

Davide Cicchini

Calcoli rapidi di solai con Excel

**PROGETTAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO
E ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO**

- Le tipologie di solaio
- Esempio progettuale solaio di piano
- Esempio progettuale solaio di copertura a doppia falda
- Fogli di calcolo
 - Sollecitazioni trave continua
 - Combinazione delle azioni
 - Lunghezza ancoraggio barre
 - Legami costitutivi
 - Calcolo azione neve NTC08
- **CONFORME AL D.M. 14 GENNAIO 2008
«NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI»**

**PRONTO
GRAFILL**
Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni

SOFTWARE INCLUSO

FOGLI DI CALCOLO IN EXCEL PER IL PROGETTO
DI SOLAI IN LATEROCEMENTO SIA PIANI CHE INCLINATI E BALCONI



Davide Cicchini
CALCOLI RAPIDI DI SOLAI CON EXCEL

ISBN 13 978-88-8207-877-5
EAN 9 788882 078775

Software, 95
Prima edizione, ottobre 2016

Cicchini, Davide <1986->
Calcoli rapidi di solai con excel / Davide Cicchini. – Palermo : Grafill, 2016.
(Software ; 95)
ISBN 978-88-8207-877-5
1. Solai – Calcolo – Impiego [di] Excel.
624.170285 CDD-23 SBN Pal0291899
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.
Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal.
Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di ottobre 2016
presso **Andersen S.p.A.** Frazione Piano Rosa – 28010 Boca (NO)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

<p> ↘ INTRODUZIONE E RINGRAZIAMENTI </p> <p> 1. LE TIPOLOGIE DI SOLAIO..... </p> <p> 1.1. Inquadramento architettonico </p> <p> 1.2. Requisiti funzionali..... </p> <p> 1.3. La definizione di solaio..... </p> <p> 1.4. Le tipologie di solaio </p> <p> 1.4.1. Solai in legno </p> <p> 1.4.2. Solai in acciaio..... </p> <p> 1.4.3. Solai in calcestruzzo..... </p> <p> 1.5. I solai in laterocemento: la descrizione degli elementi costituenti </p> <p> 1.5.1. Realizzazione dei solai in laterocemento </p> <p> 2. ESEMPIO PROGETTUALE SOLAIO DI PIANO..... </p> <p> 2.1. Descrizione dell'opera </p> <p> 2.2. Normativa di Riferimento..... </p> <p> 2.3. Resistenze di calcolo dei materiali..... </p> <p> 2.3.1. Conglomerato Cementizio: Classe 25/30..... </p> <p> 2.3.2. Acciaio B450C (acciaio laminato a caldo) e Acciaio B450A (acciaio laminato a freddo)..... </p> <p> 2.4. Legami costitutivi </p> <p> 2.4.1. Legame costitutivo del calcestruzzo </p> <p> 2.4.2. Legame costitutivo dell'acciaio </p> <p> 2.5. Metodi di calcolo </p> <p> 2.5.1. Resistenze caratteristiche..... </p> <p> 2.5.2. Carichi caratteristici </p> <p> 2.5.3. Verifiche </p> <p> 2.6. Predimensionamento del solaio </p> <p> 2.6.1. Predimensionamento sulla base delle prescrizioni del DM96..... </p> <p> 2.7. Analisi dei carichi verticali..... </p> <p> 2.7.1. Calcoli espliciti </p> <p> 2.7.2. Carichi variabili..... </p> <p> 2.7.3. Elementi divisori interni..... </p> <p> 2.8. La definizione dello schema statico..... </p>	<p>p. 1</p> <p>" 3</p> <p>" 3</p> <p>" 4</p> <p>" 4</p> <p>" 4</p> <p>" 5</p> <p>" 6</p> <p>" 9</p> <p>" 14</p> <p>" 15</p> <p>" 17</p> <p>" 17</p> <p>" 19</p> <p>" 19</p> <p>" 19</p> <p>" 20</p> <p>" 20</p> <p>" 20</p> <p>" 22</p> <p>" 24</p> <p>" 24</p> <p>" 26</p> <p>" 26</p> <p>" 27</p> <p>" 27</p> <p>" 28</p> <p>" 31</p> <p>" 32</p> <p>" 33</p> <p>" 34</p>
---	---

2.8.1.	Confronto tra piastra ortotropa e trave di solaio	p.	38
2.9.	Schemi di carico.....	"	42
2.9.1.	Le linee di influenza.....	"	43
2.9.2.	La disposizione dei carichi.....	"	46
2.10.	Combinazioni delle azioni	"	48
2.10.1.	Combinazioni delle azioni allo stato limite ultimo	"	51
2.10.2.	Combinazioni delle azioni SLE caratteristica.....	"	51
2.10.3.	Combinazioni delle azioni SLE frequente	"	51
2.10.4.	Combinazioni delle azioni SLE quasi permanente	"	52
2.11.	Calcolo delle sollecitazioni.....	"	52
2.11.1.	La derivazione dell'equazione dei tre momenti.....	"	53
2.11.2.	Le caratteristiche di sollecitazione del solaio oggetto di studio	"	59
2.11.3.	Inviluppo delle sollecitazioni per la combinazione SLU.....	"	66
2.11.4.	Inviluppo delle sollecitazioni per la combinazione SLE.....	"	68
2.12.	Progetto dell'armatura longitudinale	"	70
2.12.1.	Progetto a flessione	"	72
2.12.2.	Limitazioni di armatura.....	"	81
2.12.3.	Lunghezza di ancoraggio delle barre	"	81
2.12.4.	La traslazione del momento flettente	"	85
2.12.5.	Copriferro e interfero.....	"	87
2.12.6.	Progetto a flessione del solaio oggetto di studio.....	"	92
2.12.7.	Verifica a taglio per elementi sprovvisti di armatura trasversale	"	106
2.12.8.	Verifica a taglio del solaio oggetto di studio.....	"	114
2.12.9.	Dettagli costruttivi.....	"	122
2.12.10.	Disposizione delle armature.....	"	123
2.13.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	"	123
2.13.1.	Verifica delle tensioni di esercizio	"	124
2.13.2.	Osservazione sulla verifica delle tensioni	"	131
2.13.3.	Verifica di deformabilità.....	"	131
2.13.4.	Verifica di deformabilità a breve termine.....	"	133
2.13.5.	Verifica di deformabilità a lungo termine	"	134
2.13.6.	Verifica di fessurazione	"	136
2.13.7.	Verifica di vibrazione	"	137
2.13.8.	Verifica allo SLE del solaio oggetto di studio.....	"	138
3.	ESEMPIO PROGETTUALE		
	SOLAIO DI COPERTURA A DOPPIA FALDA.....	"	172
3.1.	Descrizione dell'opera	"	172
3.2.	Normativa di riferimento	"	173
3.3.	Resistenze di calcolo dei materiali.....	"	174

3.3.1.	Conglomerato Cementizio: Classe 25/30.....	p.	174
3.3.2.	Acciaio B450C (acciaio laminato a caldo) e Acciaio B450A (acciaio laminato a freddo).....	"	174
3.3.3.	Pesi per unità di volume.....	"	175
3.4.	Predimensionamento del solaio di copertura.....	"	175
3.5.	Definizione del carico neve.....	"	175
3.5.1.	Carico neve.....	"	176
3.5.2.	Valore caratteristico del carico neve al suolo.....	"	176
3.5.3.	Coefficiente di esposizione.....	"	177
3.5.4.	Coefficiente termico.....	"	177
3.5.5.	Carico neve sulle coperture.....	"	178
3.5.6.	Coefficiente di forma.....	"	178
3.5.7.	Carico neve sulla copertura.....	"	179
3.6.	Carichi variabili.....	"	179
3.7.	Analisi dei carichi verticali.....	"	179
3.7.1.	Calcoli espliciti.....	"	181
3.8.	Schemi di carico.....	"	181
3.9.	Combinazione delle azioni.....	"	182
3.9.1.	Combinazioni delle azioni allo stato limite ultimo.....	"	183
3.9.2.	Combinazioni delle azioni SLE caratteristica.....	"	184
3.9.3.	Combinazioni delle azioni SLE frequente.....	"	185
3.9.4.	Combinazioni delle azioni SLE quasi permanente.....	"	185
3.10.	Caratteristiche delle sollecitazioni per il caso riportato.....	"	185
3.10.1.	Soluzione dello schema di carico 3, per la combinazione allo SLU.....	"	186
3.10.2.	Inviluppo delle sollecitazioni per la combinazione SLU.....	"	193
3.10.3.	Inviluppo delle sollecitazioni per la combinazione SLE.....	"	195
3.11.	Progetto a flessione.....	"	197
3.11.1.	Progetto a flessione del solaio oggetto di studio.....	"	197
3.11.2.	Calcolo dell'armatura per l'appoggio 1.....	"	199
3.11.3.	Calcolo dell'armatura per la campata 1-2.....	"	200
3.11.4.	Calcolo dell'armatura per l'appoggio 2.....	"	202
3.11.5.	Calcolo dell'armatura per la campata 2-3.....	"	204
3.11.6.	Calcolo dell'armatura per l'appoggio 3.....	"	205
3.11.7.	Diagramma del momento resistente.....	"	206
3.11.8.	Verifica a taglio del solaio oggetto di studio.....	"	207
3.11.9.	Verifica a taglio per l'appoggio 2 a sinistra.....	"	208
3.11.10.	Verifica a taglio per l'appoggio 2 a destra.....	"	209
3.11.11.	Verifica a taglio per l'appoggio 3 a sinistra.....	"	210
3.11.12.	Dettagli costruttivi.....	"	211
3.12.	Verifica allo SLE del solaio oggetto di studio.....	"	212
3.12.1.	Verifica SLE per la sezione in campata 1-2.....	"	212

