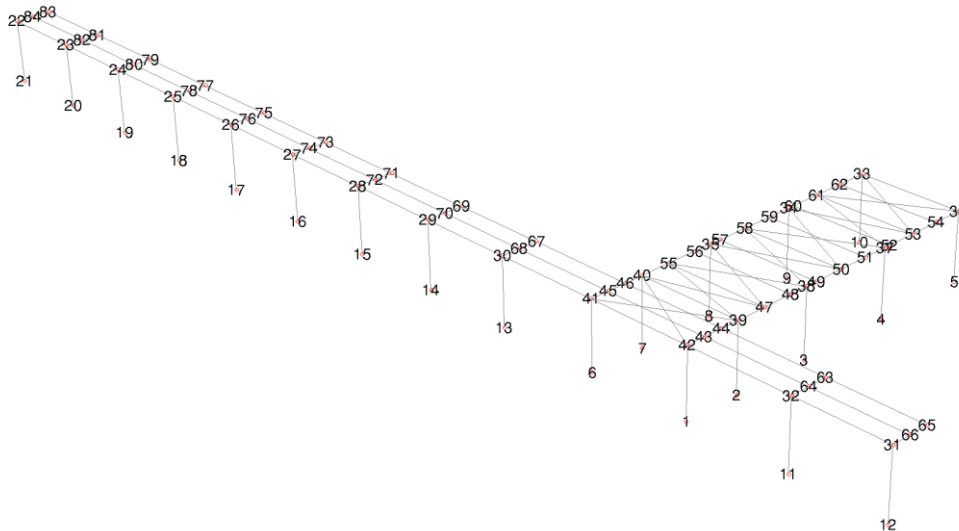
- a) strutture intelaiate: composte da telai che resistono alle forze orizzontali con un comportamento prevalentemente flessionale.
- b) Strutture con controventi concentrici: nei quali le forze orizzontali sono assorbite principalmente da membrature soggette a forze assiali.

Allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione, vengono riportate di seguito: una vista assonometrica dello schema strutturale e una rappresentazione grafica della discretizzazione operata con numerazione dei nodi.

### SCHEMA STRUTTURA 3D



## NUMERAZIONE NODI



## 2) Caratteristiche essenziali del sito

### LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Località: REGGIO DI CALABRIA  
 Provincia: REGGIO DI CALABRIA  
 Regione: CALABRIA

Coordinate GPS:  
 Latitudine : 38,12910  
 Longitudine: 15,65740

Altitudine s.l.m.: 53,0 m

### CALCOLO DELLE AZIONI DELLA NEVE E DEL VENTO

Normativa di riferimento:  
 D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

#### NEVE:

Zona Neve = III

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo =  $q_{sk} C_e = 60 \text{ daN/mq}$

#### Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda  $\alpha = 5,0^\circ$   
 $\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 48 \text{ daN/mq}$

Schema di carico:

**VENTO:**

Zona vento = 4

Velocità base della zona,  $V_{b.o} = 28$  m/s (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona,  $A_o = 500$  m (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito,  $A_s = 53$  m

Velocità di riferimento,  $V_b = 28,00$  m/s ( $V_b = V_{b.o}$  per  $A_s \leq A_o$ )

Periodo di ritorno,  $T_r = 50$  anni

$C_r = 1$  per  $T_r = 50$  anni

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto,  $V_r = V_b C_r = 28,00$  m/s

Classe di rugosità del terreno: C

[Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D]

Categoria esposizione: (Zona costiera entro 10 km dal mare) tipo II

(  $K_r = 0,19$ ;  $Z_o = 0,05$  m;  $Z_{min} = 4$  m )

Pressione cinetica di riferimento,  $q_b = 49$  daN/mq

Coefficiente di forma,  $C_p = 1,20$

Coefficiente dinamico,  $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione,  $C_e = 1,80$

Coefficiente di esposizione topografica,  $C_t = 1,00$

Altezza dell'edificio,  $h = 3,50$  m

Pressione del vento,  $p = q_b C_e C_p C_d = 106$  daN/mq

**TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA:**

Zona: IV

$T_{min} = -2.48^\circ$  [NTC 3.5.7]

$T_{max} = 41.89^\circ$  [NTC 3.5.8]

3) Tipo dei materiali strutturali

Per la verifica degli elementi sono stati adottati i seguenti parametri:

Acciaio tipo S235JR (Fe 360)

carico unitario di rottura a trazione :  $f_t = 360$  N/mm<sup>2</sup>

carico unitario di snervamento :  $f_y = 235$  N/mm<sup>2</sup>

Acciaio tipo S275JR (Fe 430)

carico unitario di rottura a trazione :  $f_t = 430$  N/mm<sup>2</sup>

carico unitario di snervamento :  $f_y = 275$  N/mm<sup>2</sup>

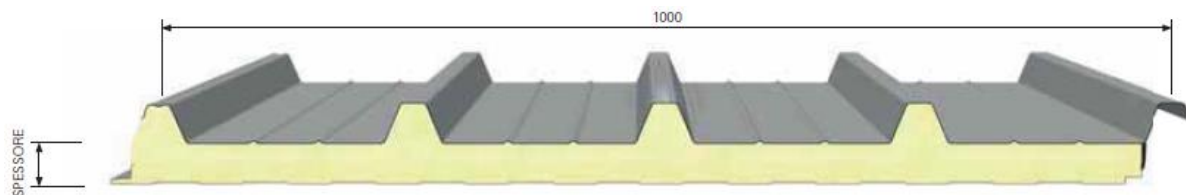
## 4) Modellazione della struttura e dei vincoli

Il tipo strutturale assunto per la verifica é quello di struttura intelaiata spaziale i cui componenti sono stati modellati con una serie di elementi "monodimensionali" definiti tramite le caratteristiche geometriche ed il modulo elastico.

## 5) Azioni sulla struttura: analisi dei carichi.

Copertura

La copertura è costituita da travetti in acciaio e pannello grecato coibentato autoportante di spessore medio cm 4:

**PESO DEI PANNELLI**

SPESSORE LAMIERE	PESO	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm						
		30	40	50	60	80	100	120
0,5 / 0,5	kg/m <sup>2</sup>	9,9	10,3	10,7	11,2	11,9	12,7	13,5
0,6 / 0,6	kg/m <sup>2</sup>	11,7	12,1	12,5	12,9	13,7	14,5	15,3

Struttura e Nervature	= (previste nel peso proprio dal programma di calcolo)
Pannello autoportante	= 10 Kg/mq
Moduli fotovoltaici (eventuali)	= 15 Kg/mq
Totale carichi fissi	Tot 25 Kg/mq

Sovraccarichi accidentali (neve) = vedi calcolo precedente

Le azioni considerate agenti sulla struttura sono le seguenti:

- carichi permanenti
- carichi accidentali
- azione del sisma
- azione del vento

## a) carico permanente

- peso proprio: viene determinato automaticamente dal programma di calcolo in funzione delle caratteristiche delle sezioni adottate;

- carico permanente in copertura;
- b) b) carichi accidentali;
  - carico della neve in copertura;
- c) azione del sisma
  - l'azione del sisma è stata tenuta in considerazione effettuando l'analisi dinamica della struttura secondo quanto stabilito dalla normativa.
- d) azione del vento
  - l'azione del vento, precedentemente determinata, è stata applicata direttamente alle colonne secondo le direzioni x e y .

#### 6) Normativa di riferimento.

**Legge 05/11/1971 - N.1086:**

'Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

**Legge 02/02/1974 - N.64:**

'Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.'

**Norma UNI ENV 1992-1-1: Eurocodice 2:**

'Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici'

**Norma UNI ENV 1993-1-1: Eurocodice 3:**

'Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.'

**Norma UNI ENV 1998-1-1: Eurocodice 8:**

'Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 1-1: Regole generali.

**Norme Tecniche C.N.R. 10011:**

'Costruzioni di acciaio - Istruzione per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.'

**Norme C.N.R. 10024:**

'Analisi delle strutture mediante calcolatore elettronico: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.'

**Circolare CSLLPP n. 617 del 02-02-2009**

“Applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni ”

**Decreto Ministeriale del 17-01-2018 Aggiornamento 2018 delle «Norme tecniche per le costruzioni». (18A00716)**

(G.U. Serie Generale n. 42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)

#### 7) Criteri di analisi della sicurezza

Il metodo utilizzato per la verifica della sicurezza della struttura è quello degli STATI LIMITE (norme di calcolo: metodo degli Stati Limite).

Il calcolo delle sezioni resistenti è stato eseguito con i metodi della scienza delle costruzioni basati sull'ipotesi dell'elasticità lineare dei materiali.

#### 8) Tipo di analisi

Discretizzazione tramite elementi finiti monodimensionali. E' stata eseguita l'analisi dinamica della struttura attraverso la risoluzione della struttura spaziale descritta nello schema e nel tabulato di calcolo allegato.