3.12.2.	Verifica SLE per la sezione in appoggio 2	p.	219
3.12.3.	Verifica SLE per la sezione in campata 2-3	"	221
4.	FOGLI DI CALCOLO	"	227
4.1.	Fogli Excel allegati al volume	"	227
4.1.1.	Calcolo solaio bausta slu-sle	"	227
4.1.2.	Sollecitazioni trave continua	"	234
4.1.3.	Combinazione delle azioni	"	236
4.1.4.	Calcolo lunghezza di ancoraggio	"	236
4.1.5.	Legami costitutivi	"	237
4.1.6.	Calcolo azione neve NTC08	"	237
↘	ALLEGATO A	"	239
	<i>Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 2, prodotta dal foglio elettronico «Calcolo solaio bausta slu-sle»</i>	"	239
↘	ALLEGATO B	"	263
	<i>Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 3, prodotta dal foglio elettronico «Calcolo solaio bausta slu-sle»</i>	"	263
↘	ALLEGATO C	"	279
	<i>Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 3, prodotta dal foglio elettronico «Calcolo azione neve NTC08»</i>	"	279
↘	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	285
	– Note sul software incluso	"	285
	– Requisiti hardware e software	"	285
	– Download del software e richiesta della password di attivazione	"	286
	– Installazione ed attivazione del software	"	286
↘	BIBLIOGRAFIA	"	287

INTRODUZIONE E RINGRAZIAMENTI

Il lavoro sviluppato espone in modo dettagliato tutti i passi da seguire per la progettazione di solai in laterocemento. Il libro è articolato in 4 capitoli, allegati e fogli Excel per la progettazione; ed è rivolto agli studenti e ai professionisti del settore.

Nel **primo capitolo** si fa un «excursus» generale sulle tipologie di solaio e si fanno i primi approfondimenti sui solai laterocementizi esponendo le varie parti.

Il **secondo capitolo** riguarda un solaio interpiano formato da tre campate disposto in continuità ad un balcone, in cui si analizzano in modo approfondito tutti i punti della progettazione, ossia:

- la definizione dello schema statico e la valutazione delle problematiche legate alla semplificazione dei modelli;
- la definizione delle norme di riferimento e dei materiali impiegati;
- il predimensionamento e l'analisi dei carichi;
- la definizione degli schemi di carico e delle combinazioni;
- il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e la definizione dei diagrammi di involucro;
- la definizione delle classi di esposizione e il calcolo del copriferro;
- il progetto allo stato limite ultimo a flessione;
- il progetto allo stato limite ultimo a taglio e il calcolo della fascia piena;
- la disposizione delle armature;
- le verifiche allo stato limite di esercizio: tensioni massime, deformabilità, fessurazione e vibrazione.

L'esempio proposto è svolto per ogni punto anche a livello numerico, riportando in modo chiaro tutti i passaggi e prestando particolare attenzione alle verifiche allo stato limite di esercizio che spesso nella pratica professionale vengono considerate marginali, ma sono cruciali per la buona riuscita dell'opera.

L'esempio analizzato al capitolo 2 oltre che essere calcolato sia allo SLU sia allo SLE è corredato di riferimenti teorici che giustificano l'utilizzo delle formule, nonché di utili approfondimenti. Si riporta infatti un confronto tra una piastra ortotropa modellata agli elementi finiti e un travetto di solaio modellato come trave appoggiata, questo per valutare se le approssimazioni fatte dall'impiego di un modello semplificato, siano comparabili con le sollecitazioni ricavate da un modello più dettagliato ma anche più complesso. In seguito si affronta il tema delle linee di influenza, concetto alla base dell'utilizzo degli schemi di carico da applicare alle strutture. Si spiega come derivare l'equazione dei tre momenti utilizzando l'equazione della linea elastica. Inoltre si espongono in modo dettagliato gli equilibri della sezione sia allo stato limite ultimo sia allo stato limite di esercizio, nonché i metodi per la definizione del momento d'inerzia per ogni stadio di esercizio.

Il **terzo capitolo** è rivolto alla progettazione di un solaio di copertura a doppia falda, anche qui si analizzano tutti i passaggi risolvendoli numericamente. In questo caso si affronta unicamente la progettazione evitando gli approfondimenti fatti al capitolo due, esponendo chiaramente i passaggi per la progettazione di elementi inclinati. In questo esempio si esegue anche l'analisi dell'azione dovuta al carico da neve depositata, spiegandone i passaggi.

Il **quarto capitolo** espone il funzionamento dei software allegati al libro, sei in tutto:

- 1) Calcolo solaio bausta slu-sle;
- 2) Sollecitazioni trave continua;
- 3) Combinazione delle azioni;
- 4) Lunghezza ancoraggio barre;
- 5) Legami costitutivi;
- 6) Calcolo azione neve NTC08.

Il principale «Calcolo solaio bausta slu-sle» esegue il progetto completo di solai in laterocemento sia piani sia inclinati. Con il foglio elettronico si possono progettare solai formati da un massimo di tre campate e due sbalzi. Poiché si possono definire le inclinazioni di ogni trave, con lo stesso file si possono progettare anche le coperture inclinate con elementi aggettanti. Infine il medesimo può essere impiegato per lo studio e il progetto di singoli balconi.

Il foglio elettronico è stato calibrato anche per eseguire la stampa della relazione tecnica da allegare al progetto strutturale del fabbricato, infatti sarà sufficiente selezionare le schede e salvare in formato PDF, per ottenere: la relazione sui materiali e l'analisi dei carichi, le combinazioni di carico, le caratteristiche di sollecitazione di inviluppo, il progetto e le verifiche allo stato limite ultimo e le verifiche allo stato limite di esercizio.

La validazione del file è stata eseguita confrontando i risultati ottenuti con i valori calcolati manualmente negli esempi riportati al capitolo 2 e capitolo 3.

Negli **allegati** sono riportate le relazioni tecniche ottenute dal foglio elettronico «Calcolo solaio bausta slu-sle» relativamente all'esempio calcolato al capitolo 2 e al capitolo 3. Si allega anche la relazione tecnica ottenuta dal foglio elettronico «Calcolo azione neve NTC08» relativamente alla definizione del carico da neve depositata necessaria per l'analisi dei carichi della copertura progettata al capitolo 3.

Per il download di ulteriori fogli di calcolo non allegati a questo manuale e per fornire qualsiasi segnalazione o suggerimento è possibile contattare l'Autore attraverso il sito internet **www.davidecicchini.it**

RINGRAZIAMENTI

Voglio ringraziare la mia fidanzata Giulia che mi ha sostenuto attivamente nella realizzazione del libro e mia zia Rosetta per i suoi preziosi suggerimenti.

Un sentito ringraziamento va anche alla casa editrice Grafill per avermi dato questa bella opportunità.

Davide Cicchini

LE TIPOLOGIE DI SOLAIO

1.1. Inquadramento architettonico

Un organismo edilizio si può rilevare come la sua struttura, ossia l'unione delle parti che hanno lo scopo di materializzare «quella forma». Questo sistema di relazioni da luogo all'apparecchiatura costruttiva. Questa è quindi un insieme di parti tra loro correlati e integrati che si definiscono «elementi di fabbrica».

Gli elementi di fabbrica servono per delimitare gli spazi e assicurare la condizione di comfort. Negli edifici di forma parallelepipedica si distinguono nettamente due tipologie di elementi di fabbrica con collocazione e funzione ben distinte: le chiusure verticali e le chiusure orizzontali. Per le costruzioni con struttura a telaio le chiusure verticali spesso non hanno una funzione prettamente strutturale, ma ricoprono un ruolo cruciale per il comfort e l'agibilità dell'organismo edilizio. Ad esempio si pensi alle tamponature oppure alle chiusure in vetro.

Al contrario per le strutture a pareti le chiusure verticali sono garanti anche della sicurezza statica e dinamica dell'edificio, si pensi alle strutture in muratura, oppure a setti portanti in calcestruzzo armato.

Le chiusure orizzontali ricoprono quasi sempre un ruolo strutturale, in quanto sorreggono un prestabilito carico ortogonale. Esistono tre sottocategorie di chiusure orizzontali:

- 1) per la delimitazione tra spazio interno e il suolo attraverso le chiusure orizzontali di base, come le platee di fondazione o solai intercapedine;
- 2) per la delimitazione dello spazio interno tramite le chiusure orizzontali intermedie, come i solai interpiano;
- 3) per la delimitazione con lo spazio esterno grazie alle chiusure orizzontali di copertura.

Altri elementi di fabbrica necessari per garantire il collegamento tra spazi a differenti livelli sono il «corpo scale» e il «corpo ascensore».

Gli elementi di fabbrica sono a loro volta formati da più parti definiti elementi costruttivi funzionali. Questi sono detti funzionali perché ricoprono un ruolo ben definito, sia esso strutturale oppure legato all'agibilità. Ad esempio per un solaio in laterocemento sono da considerare elementi costruttivi funzionali: le pignatte, la caldana, i travetti, i massetti, i pavimenti e gli intonaci. Ogni elemento ricopre un ruolo preciso sia esso estetico, di comfort oppure strutturale.

Gli elementi costruttivi funzionali, salvo casi particolari, sono elementi compositi, cioè formati da più parti aventi un ruolo specifico ai fini sia della costruibilità sia delle capacità prestazionali richieste dall'elemento costruttivo stesso.

Le parti che compongono gli elementi costruttivi funzionali vengono a sua volta definiti elementi costruttivi di base. Ad esempio i travetti sono formati da acciaio e calcestruzzo; oppure per citare un elemento non strutturale, un intonaco sarà costituito da calcestruzzo, stucco e vernice.

Gli elementi costruttivi di base sono costituiti dalle materie prime per l'edilizia, ossia gli elementi presenti in natura che lavorati e uniti opportunamente possono dar vita ai materiali primari per l'edilizia. Ne sono dei tipici esempi il calcestruzzo e i laterizi.

Lo studio in questo caso è rivolto alla progettazione strutturale di solai in laterocemento, per queste ragioni si identificano le componenti che lo caratterizzano e lo identificano a livello strutturale, tralasciando gli aspetti estetici ed energetici: legati all'impiantistica e alla coibentazione.

1.2. Requisiti funzionali

Il requisito essenziale che l'orizzontamento deve possedere è sicuramente quello di sostenere il peso proprio, il peso legato al carico non strutturale, ovvero il peso degli elementi portati e il peso legato al carico di esercizio, sostanzialmente legato alla folla e agli oggetti che gravano su di esso.

Il solaio, per tutte le nuove costruzioni, deve possedere una sufficiente rigidità nel piano in modo da ridistribuire le azioni orizzontali, generalmente legate al sisma e al vento, sugli elementi verticali in modo da far collaborare in modo uniforme la struttura quando sia sottoposta all'azione. La struttura deve possedere anche capacità funzionali legate al comfort e alla sicurezza, quindi è richiesta una limitata deformabilità, un buon isolamento termico e acustico; nonché una sufficiente resistenza al fuoco.

1.3. La definizione di solaio

Si intendono con il nome di solai le strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano con prevalente comportamento resistente monodirezionale.

A livello geometrico sono caratterizzati da una «luce» pari alla massima distanza tra due appoggi consecutivi, da una «campata» definita come la porzione di solaio compresa tra due appoggi, da un'orditura che rappresenta la direzione della struttura portante del solaio. In un solaio possono essere individuate più orditure perché molteplici possono essere le sue strutture portanti. Al di sopra dei travetti è spesso presente una soletta in calcestruzzo armato (in sua assenza il solaio si dice «a raso») avente la funzione di ripartizione dei carichi e di irrigidimento del piano.

Quando l'orizzontamento è realizzato in un unico getto di calcestruzzo (solette piene e solette nervate) oppure è costituito da un doppio ordine di travi ortogonali si sta realizzando una struttura a comportamento bidirezionale, ossia un elemento che trasferisce il peso sullo scheletro portante attraverso ogni punto di appoggio in tutte le direzioni. Questa tipologia di elementi non può essere studiata con la teoria legata agli elementi monodimensionali bensì occorre analizzarla con i fondamenti analitici legati agli elementi a due dimensioni (modello a piastra-lastra) da questa constatazione discende il nome ad essi associato.

1.4. Le tipologie di solaio

Nonostante gli elementi a comportamento bi-direzionali non rientrino, per definizione nella categoria dei solai, nella pratica questi sono esaminati in fase di classificazione delle

tipologie, in quanto il ragionamento è indirizzato a valutare le diverse tipologie di chiusure orizzontali realizzabili in edilizia.

Si possono costruire diverse tipologie di solaio (chiusure orizzontali) utilizzando i materiali primari per l'edilizia: legno, acciaio e calcestruzzo.

1.4.1. Solai in legno

I solai in legno, sono le chiusure di concezione più antica, sono costituiti da una struttura di travi portanti definita orditura, su cui poggia un ulteriore strato di chiusura. Lo strato di chiusura può essere realizzato attraverso tavole in legno (assito) oppure elementi in laterizio, ossia parallelepipedi forati dalla forma schiacciata denominati «tavelle», oppure nelle costruzioni del passato attraverso delle voltine in mattoni o lastre in pietra. Sulla superficie del secondo strato viene steso il manto di finitura: massetti e pavimenti.

Sulla struttura portante del solaio ligneo si distinguono due tipologie generali distinte in base alla disposizione delle travi: orditura semplice e complessa.

L'orditura semplice viene impiegata quando la luce da coprire è inferiore ai 4 metri, essa è caratterizzata da una realizzazione molto semplice e veloce, infatti si dispongono i travetti ad un interasse di 60-80 cm e in secondo strato si stende il tavolato. Il peso del solaio viene scaricato solo sulle pareti dove sono poggiate le travi portanti, le quali hanno una dimensione contenuta, essendo queste poste a distanza ravvicinata.

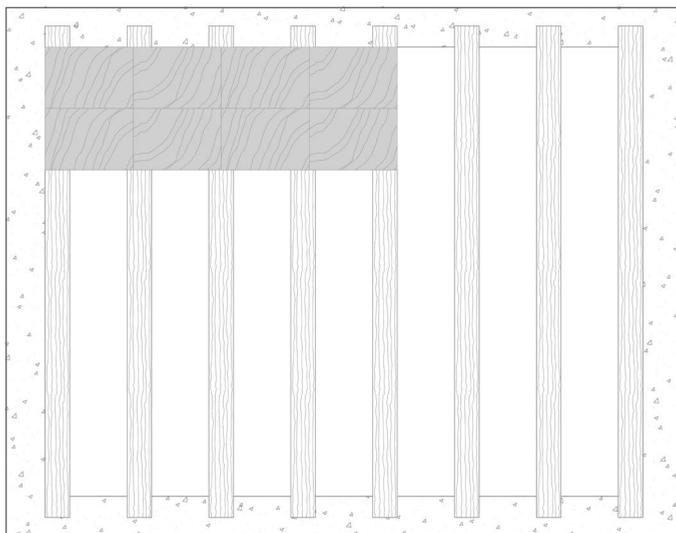


Figura 1.1. Solaio in legno: orditura semplice

I solai ad orditura complessa sono generalmente realizzati in doppia e più di rado in tripla orditura. I solai a doppia orditura hanno travi principali di grandi dimensioni poste abitualmente ad interasse di 3-4 m e travetti disposti ad interassi di 30-60 cm. Le travi secondarie sono poggiate sulle travi della prima orditura creando di fatto un pacchetto strutturale di spessore notevole. Nell'edilizia attuale con questa tecnologia si risolvono i solai di copertura, infatti nel sottotetto avendo delle altezze maggiori a causa delle pendenze della falda non ci si

preoccupa dell'elevato spessore del pacchetto e si procede alla realizzazione di una struttura efficiente, confortevole e di grande gusto estetico.

Quando per ragioni costruttive è necessario contenere gli spessori, si può procedere alla realizzazione di solai in legno a cassettoni. In questo caso i due ordini di travi hanno spessore e interassi uguali, perdendo di fatto la gerarchia tra trave primaria e secondaria. Il collegamento si realizza attraverso degli scassi a seggiola nelle travi assicurate da connessioni meccaniche con elementi in acciaio. In questa tipologia il comportamento dell'impalcato è bidirezionale in quanto il peso viene scaricato su quattro lati.

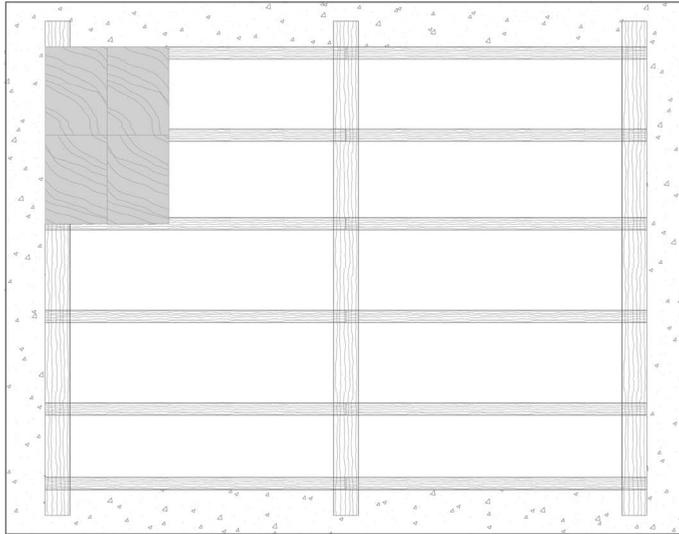


Figura 1.2. Solaio in legno: doppia orditura

1.4.2. Solai in acciaio

Nelle costruzioni moderne i solai in acciaio si compongono utilizzando profilati metallici a T doppio, per formare l'orditura principale e lamiere grecate con getto in opera per realizzare l'orizzontamento.