Il metodo di calcolo è quello elastico lineare. L'analisi di calcolo svolta è del tipo “modale” , con i solai non rigidi. I carichi verticali sugli elementi secondari (arcarecci) sono stati



assegnati secondo le aree di influenza degli stessi ossia, semplicemente, secondo il loro interesse.

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo **MasterSap, Versione 2018** prodotto da **Studio Software AMV** di Ronchi dei Legionari (Gorizia) - LICENZA N. 34678 del 24/09/2007 e successivi agg. E' stata utilizzata un'analisi lineare dinamica nel rispetto delle norme indicate. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite ultimo e di esercizio, CNR 10011-1997, CNR 10022-1984/ EC2/ EC3 La struttura risulta perfettamente compatibile con le potenzialità del programma di calcolo adottato, quindi non sono state apportate modifiche o semplificazioni allo schema strutturale.

## GLI ELEMENTI FINITI

La struttura viene suddivisa in sottostrutture, chiamate gruppi.

### ELEMENTO TRUSS (ASTA RETICOLARE)

L'elemento truss (asta reticolare) rappresenta il modello meccanico della biella elastica. Possiede 2 nodi I e J e di conseguenza 12 gradi di libertà.

Gli elementi truss sono caratterizzati da 4 parametri fisici e geometrici ovvero:

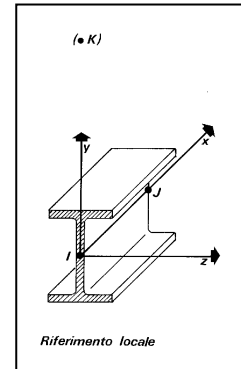
A Area della sezione.

E. Modulo elastico.

$\rho$ . Densità di peso (peso per unità di volume).

$\alpha$ . Coefficiente termico di dilatazione cubica.

I dati di input e i risultati del calcolo relativi all'elemento stesso sono riferiti alla terna locale di riferimento indicata in figura.



### ELEMENTO FRAME (TRAVE E PILASTRO, TRAVE DI FONDAZIONE)

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

L'elemento frame possiede 12 gradi di libertà.

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

deformabilità da taglio (travi tozze);

sconnessioni totali o parziali alle estremità;

connessioni elastiche alle estremità;

offsets, ovvero tratti rigidi eventualmente fuori asse alle estremità;

suolo elastico alla Winkler nelle tre direzioni locali e a torsione.

L'elemento frame supporta i seguenti carichi:

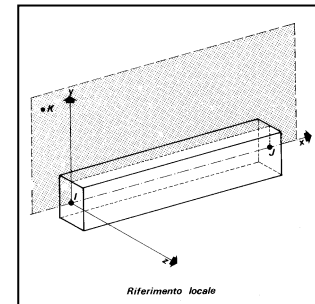
carichi distribuiti trapezoidali in tutte le direzioni locali o globali;

sollecitazioni termiche uniformi e gradienti termici nelle due direzioni principali;

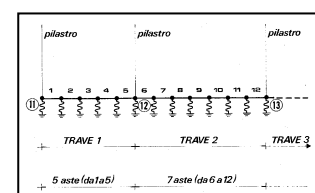
forza concentrata in tutte le direzioni locali o globali applicata in un punto arbitrario;

carichi generici mediante prescrizione delle reazioni di incastro perfetto.

I gruppi formati da elementi del tipo trave riportano, in ordine, i numeri dei nodi iniziale (I), finale (J) e di riferimento (K), la situazione degli svincoli ai nodi I e J (indicate in legenda eventuali situazioni diverse dall'incastro perfetto ad entrambi i nodi), i codici dei materiali e delle sezioni, la situazione di carico nelle otto possibili condizioni A, B, C, D, E, F, G, H: se è presente un numero, esso individua il coefficiente moltiplicativo del carico corrispondente.



I gruppi relativi all'elemento trave di fondazione riportano informazioni analoghe; le condizioni di carico sono limitate a due (A e B); È indicata la caratteristica del suolo, la larghezza di contatto con il terreno e il numero di suddivisioni interne. Per la trave di fondazione il programma abilita automaticamente solo i gradi di libertà relativi alla rotazione intorno agli



assi globali X, Y e alla traslazione secondo Z, bloccando gli altri gradi di libertà. Ogni trave di fondazione è suddivisa in un numero adeguato di parti (aste). Ogni singola asta interagisce con il terreno mediante un elemento finito del tipo vincolo elastico alla traslazione verticale  $tZ$  convergente ai suoi nodi (vedi figura), il cui valore di rigidezza viene determinato da programma moltiplicando la costante di sottofondo assegnata dall'utente per l'area di contatto con il terreno in corrispondenza del nodo.

I tipi di carichi ammessi sono solo di tipo distribuito  $fZ, fV, fy$ . Inoltre accade che:

$V_i=V_f; d_i=df=0$ , ovvero il carico è di tipo rettangolare esteso per tutta la lunghezza della trave.

#### 9) Stampa dei risultati

Allegata alla presente, si riportano, come prescritto dal punto § 10.2.1 del D.M. 17.01.2018 "Modalità di presentazione dei risultati":

- una sintesi completa ed efficace che riassume il comportamento della struttura per l'analisi sviluppata e una tabella riassuntiva delle corrispondenti reazioni vincolari.
- disegni e schemi grafici contenenti, per le parti più sollecitate della struttura, le configurazioni deformate, la rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione, i diagrammi di iniluppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati.
- tabulato del calcolo elettronico riportante gli spostamenti e le sollecitazioni relative ai vari elementi strutturali.

10) Esame dei risultati e controlli: valutazione dell'elaborazione dal punto di vista del corretto comportamento del modello.

E' stato eseguito il controllo del corretto comportamento del modello adottato attraverso il riscontro dei seguenti elementi significativi :

- a) sono stati verificati i dati i dati geometrici di input al fine di verificare la loro compatibilità;
- b) il programma ha verificato l'assenza di labilità nella struttura analizzata (matrice delle rigidezze definita positiva );
- c) é stato verificato a mano l'equilibrio di alcune parti della struttura per le singole condizioni di carico;
- d) é stata verificata la simmetria dei risultati relativamente agli elementi strutturali simmetrici della struttura caricati simmetricamente;
- e) é stata verificata la compatibilità degli spostamenti ai nodi con le condizioni di vincolo imposte.

#### 11) VERIFICHE

Sotto l'effetto delle azioni sismiche definite nel § 3.2 delle NTC 17.01.2018, è stato verificato il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio, quali definiti al § 3.2.1 delle NTC 17.01.2018 ed individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione .

In particolare è stato verificato:

- il rispetto delle verifiche relative allo SLD;
- il rispetto delle verifiche agli stati limite ultimi, ivi comprese le indicazioni progettuali e costruttive riportate nelle NTC 17.01.2018, e relative allo SLV.

## **VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

Verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza.

Per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, si è verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (Ed), calcolato in generale comprendendo gli effetti delle non linearità geometriche e le regole di gerarchia delle resistenze indicate per le diverse tecniche costruttive, risultasse inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (Rd).

La resistenza di progetto delle membrature e dei collegamenti è stata valutata in accordo con le regole presentate nelle NTC 17.01.2018.

## **VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno

Essendo la costruzione ricadente in classe d'uso II si è verificato che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso in esame, questa condizione si può ritenere soddisfatta in quanto gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD (v. § 3.2.1 e § 3.2.3.2 delle NTC 17.01.2018) sono inferiori al limite:

b) per tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano  $dr_p$ , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura:

$$dr \leq dr_p \leq 0,01 h$$

dove:

$dr$  è lo spostamento interpiano, ovvero la differenza tra gli spostamenti al solaio superiore ed inferiore, calcolati secondo i §§ 7.3.3 o 7.3.4 delle NTC 17.01.2018, e  $h$  è l'altezza del piano.

Le verifiche relative ai due stati limite sono consultabili nei relativi tabulati.

## **VERIFICA DEGLI ELEMENTI SECONDARI**

### **COPERTURA PANNELLO COIBENTATO**

La copertura sarà realizzata con pannelli sandwich composti da lamiera esterna grecata in acciaio, lamiera interna liscia e poliuretano espanso intermedio, avente lo spessore di **40 mm + greche**.

Dalla scheda tecnica allegata si evidenzia che, per lo spessore stabilito di 40 mm e per il passo degli appoggi fissato il carico sopportabile dai pannelli di copertura è ben maggiore di quello effettivamente applicato.