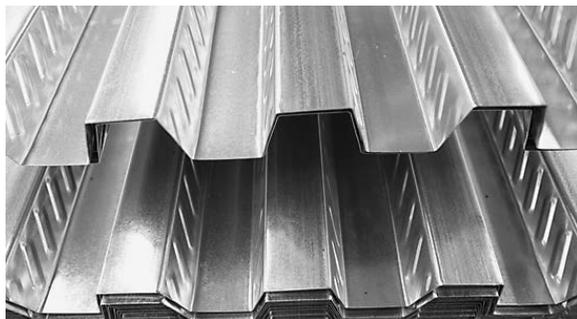


Figura 1.3. Lamiere grecate collaboranti

ESEMPIO PROGETTUALE SOLAIO DI PIANO

2.1. Descrizione dell'opera

L'esempio di seguito approfondito ha lo scopo di descrivere il predimensionamento, la progettazione e la verifica di un solaio in laterocemento di un edificio destinato all'uso di civile abitazione. La struttura dell'edificio è in calcestruzzo armato gettato in opera; i solai sono realizzati con travetti tralicciati con fondello in laterizio.

Nella seguente figura 2.1 la descrizione della pianta di un piano tipo.

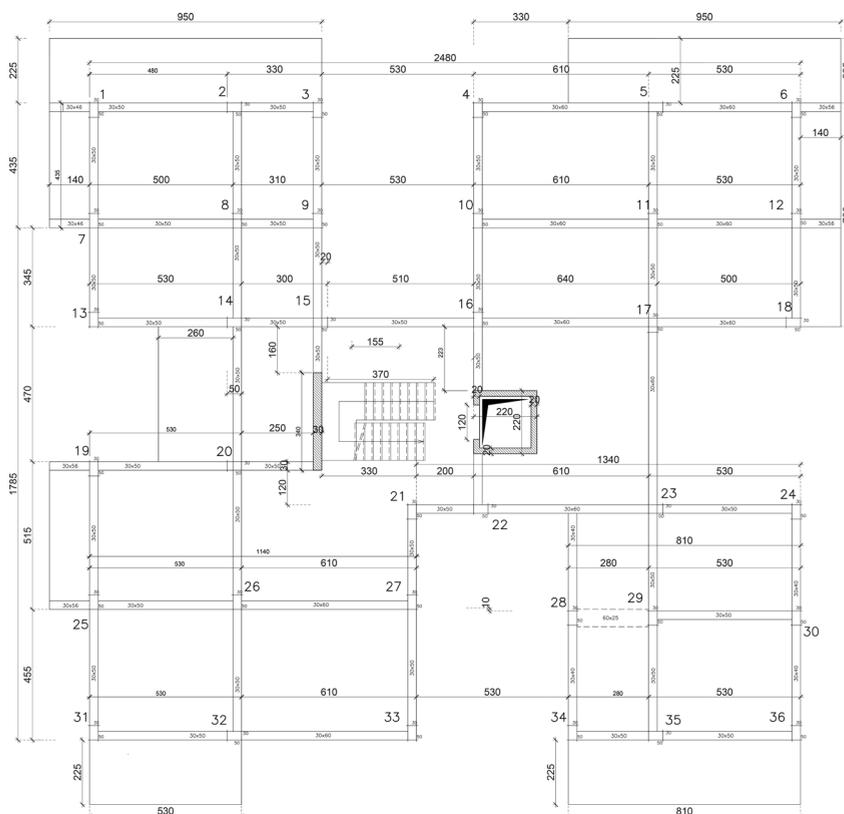


Figura 2.1. Pianta di piano

L'orditura dei solai è stata studiata in modo da ripartire il carico in modo uniforme sulle travi e in ogni caso allineando l'orditura con la direzione longitudinale dei balconi. Questa accortezza evita di dover disporre degli elementi interni in grado di assorbire la sollecitazione flessio-

nale del balcone evitando che la trave ad essa collegata sia eccessivamente sollecitata a torsione. Un'altra tecnica per evitare questo inconveniente è quella di prolungare le travi al di sotto degli sbalzi in modo da creare uno schema statico di trave appoggiata nella direzione lunga.

I solai che hanno la stessa dimensione trasversale e hanno orditura concorde vengono identificati all'interno del medesimo schema statico. In particolare si identificano le campate come lo spazio compreso tra l'interasse delle travi su cui il solaio poggia, la trave portante viene modellata come un appoggio che non interrompe la continuità strutturale della trave di solaio e i balconi sono modellati come mensole.

Studiare un elemento bidimensionale come monodimensionale è accettabile perché si può immaginare il solaio come un insieme di travi di sezione a «T» affiancate le une alle altre che poggiano sulle travi dello scheletro in calcestruzzo armato nella direzione di sviluppo della sezione. Anche se in questo modo si trascura totalmente il contributo di portanza offerta dalla direzione trasversale si verificherà come questa assunzione sia in accordo con il comportamento reale dell'elemento strutturale. Di seguito quando verrà risolto lo schema statico verranno approfonditi questi ragionamenti.

Sulla base di queste riflessioni si individuano gli schemi statici dei solai e si riportano su una pianta tipologica, come di seguito visualizzato.

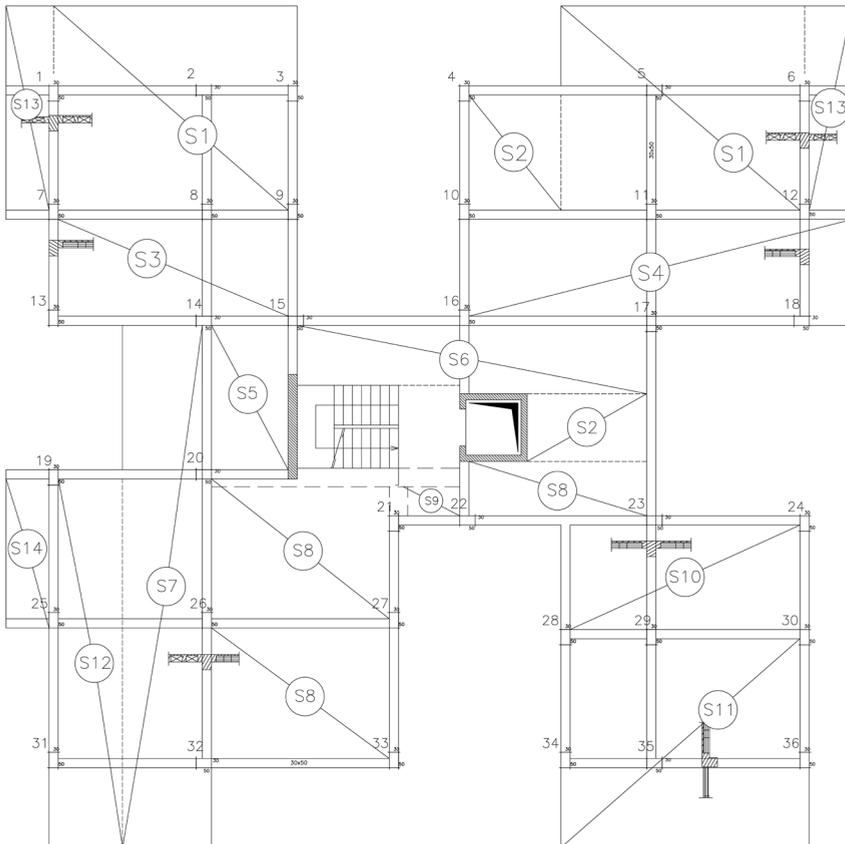


Figura 2.2. Pianta tipologica dei solai

Si procede al calcolo e la verifica del solaio denominato «S7» caratterizzato da tre campate ed uno sbalzo, si effettueranno anche delle considerazioni nei confronti del solaio «S12» simile al precedente ma con una campata in meno.

L'esempio sarà condotto definendo tutti i punti richiesti dalla normativa redigendo la relazione tecnica di calcolo ed eseguendo degli approfondimenti su ogni punto.

2.2. Normativa di Riferimento

Nella stesura della relazione tecnica è necessario riportare quali siano i riferimenti normativi seguiti in fase di progettazione.

Le NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni), approvate con il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008, stabiliscono che si può far riferimento a normative di comprovata validità, come ad esempio gli Eurocodici con gli annessi parametri nazionali (Appendici).

La stessa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, conferma che gli Eurocodici Strutturali pubblicati dal CEN costituiscono un importante riferimento per l'applicazione delle nuove norme tecniche. Per l'utilizzo compiuto degli Eurocodici Strutturali è quindi necessario far riferimento alle Appendici contenenti i «parametri nazionali» che definiscono i livelli di sicurezza delle opere di competenza degli Stati membri.

Con il D.M. 31 luglio 2012, pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* il 27 marzo 2013, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha approvato in via definitiva le Appendici nazionali contenenti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici:

- D.M. 14 gennaio 2008 «*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*»;
- UNI ENV 1991 – Eurocodice 1 «*Basi di calcolo ed azioni sulle strutture*»;
- UNI ENV 1992 – Eurocodice 2 «*Progettazione delle strutture di calcestruzzo*».

2.3. Resistenze di calcolo dei materiali

Di seguito le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nel progetto.

2.3.1. Conglomerato Cementizio: Classe 25/30

- 1) Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- 2) Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 24,9 \text{ N/mm}^2$
- 3) Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{cm} = 8 + f_{ck} = 32,9 \text{ N/mm}^2$
- 4) Resistenza di calcolo cilindrica: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14,11 \text{ N/mm}^2$
- 5) Resistenza a trazione media: $f_{ctm} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
- 6) Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 0,7 f_{ctm} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- 7) Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,20 \text{ N/mm}^2$

γ_c è il coefficiente di sicurezza del calcestruzzo posto uguale ad 1,5 in passato in Italia si utilizzava il valore 1,6. Nella nuova normativa, in coerenza con quanto suggerito dall'Eurocodice 2 (EC2), si assume questo valore con un vantaggio di circa il 7%.

$\alpha_{cc} = 0,85$ è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, sostanzialmente è un parametro che tiene conto delle differenze di modalità di rottura in laboratorio e nelle strut-

ture reali, in generale è minore dell'unità poiché la velocità di prova in laboratorio è in genere maggiore di quella con cui può collassare la struttura. In sostanza tiene conto della riduzione della resistenza per effetto di carichi che insistono per tempi lunghi.

2.3.2. Acciaio B450C (acciaio laminato a caldo) e Acciaio B450A (acciaio laminato a freddo)

1) Tensione di rottura: $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$

2) Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

3) Tensione di calcolo allo snervamento: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3 \text{ N/mm}^2$

γ_s è il coefficiente di sicurezza dell'acciaio posto uguale ad 1,15.

2.4. Legami costitutivi

La normativa prevede diversi modelli di legame fra cui il progettista può scegliere. Tutti i legami comunque sono caratterizzati dallo stesso valore di resistenza di progetto e dalla stessa deformazione ultima.

Di seguito i legami costitutivi utilizzati in fase progettuale, del calcestruzzo e dell'acciaio. Per il primo si espone il legame al netto degli effetti del coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata.

Per ogni legame si possono individuare due zone ben distinte: il tratto elastico, ossia il ramo del diagramma che evolve in modo monotono e il tratto plastico, rappresentato dal segmento rettilineo. Il comportamento meccanico del calcestruzzo a differenza dell'acciaio viene modellato sin da subito con un andamento non lineare. La normativa ragionando a vantaggio di sicurezza predispone che la resistenza a trazione del conglomerato cementizio sia nulla, per questi motivi l'evoluzione del diagramma costitutivo ha luogo solo dal lato compresso. Invece per l'acciaio la Norma assegna un comportamento meccanico sia a trazione sia a compressione assolutamente identico.

2.4.1. Legame costitutivo del calcestruzzo

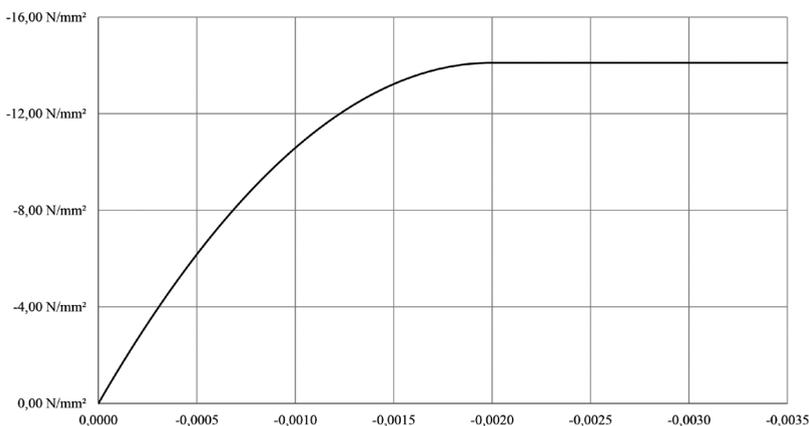


Figura 2.3. Legame costitutivo del calcestruzzo

ESEMPIO PROGETTUALE SOLAIO DI COPERTURA A DOPPIA FALDA

3.1. Descrizione dell'opera

L'esempio di seguito approfondito ha lo scopo di descrivere il predimensionamento, la progettazione e la verifica di un solaio di copertura in laterocemento di un edificio destinato all'uso di civile abitazione sito a L'Aquila.

La struttura dell'edificio è in calcestruzzo armato gettato in opera, le chiusure orizzontali di interpiano sono realizzate con solai in laterocemento così come il solaio di copertura, il quale è considerata non praticabile.

Il caso riportato a titolo di esempio, è una copertura semplice a doppia falda. Bisogna però ricordare che la geometria della copertura è legata alla geometria della struttura globale, alle scelte architettoniche e alle esigenze strutturali, per cui a seconda delle necessità, potrebbe essere necessario realizzare una copertura a padiglione, una copertura piana oppure a doppia falda come quella che verrà illustrata.

Di seguito, nella figura 3.1 una sezione tipo a titolo di esempio:

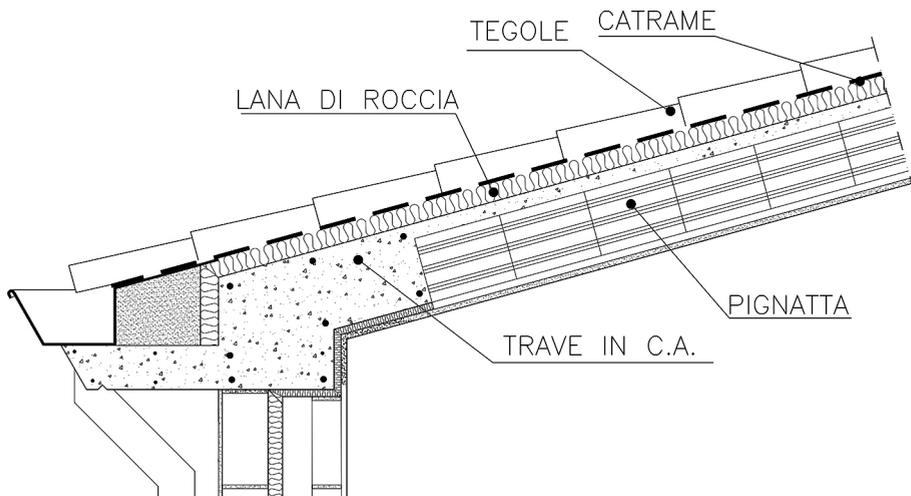


Figura 3.1. Sezione tipo della copertura

In questo caso per esigenze costruttive l'orditura dei travetti è tessuta parallelamente alla falda del tetto. Quando si costruisce una struttura di questo tipo bisogna sempre considerare che il travetto oltre a sopportare la sollecitazione di flessione e taglio, deve sopportare anche lo sforzo normale, descrivendo di fatto una struttura definita «spingente».

Quando è possibile conviene sempre evitare questa disposizione allineando i travetti ortogonalmente alla falda, in questo modo ogni elemento avrà il proprio asse distribuito sempre alla stessa quota eliminando la spinta causata dall'inclinazione dell'elemento.

Di seguito si riporta la pianta quotata e le sezioni della struttura, in relazione alla copertura:

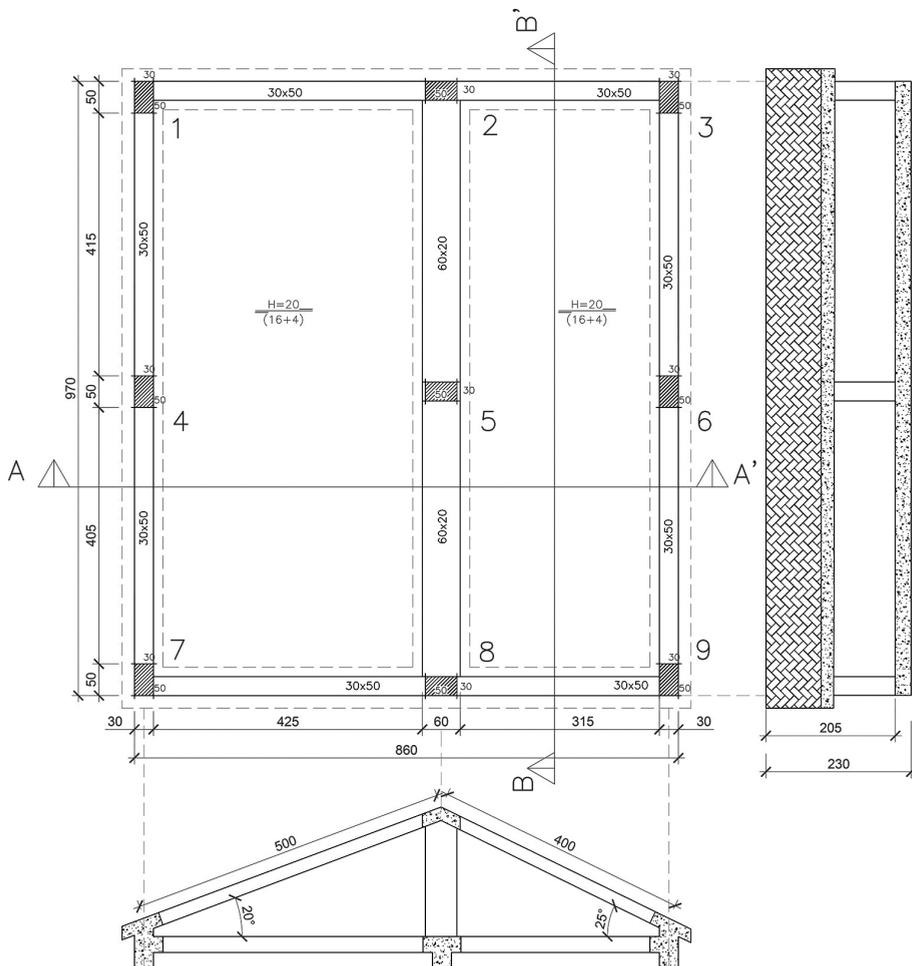


Figura 3.2. Pianta e sezioni della copertura

In questo caso si individua un'unica tipologia di solaio individuato dall'unico schema attribuibile alla seguente configurazione. La definizione nel dettaglio verrà analizzata nel seguito.