### **RISULTATI DELLE VERIFICHE CON IL METODO DELL'EUROCODICE 3**

#### **I RISULTATI PER ASTE RETICOLARI**

Il tabulato riporta una descrizione dei parametri di progetto e successivamente, in sequenza per ogni asta:

- numero combinazione di carico;
- sforzo normale  $N$  (corrispondente a  $F_x$ ), positivo se di trazione;
- classe della sezione; non viene riportata se agisce la trazione;
- $A_{net}$  oppure  $A_{eff}$ : viene riportato il valore della sezione ( $cm^2$ ) utilizzata in fase di verifica;
- snellezza adimensionale; dipende dalla snellezza dell'asta nei due piani di e quella ulteriore, eventuale, derivante da assi principali di inerzia della sezione non coincidenti con gli assi locali  $y$  e  $z$  (come avviene per la sezione a L); viene ovviamente determinata solo per aste compresse;
- $\chi_{minimo}$ : rappresenta il minimo fra i coefficienti di riduzione del modo di instabilità intorno agli assi coinvolti nella verifica, che possono riguardare anche gli assi principali di inerzia;
- I.R., indice di resistenza: viene determinato l'indice di verifica a resistenza, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto, comunemente indicate con il termine  $N_t.Rd$  (nel caso trazione) oppure  $N_c.Rd$  (nel caso compressione);
- I.S., indice di stabilità: viene determinato l'indice all'instabilità flessionale, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto all'instabilità  $N_b.Rd$  nei piani di flessione sopra specificati.

A fine riga compaiono due note; la prima indica il piano di massima snellezza e il suo valore; la seconda, eventuali informazioni di commento.

Se è abilitata la verifica di stabilità per aste consecutive (superelementi) viene riportato un ulteriore tabulato riguardante la verifica globale delle aste che costituiscono il superelemento; la sola differenza con il precedente riguarda l'indicazione, nel prospetto, della lunghezza totale che influisce sul valore di snellezza e quindi sul risultato finale della verifica.

#### **I RISULTATI PER TRAVI E PILASTRI**

Il tabulato riporta:

- numero combinazione di carico;
- ascissa di calcolo (cm);
- in sequenza  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  (F),  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  (F\*m).

Le convenzioni sui segni delle sollecitazioni sono:

- $F_x$  (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- $F_y$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra della sezione interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;

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

Vengono poi riportate:

- classe: rappresenta la classe della sezione; qualora i singoli componenti della sezione (ad esempio ala e anima) abbiano classi diverse viene presa quella più alta; non viene riportata in caso di trazione o taglio puro.

Il potenziale svergolamento viene indagato solo per sezioni a I. Viene riportato il valore di  $\chi_{LT}$ , che determina il momento resistente di progetto. La stabilità euleriana comporta la determinazione di tre coefficienti  $\chi_{min}$ ,  $\chi_y$ ,  $\chi_z$ . Il tabulato propone:

- numero combinazione di carico;
- valore dello sforzo normale  $F_x$  (compressione più elevata trovata);
- momento flettente  $M_y$  più elevato riscontrato in tutte le ascisse;
- momento flettente  $M_z$  più elevato riscontrato in tutte le ascisse;
- classe: rappresenta la classe della sezione;
- $\chi_{minimo}$ : rappresenta il minimo fra i coefficienti di riduzione del modo di instabilità intorno agli assi coinvolti nella verifica;
- verifica di resistenza effettuata per il solo sforzo normale dando luogo all'indice di resistenza denominato I.R.n. come indicato al punto 5.4.3 dell'EC3;
- verifica a taglio e torsione determinante l'indice di resistenza denominato I.V.T. come prescritto al punto 5.4.6 dell'EC3;
- I.R., indice di resistenza: viene determinato l'indice di verifica a resistenza, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto, comunemente indicate con il termine  $N_{t.Rd}$  (nel caso trazione) oppure  $N_{c.Rd}$  (nel caso compressione);
- I.S., indice di stabilità: viene determinato l'indice all'instabilità flessionale, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto all'instabilità  $N_{b.Rd}$  nei piani di flessione sopra specificati.

## INFORMAZIONI SUL CODICE DI CALCOLO ADOTTATO

### **Affidabilità dei codici utilizzati**

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia) in uso con licenza al sottoscritto - **Versione 2018** LICENZA N. 34678 del 24/09/2007 e successivi aggiornamenti.

### **Codice di calcolo adottato, solutore e affidabilità dei risultati**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*.