3.2. Normativa di riferimento

Come per l'esempio precedente si riportano i riferimenti delle normative e delle linee guida analizzate nella progettazione.

Le NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni), approvate con il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008, stabiliscono che si può far riferimento a normative di comprovata validità, come ad esempio gli Eurocodici con gli annessi parametri nazionali (Appendici).

La stessa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, conferma che gli Eurocodici Strutturali pubblicati dal CEN costituiscono un importante riferimento per l'applicazione delle nuove norme tecniche. Per l'utilizzo compiuto degli Eurocodici Strutturali è quindi necessario far riferimento alle Appendici contenenti i «parametri nazionali» che definiscono i livelli di sicurezza delle opere di competenza degli Stati membri.

Con il D.M. 31 luglio 2012, pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* il 27 marzo 2013, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha approvato in via definitiva le Appendici nazionali contenenti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici.

- D.M. 14 gennaio 2008 «*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*»;
- UNI ENV 1991 – Eurocodice 1, «Basi di calcolo ed azioni sulle strutture»;
- UNI ENV 1992 – Eurocodice 2, «Progettazione delle strutture di calcestruzzo»;

3.3. Resistenze di calcolo dei materiali

Di seguito le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nel progetto.

3.3.1. Conglomerato Cementizio: Classe 25/30

- 1) Resistenza caratteristica cubica: $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- 2) Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 24,9 \text{ N/mm}^2$
- 3) Resistenza caratteristica cilindrica: $f_{cm} = 8 + f_{ck} = 32,9 \text{ N/mm}^2$
- 4) Resistenza di calcolo cilindrica: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14,11 \text{ N/mm}^2$
- 5) Resistenza a trazione media: $f_{ctm} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
- 6) Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 0,7 f_{ctm} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- 7) Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,20 \text{ N/mm}^2$

γ_c è il coefficiente di sicurezza del calcestruzzo posto uguale ad 1,5 in passato in Italia si utilizzava il valore 1,6. Nella nuova normativa, in coerenza con quanto suggerito dall'Eurocodice 2 (EC2), si assume questo valore con un vantaggio di circa il 7%.

$\alpha_{cc} = 0,85$ è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, sostanzialmente è un parametro che tiene conto delle differenze di modalità di rottura in laboratorio e nelle strutture reali, in generale è minore dell'unità poiché la velocità di prova in laboratorio è in genere maggiore di quella con cui può collassare la struttura. In sostanza tiene conto della riduzione della resistenza per effetto di carichi che insistono per tempi lunghi.

3.3.2. Acciaio B450C (acciaio laminato a caldo) e Acciaio B450A (acciaio laminato a freddo)

- 1) Tensione di rottura: $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- 2) Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- 3) Tensione di calcolo allo snervamento: $f_{yld} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3 \text{ N/mm}^2$

γ_s è il coefficiente di sicurezza dell'acciaio posto uguale ad 1,15.

3.3.3. Pesi per unità di volume

L'elenco dei pesi per unità di volume dei principali materiali strutturali è riportato nella tabella 3.1.I delle NTC08, quelli elencati sono valori caratteristici del carico. Per i materiali non compresi nella tabella si potrà fare riferimento a specifiche indagini sperimentali o a normative di comprovata validità assumendo i valori nominali come valori caratteristici.

Si riportano, riassunti in seguito i pesi dei materiali adottati, strutturali e non:

Tabella 3.1. Pesi specifici dei materiali impiegati

Materiale	Peso	Unità
Conglomerato cementizio armato	25	KN/m ³
Pignatta in laterizio	8	KN/m ³
Intonaco in malta di calce	18	KN/m ³
Malta bastarda	19	KN/m ³
Lana di roccia+catrame	0,7	KN/m ³
Poliuretano espanso	0,43	KN/m ²

3.4. Predimensionamento del solaio di copertura

Per il predimensionamento del solaio di copertura si può fare affidamento a quanto riportato nel D.M. del 1996, infatti per solaio vincolato in semplice appoggio monodirezionale, il rapporto tra luce di calcolo e spessore del solaio non deve essere superiore a 25.

Nel caso progettuale analizzato la luce della campata più lunga corrisponde a 5 m, che di fatto coincide ad assumere uno spessore di solaio di almeno 20 cm. Si assume come interasse dei travetti: 50 cm e come larghezza: 12 cm.

Si studierà quindi un solaio costituito da pignatte alte 16 cm e soletta da 4 cm.

Si riporta la sezione con le dimensioni di calcolo:

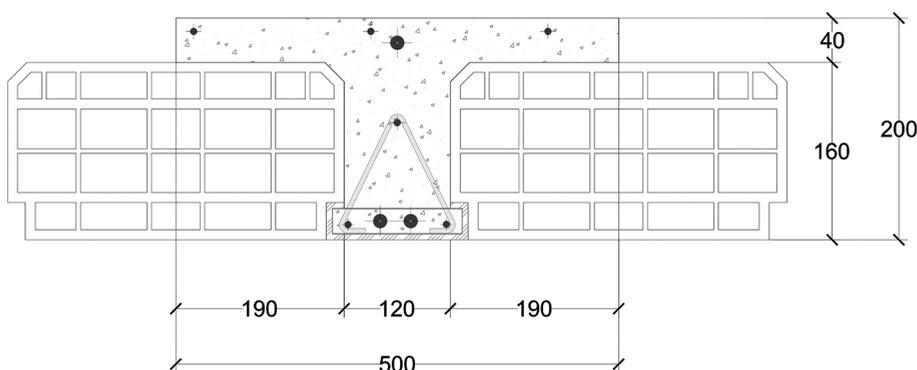


Figura 3.3. Sezione di solaio di copertura

3.5. Definizione del carico neve

Per il calcolo si fa riferimento al paragrafo 3.4 delle NTC2008.

FOGLI DI CALCOLO

4.1. Fogli Excel allegati al volume

In allegato al manuale sono previsti i seguenti fogli di calcolo:

- Calcolo solaio bausta slu-sle;
- Sollecitazioni trave continua;
- Combinazione delle azioni;
- Lunghezza ancoraggio barre;
- Legami costitutivi;
- Calcolo azione neve NTC08.

Per l'utilizzo dei fogli di calcolo è richiesto MS Excel 2013 o vs. successive.

4.1.1. Calcolo solaio bausta slu-sle

Il programma risolve il problema della trave continua su appoggi fissi per un massimo di tre campate, il problema della trave semplicemente appoggiata e il problema della trave incastrata; ricoprendo gli schemi statici più comuni per la progettazione di solai e balconi.

Si può definire l'inclinazione delle travi per modellare le coperture e si possono selezionare diverse tipologie di sezioni per descrivere solai ribassati e solette piene disposte in continuità con il solaio di piano.

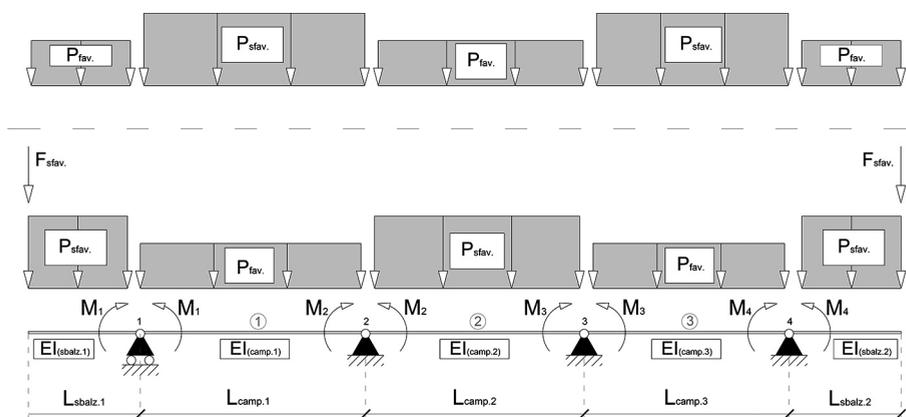


Figura 4.1. Schema statico di calcolo adottato per la soluzione del problema iperstatico

Dal programma si ottengono gli involucri delle sollecitazioni allo SLU e SLE, nonché un supporto per la progettazione delle armature e la verifica alle condizioni di esercizio.