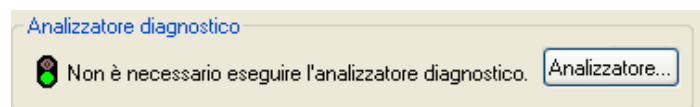
L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

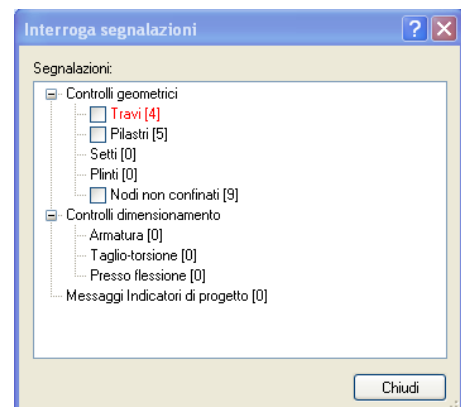
In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione.



Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che





vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori controlli sono stati eseguiti dal sottoscritto progettista il quale ha personalmente verificato la correttezza delle analisi elaborate dal codice di calcolo in base a dati inseriti e risultati ottenuti risultati congruenti con schemi semplici o schemi più elaborati risolti con solutore diverso. E' stato, inoltre, possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si è potuto rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico è stata verificata la posizione del centro di massa e di rigidità del sistema.

E' stato eseguito il controllo del corretto comportamento del modello adottato attraverso il riscontro dei seguenti elementi significativi :

- a) sono stati verificati i dati i dati geometrici di input al fine di verificare la loro compatibilità;
- b) il programma ha verificato l'assenza di labilità nella struttura analizzata (matrice delle rigidità definita positiva );
- c) é stato verificato a mano l'equilibrio di alcune parti della struttura per le singole condizioni di carico;
- d) é stata verificata la simmetria dei risultati relativamente agli elementi strutturali simmetrici della struttura caricati simmetricamente;
- e) é stata verificata la compatibilità degli spostamenti ai nodi con le condizioni di vincolo imposte.

Inoltre, in conformità col disposto dell'art. 10.2 ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO del Decreto Ministeriale del 17-01-2018

Avendo eseguito l'analisi strutturale e le relative verifiche con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista ha controllato l'affidabilità dei codici utilizzati e verificato 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. In particolare nella Relazione di calcolo sono state fornite le seguenti indicazioni:

- Tipo di analisi svolta
  - descrizione del tipo di analisi strutturale condotta e le sue motivazioni;
  - descrizione del metodo adottato per la risoluzione del problema strutturale e le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni.
  - descrizione delle combinazioni di carico adottate con motivato impiego delle

combinazioni o dei percorsi di carico adottati, in specie con riguardo alla effettiva esaustività delle configurazioni studiate per la struttura in esame.

- Origine e Caratteristiche dei Codici di Calcolo

E' stata indicata con precisione l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, autore, produttore, eventuale distributore, versione, estremi della licenza d'uso o di altra forma di autorizzazione all'uso.

- Affidabilità dei codici utilizzati

Il progettista ha esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, contiene 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 sono stati forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

- Validazione dei codici.

in conformità col disposto dell'art. 10.2 ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO del Decreto Ministeriale del 17-01-2018 , nel caso in esame non si rende necessaria una validazione indipendente del calcolo strutturale ( caso di opere di particolare importanza )

- Modalità di presentazione dei risultati.

La presentazione dei risultati è stata effettuata in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per il tipo di analisi sviluppata.

L'esito dell'elaborazione è stato sintetizzato in disegni e schemi grafici contenenti, per le parti più sollecitate della struttura, le configurazioni deformate, la rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione o delle componenti degli sforzi, i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari.

Di tali grandezze, unitamente ai diagrammi ed agli schemi grafici, sono stati chiaramente evidenziati le convenzioni sui segni, i valori numerici e le unità di misura di questi nei punti o nelle sezioni significative ai fini della valutazione del comportamento complessivo della struttura, i valori numerici necessari ai fini delle verifiche di misura della sicurezza.

- Informazioni generali sull'elaborazione.

A valle dell'esposizione dei risultati sono state riportate anche informazioni generali riguardanti l'esame ed i controlli svolti sui risultati ed una valutazione complessiva

dell'elaborazione dal punto di vista del corretto comportamento del modello.

- Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.

Il progettista ha verificato personalmente i risultati delle elaborazioni con controlli che ne comprovino l'attendibilità.

Tale valutazione si è svolta col confronto dei risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e adottati in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, è stata valutata la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

Nella relazione vengono elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate.

#### **Verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati**

Tale verifica ha permesso il riscontro che i carichi verticali ed orizzontali applicati alla struttura si ritrovano alla base della stessa come sforzi normali e taglianti al piede delle colonne.

Carichi verticali totali applicati = Somma reaz. Vinc. Verticali

Carichi orizzontali totali applicati = Somma reaz. Vinc. Orizzontali

#### **Comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate**

Tale verifica ha permesso il riscontro delle sollecitazioni massime con quelle effettuate attraverso la risoluzione manuale di semplici schemi di calcolo.

Arcareccio

Soluzione manuale di trave semplicemente appoggiata (PL2/8)

Soluzione restituita dall'elaborazione

Per l'edificio in oggetto è stato possibile conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati per i vincoli esterni.

Per il codice di calcolo impiegato è stata verificata personalmente l'affidabilità e validazione per cui il sottoscritto

dichiara

che il programma MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia) – ottenuto dal sottoscritto con LICENZA N. 34678 – è da ritenersi idoneo nella risoluzione dello schema di calcolo nel caso specifico in oggetto, avendone verificato modalità e procedure della sua validazione.

Il presente progetto strutturale è stato redatto sulle indicazioni fornite dal committente riguardo le dimensioni e l'ubicazione dell'opera: resta a cura del Direttore dei lavori verificarne la rispondenza con quanto riportato in concessione edilizia prima di dare inizio ai lavori.

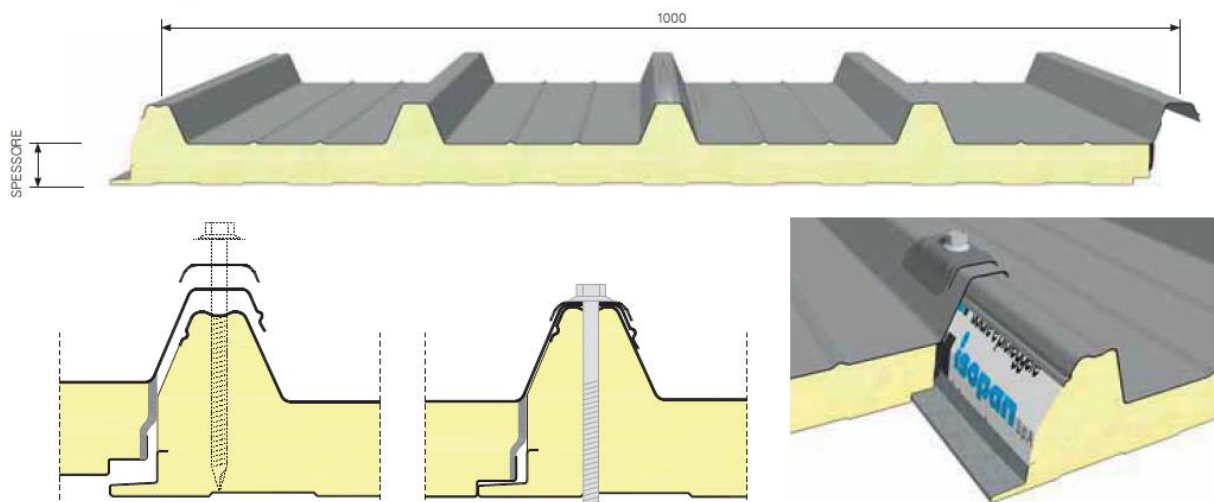
Si allega una scheda tecnica prestazionale tipo del pannello coibentato di copertura.

Tutti i nominativi e i marchi riportati nelle schede allegate sono da intendersi come tipo e/o equivalente.



Pannello sandwich a doppio rivestimento metallico, per coperture con pendenza non inferiore a 7%, coibentato in poliuretano, con lamiera esterna profilata a 5 greche per aumentare la resistenza ai carichi statici e dinamici. Il fissaggio è di tipo a vista, con appositi cappellotti metallici con guarnizione.

Trova impiego anche nel rivestimento di pareti.



Modalità di fissaggio dei pannelli

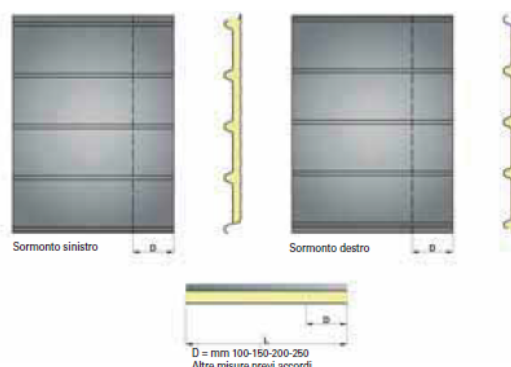
**ISTRUZIONI PER L'IMPIEGO:** Per quanto concerne l'impiego dei pannelli e le relative limitazioni si rimanda alla scheda tecnica consultabile sul sito web nella sezione schede tecniche e alle Raccomandazioni per il montaggio delle lamiere grecate e dei pannelli metallici coibentati di Isopan Spa.