Si risolve il problema iperstatico della trave continua su appoggi fissi sfruttando l'equazione dei tre momenti (Equazione di Clapeyron), per un massimo di due incognite iperstatiche. Nel calcolo si tiene conto della variazione di rigidezza di ogni tratto in quanto in automatico vengono considerate le caratteristiche geometriche della sezione utilizzata.

Il modulo elastico del materiale è assunto costante per tutto l'elemento ed è definito attraverso la classe di resistenza del calcestruzzo.

Sui nodi esterni si può introdurre un momento concentrato per modellare la rigidezza del nodo. Tale momento entra in gioco nel calcolo, dell'incognita iperstatica, riducendo la sollecitazione in campata e modellando in modo più attendibile il comportamento reale del solaio.

Nei punti successivi si elencano quali sono i dati da inserire nel software di calcolo e quali sono i risultati:

- Nell'input 1.1 deve essere indicato il titolo della relazione.
- Nell'input 1.2 si devono selezionare il numero di campate e di sbalzi nonché le dimensioni degli elementi e la tipologia di sezione utilizzata. Si deve definire anche la larghezza di calcolo del travetto la quale si deve assumere pari all'interasse delle pignatte.
- Nell'input 1.2.1 si deve inserire la larghezza del travetto di solaio, si deve assumere pari all'interasse delle pignatte.
- Nell'input 1.3 si decide se modellare l'estremo libero della trave con un vincolo elastico oppure di lasciare il comportamento a cerniera. La scelta ripercuote i suoi effetti sul momento in campata. Infatti l'introduzione di un momento negativo sull'estremo della trave riduce la sollecitazione sulla campata subito seguente. Si possono assegnare valori differenti per i due appoggi estremi. Quando è presente il balcone la coppia concentrata viene disattivata in automatico.
- Nell'input 1.4 si definisce la classe di resistenza del calcestruzzo.
- Nell'input 1.5 si definiscono i pesi specifici dei materiali da utilizzare nell'analisi dei carichi.
- Nell'input 1.6 Si definiscono le dimensioni degli elementi che costituiscono il pacchetto strutturale relativo al solaio in cui si individua la sezione 1. Si devono inserire le dimensioni delle pignatte, della soletta e della nervatura. Inoltre è richiesta la destinazione d'uso per la definizione dei coefficienti e dei carichi variabili. Si richiede la classe di esposizione (corrosione indotta da carbonatazione XC e assenza di corrosione X0) per il calcolo dei copriferri.
- Nell'input 1.7 Si definiscono le dimensioni degli elementi che costituiscono il pacchetto strutturale relativo al solaio in cui si individua la sezione 2. Si devono inserire le dimensioni delle pignatte, della soletta e della nervatura. Inoltre è richiesta la destinazione d'uso per la definizione dei coefficienti e dei carichi variabili. Con la sezione tipo 2, si possono descrivere le coperture quindi sono richiesti gli spessori degli isolanti e il peso delle tegole. Laddove si volesse descrivere una copertura piana con pavimentazione basta assegnare 0 al peso specifico delle tegole e inserire lo spessore della pavimentazione. Si può decidere quale carico variabile tra «folla» e «neve» si deve considerare come «principale», in particolare si devono effettuare due analisi separate ed assumere la condizione più gravosa. Anche in questo caso si richiede la classe di esposizione (corrosione indotta da carbonatazione XC e assenza di corrosione X0) per il calcolo dei copriferri.

ALLEGATO A

**Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 2,
prodotta dal foglio elettronico «Calcolo solaio bausta slu-sle»**



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1 RESISTENZE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Classe calcestruzzo		C25/30
Coef. Riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	30,00 N/mm ²
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	32,90 N/mm ²
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	24,90 N/mm ²
Resistenza cilindrica di calcolo	f_{cd}	14,11 N/mm ²
Resistenza a trazione caratteristica	f_{ctm}	2,56 N/mm ²
Resistenza a trazione media	f_{ctk}	1,79 N/mm ²
Resistenza a trazione di calcolo	f_{ctd}	1,19 N/mm ²
Resistenza tangenziale di calcolo	f_{bd}	2,69 N/mm ²
Modulo di Young	E_c	31447 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza	γ_c	1,50

Acciaio:

Tipo Acciaio		Fe B450C
Tensione di Rottura	f_k	450,0 N/mm ²
Tensione di snervamento	f_{yk}	540,0 N/mm ²
Resistenza di calcolo	f_{yd}	391,3 N/mm ²
Modulo di Young	E_s	210000 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza	γ_s	1,15

2 DEFORMAZIONE LIMITE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Deformazione limite del tratta parabolico	ϵ_{c2}	-2,00 ‰
Deformazione ultima (tratto rettangolare)	ϵ_{cu}	-3,50 ‰

Acciaio:

Deformazione allo snervamento	ϵ_{yd}	± 1,87 ‰
Deformazione ultima	ϵ_{ud}	± 67,50 ‰
Deformazione ultima	ϵ_{uk}	± 75,00 ‰
Rapporto di sovrarresistenza	k	1,20

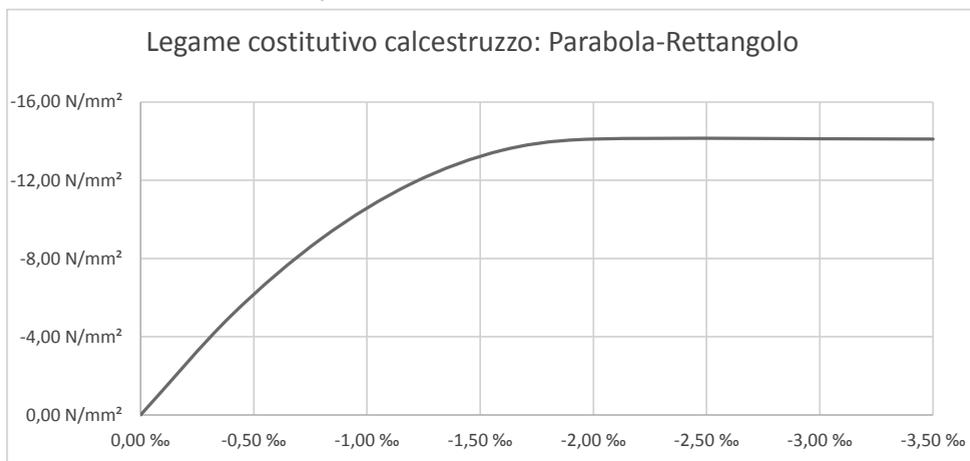


PRONTO
GRAFILL

CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE

3 LEGAMI COSTITUTIVI DI CALCOLO

Calcestruzzo: C25/30



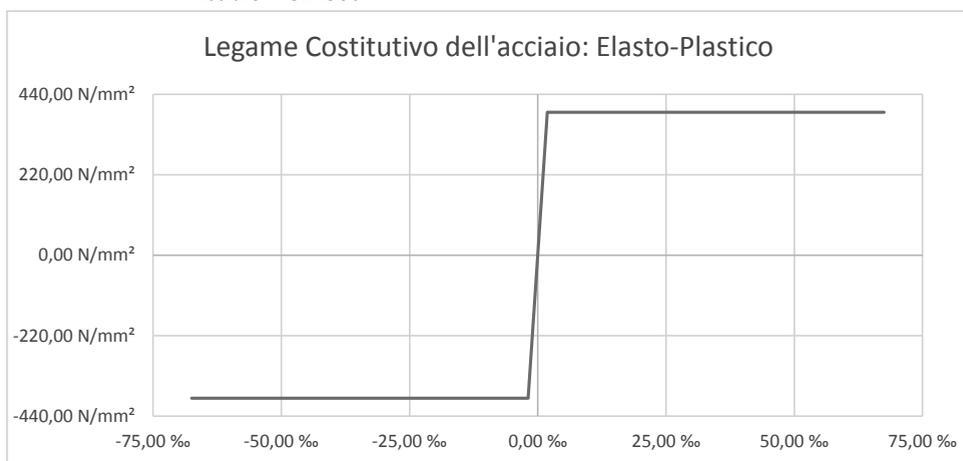
Tratto Parabolico

$$\sigma_c(\varepsilon_c) = 2 \frac{f_{cd}}{\varepsilon_{c2}} \left(\varepsilon_c - \frac{\varepsilon_c^2}{2\varepsilon_{c2}} \right) \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

Tratto costante

$$\sigma_c(\varepsilon_c) = f_{cd} \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{c2}$$

Acciaio: FeB450c



Tratto lineare

$$\sigma_s(\varepsilon_s) = E_s \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd}$$

Tratto costante

$$\sigma_s(\varepsilon_s) = f_{yd} \quad \varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

ALLEGATO B

**Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 3,
prodotta dal foglio elettronico «Calcolo solaio bausta slu-sle»**



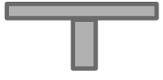
**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOLAIO DI COPERTURA