**SOVRACCARICHI - INTERASSI**

ACCIAIO		LAMIERE IN ACCIAIO 0,4 / 0,4 mm - Appoggio 120 mm								LAMIERE IN ACCIAIO 0,5 / 0,5 mm - Appoggio 120 mm							
CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO	kg/m <sup>2</sup>	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm								SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm							
		30	40	50	60	80	100	120	150	30	40	50	60	80	100	120	150
		INTERASSI MAX cm															
80		270	290	310	340	390	440	470	500	320	350	390	420	500	570	630	730
100		250	260	280	300	350	390	440	480	295	320	360	390	450	510	580	670
120		230	245	260	280	320	360	400	460	270	300	330	360	420	480	540	620
140		210	230	255	260	290	330	370	420	235	280	315	340	390	450	500	580
160		200	220	230	255	285	310	340	390	210	260	300	320	370	420	480	550
180		185	215	220	230	270	290	320	370	185	235	280	300	355	400	450	520
200		160	200	210	220	260	270	300	340	170	210	250	290	330	380	430	500
220		140	190	200	210	230	260	280	320	150	190	230	270	320	360	410	470
250		115	170	190	200	220	240	260	300	130	170	205	240	300	340	385	445

ALLUMINIO		LAMIERE IN ALLUMINIO 0,6 / 0,6 mm - Appoggio 120 mm							
CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO	kg/m <sup>2</sup>	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm							
		30	40	50	60	80	100	120	150
		INTERASSI MAX cm							
80		255	290	325	370	435	505	565	605
100		225	255	290	315	385	455	510	590
120		205	230	255	285	340	400	460	540
140		190	210	230	255	315	370	420	495
160		170	190	215	230	285	335	385	455
180		155	170	200	215	265	310	360	420
200		145	160	180	200	240	285	335	395
220		130	155	170	190	225	255	310	355
250		110	145	155	165	200	230	275	335

Calcolo per dimensionamento statico eseguito secondo quanto contenuto nell'Allegato E della norma UNI EN 14509. Limite di freccia 1/200 ℓ



Dettaglio sistemi di sormonto

**TOLLERANZE DIMENSIONALI (in accordo con EN 14509)**

SCOSTAMENTI mm		
Lunghezza	L ≤ 3 m	± 5 mm
	L > 3 m	± 10 mm
Larghezza utile	± 2 mm	
Spessore	D ≤ 100 mm	± 2 mm
	D > 100 mm	± 2 %
Deviazione dalla perpendicolarità	6 mm	
Disallineamento dei paramenti metallici interni	± 3 mm	
Accoppiamento lamiere inferiori	F = 0 + 3 mm	

Dove L è la lunghezza, D è lo spessore dei pannelli ed F è l'accoppiamento dei supporti.

**ISOLAMENTO TERMICO**

Secondo la nuova normativa EN 14509 A.10

U	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm						
	30	40	50	60	80	100	120
W/m <sup>2</sup> K	0,71	0,54	0,44	0,37	0,28	0,22	0,19
kcal/m <sup>2</sup> h °C	0,61	0,47	0,38	0,32	0,24	0,19	0,16

**PESO DEI PANNELLI**

SPESSORE LAMIERE	PESO	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm						
		30	40	50	60	80	100	120
0,5 / 0,5	kg/m <sup>2</sup>	9,9	10,3	10,7	11,2	11,9	12,7	13,5
0,6 / 0,6	kg/m <sup>2</sup>	11,7	12,1	12,5	12,9	13,7	14,5	15,3

**COMPORAMENTO AL FUOCO**

Per quanto riguarda le specifiche relative al comportamento al fuoco dei pannelli è possibile consultare la scheda riepilogativa presente all'interno del catalogo o sul sito web.

Secondo il metodo di calcolo superato EN ISO 6946

K	SPESSORE NOMINALE PANNELLO mm						
	30	40	50	60	80	100	120
W/m <sup>2</sup> K	0,55	0,44	0,36	0,31	0,25	0,20	0,17
kcal/m <sup>2</sup> h °C	0,48	0,38	0,32	0,27	0,22	0,17	0,15