1 GEOMETRIA E DURABILITA'

1.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI

	Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	
Larghezza di calcolo soletta	b	500 mm	500 mm	500 mm
Larghezza nervatura	b _w	120 mm	120 mm	
Spessore soletta	s	50 mm	40 mm	
Altezza totale	h _{tot}	250 mm	200 mm	200 mm
Momento statico	S _x	4225000 mm ³	2704000 mm ³	10000000 mm ³
Area	A _c	49000 mm ²	39200 mm ²	100000 mm ²
Posizione baricentro	y _G	86 mm	69 mm	100 mm
Momento d'inertia	I _x	276534864 mm ⁴	141585850 mm ⁴	333333333 mm ⁴
forma				

1.2 CLASSE DI ESPOSIZIONE E LIMITAZIONI SULLA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO

	Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3
Classe di esposizione	XC1 Asciutto o permanentemente bagnato	XC4 Ciclicamente bagnato asciutto	XC4 Ciclicamente bagnato asciutto
Copriferro minimo per garantire la durabilità C _{min,dur}	10 mm	25 mm	25 mm
Copriferro minimo per garantire l'aderenza C _{min,b}	0 mm	10 mm	0 mm
Copriferro minimo adottato per la definizione dell'altezza utile	10 mm	25 mm	25 mm
Copriferro di progetto	20 mm	35 mm	35 mm
Altezza utile della sezione	230 mm	165 mm	165 mm
Massimo rapporto acqua cemento	tra 0,65-0,50	tra 0,65-0,50	tra 0,65-0,50
Minimo contenuto di cemento della miscela	tra 260 e 300 kg/m ³	tra 260 e 300 kg/m ³	tra 260 e 300 kg/m ³
Umidità relativa	55%	55%	55%
Coefficiente di viscosità	2,58	2,69	2,50
Modulo elastico efficace	8775 N/mm ²	8513 N/mm ²	8985 N/mm ²

XC Corrosione indotta da carbonatazione	XC1 Asciutto o permanentemente bagnato
	XC2 Bagnato raramente asciutto
	XC3 Umidità moderata
	XC4 Ciclicamente bagnato asciutto
X0 Assenza di rischio di corrosione	



PRONTO
GRAFILL

CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE

2 COMBINAZIONI E SCHEMI DI CARICO

2.1 CARICO

Sezione	TIPO 1
G1	3,67 kN/m ²
G2	4,39 kN/m ²
QK,FOLLA	2,00 kN/m ²
Larg.di calcolo	0,50 m
Dest. Uso	A

Sezione	TIPO 2
G1	2,93 kN/m ²
G2	0,94 kN/m ²
QK,NEVE+FOLLA	1,77 kN/m ²
Larg.di calcolo	0,50 m
Dest. Uso	I+H

Sezione	TIPO 3
G1	5,00 kN/m ²
G2	1,74 kN/m ²
QK,FOLLA	4,00 kN/m ²
Larg.di calcolo	0,50 m
Dest. Uso	C

	sbalzo1 TRATTO 0-1	campata1 TRATTO 1-2	campata2 TRATTO 2-3	campata3 TRATTO 3-4	sbalzo2 TRATTO 4-5
G1	0,00 kN/m	1,38 kN/m	1,33 kN/m	0,00 kN/m	0,00 kN/m
G2	0,00 kN/m	0,44 kN/m	0,43 kN/m	0,00 kN/m	0,00 kN/m
Qk	0,00 kN/m	0,83 kN/m	0,80 kN/m	0,00 kN/m	0,00 kN/m
L	0,00 m	5,00 m	4,00 m	0,00 m	0,00 m
F conc. Sbalzo	0,00 kN				0,00 kN
Sezione	TIPO 3	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 3

L _{totale}
9,00 m

2.2 COMBINAZIONI DI CARICO

<i>STATO LIMITE ULTIMO</i>	$\gamma G1 * G1 + \gamma G2 * G1 + \gamma p * P + \gamma Q1 * Qk1 + \gamma Q2 * \psi 02 * Qk2 + \gamma Q3 * \psi 03 * Qk3 + \dots$
<i>SLE CARATTERISTICA</i>	$G1 + G1 + P + Qk1 + \psi 02 * Qk2 + \psi 03 * Qk3 + \dots$
<i>SLE FREQUENTE</i>	$G1 + G1 + P + \psi 11 * Qk1 + \psi 22 * Qk2 + \psi 23 * Qk3 + \dots$
<i>SLE QUASI PERMANENTE</i>	$G1 + G1 + P + \psi 21 * Qk1 + \psi 22 * Qk2 + \psi 23 * Qk3 + \dots$

	Categoria/Azione Variabile	$\psi 0j$	$\psi 1j$	$\psi 2j$
A	Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
B	Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
C	Categoria C Ambienti suscettibili ad affollamento	0,7	0,7	0,6
D	Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
E	Categoria E Biblioteche, Archivi, Magazzini e amb. ad uso industr.	1,0	0,9	0,8
F	Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30kN$)	0,7	0,7	0,6
G	Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30kN$)	0,7	0,5	0,3
H	Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
I	Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
J	Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2

	STR	FAVOREVOLE	SFAVOREVOLE
$\gamma G1$	carichi permanenti	1,00	1,30
$\gamma G2$	carichi permanenti non strutturali	0,00	1,50
γQi	carichi variabili	0,00	1,50

2.2.1 Coefficienti di combinazione per lo stato limite ultimo

Campata Sezione Dest. Uso	sbalzo1		campata1	campata2	campata3	sbalzo2	
	TRATTO 0-1		TRATTO 1-2	TRATTO 2-3	TRATTO 3-4	TRATTO 4-5	
	TIPO 3		TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 3	
	C	C	I+H	I+H	I+H	C	C
G1,sfav	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
G2,sfav	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
QK,sfav	1,50	1,50	1,08	1,08	1,08	1,50	1,50
G1,fav	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G2,fav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
QK,fav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2.2.2 Coefficienti di combinazione per lo stato limite esercizio caratterisita

Campata Sezione Dest. Uso	sbalzo1		campata1	campata2	campata3	sbalzo2	
	TRATTO 0-1		TRATTO 1-2	TRATTO 2-3	TRATTO 3-4	TRATTO 4-5	
	TIPO 3		TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 3	
	C	C	I+H	I+H	I+H	C	C
G1,sfav	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G2,sfav	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
QK,sfav	1,00	1,00	0,72	0,72	0,72	1,00	1,00
G1,fav	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G2,fav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
QK,fav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ALLEGATO C

**Relazione di calcolo relativa all'esempio calcolato al capitolo 3,
prodotta dal foglio elettronico «Calcolo azione neve NTC08»**



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

AZIONE DELLA NEVE PAR. 3.4 NTC08

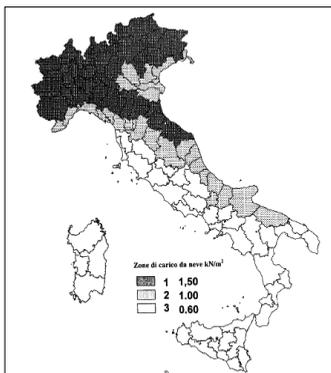
1.DEFINIZIONE DEI DATI

Il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota $a_s \leq 1500$ m s.l.m., non dovrà essere assunto minore di quello indicato in tabella, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Per altitudini $a_s \geq 1500$ m s.l.m. si dovrà fare riferimento a valori statistici locali utilizzando comunque valori non inferiori a quelli previsti per 1500m

1.1 a_s (altitudine sul livello del mare): 700 [m]

1.2 zona: Zona III

<p><u>Zona I - Alpina</u> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.</p>	<p>$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$</p>
<p><u>Zona I - Mediterranea</u> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.</p>	<p>$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$</p>
<p><u>Zona II</u> 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.</p>	<p>$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$</p>
<p><u>Zona III</u> Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, 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.</p>	<p>$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$</p>



2 CALCOLO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

q_{sk} valore caratteristico della neve al suolo **1,59** [kN/m²]

3 CALCOLO DEI COEFFICIENTI

3.1 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione deve essere utilizzato per modificare il valore del carico della neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Normalmente si adotta **C_e=1**. Si riportano in tabella i coefficienti consigliati per le diverse classi di topografia.

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
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1,1

3.1.1 Classe di topografia:

Normale

Il coefficiente di esposizione vale:

C_E 1,00

3.2 Coefficiente termico

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

Il coefficiente topografico vale:

c_t 1,00

3.2 Coefficiente di forma

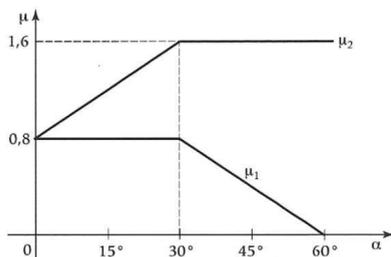
3.2.1 Inclinazione della falda α (1)

20 [deg]

3.2.2 Inclinazione della falda α (2)

25 [deg]

3.2.3 Legge di variazione del coefficiente di forma:



$\mu_1 (\alpha_1)$	0,80
$\mu_1 (\alpha_2)$	0,80
$\mu_2 (\alpha)$	1,40

	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1 (\alpha)$	0,80	$0.8(60-\alpha)/30$	0,00
$\mu_2 (\alpha)$	$0.8+0,8 \alpha/30$	1,60	0,00



CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE

