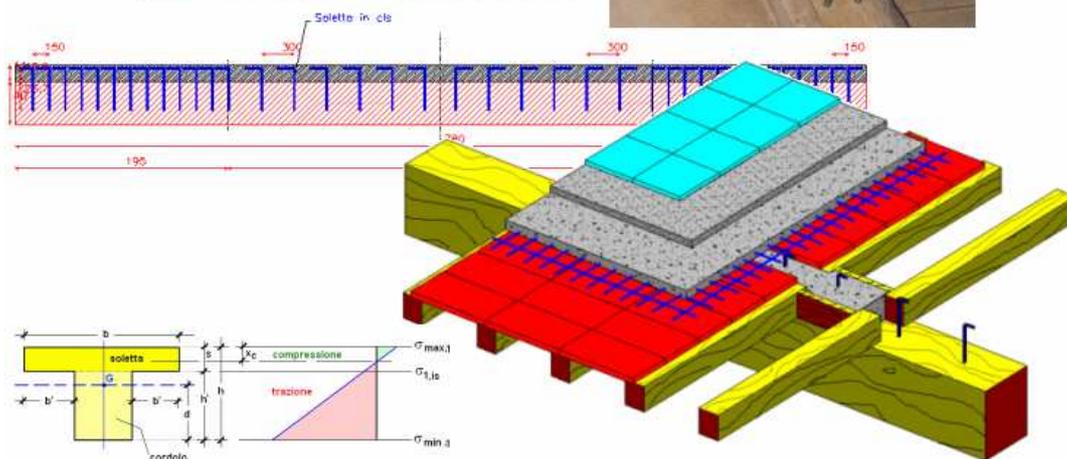


AEDES Software



SOLAI MISTI IN **L**EGNO E **C**ALCESTRUZZO

Conforme alla **nuova Normativa Tecnica** (D.M. 14.1.2008)



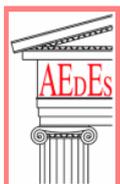
Manuale completo

TEORIA - MANUALE D'USO - ESEMPI APPLICATIVI

Manuale di SLC © AEDES Software

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale, a norma di legge e delle convenzioni internazionali. Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta in qualsiasi forma o mezzo elettronico o meccanico, per alcun uso, senza il permesso scritto della AEDES Software per Ingegneria Civile.

Edizione 2012 conforme al D.M. 14.1.2008
(rev. 2012.01: marzo 2012)



© **AEDES** Software per Ingegneria Civile
Via F. Aporti 32 - 56028 SAN MINIATO (PI)
Tel.: **0571.401073** - Fax: **0571.401173**
E-mail: **info@aedes.it** - Internet: **www.aedes.it**

AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

La AEDES Software si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma SLC, descritto nella documentazione ad esso associata, in qualsiasi momento e senza preavviso. Il software e la documentazione allegata, anche se curati con scrupolosa attenzione, non possono comportare specifiche responsabilità di AEDES per involontari errori o inesattezze: pertanto, l'utilizzatore è tenuto a controllare l'esattezza e la completezza del materiale utilizzato. Le correzioni relative ad eventuali errori tipografici saranno incluse nelle versioni di aggiornamento.

SLC è di esclusiva proprietà della AEDES e viene concesso in uso non esclusivo secondo i termini e le condizioni riportati nel contratto di licenza d'uso. L'utente non avrà diritto ad utilizzare SLC fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di SLC al fine del raggiungimento dei risultati voluti, nonché dell'installazione, dell'uso dello stesso e dei relativi risultati. Le sole garanzie fornite dalla AEDES in merito a SLC sono quelle riportate nella licenza d'uso. La AEDES non garantisce che le funzioni contenute in SLC soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso da parte dell'utente.

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di SLC possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

INDICE

A. LA TEORIA 6

A.1. INTRODUZIONE 6

- A.1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 6
- A.1.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 7

A.2. DATI DI PROGETTO 8

- A.2.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE 9
- A.2.2. CARATTERISTICHE DEL LEGNO 11
- A.2.3. CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO 14
- A.2.4. CARATTERISTICHE DELLA CONNESSIONE 15
- A.2.5. CARICHI 18
 - A.2.5.1. COMBINAZIONE DELLE AZIONI (§2.5.3) 18
- A.2.6. VISCOSITÀ DEI MATERIALI 19
 - A.2.6.1. VISCOSITÀ DEL LEGNO 19
 - A.2.6.2. VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO 19
 - A.2.6.3. VISCOSITÀ DELLA CONNESSIONE 20
- A.2.7. SLE: DEFORMAZIONI Istantanee e Finali (VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ) 21
 - A.2.7.1. DEFORMAZIONI Istantanee ($t=0$) 21
 - A.2.7.2. DEFORMAZIONI A LUNGO TERMINE ($t=\infty$) 21
 - A.2.7.3. CONTRIBUTO DELLA DEFORMABILITÀ A TAGLIO 21
 - A.2.7.4. ESPRESSIONI DI CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI A TEMPO 0 E ∞ 22
 - A.2.7.5. LIMITI DI DEFORMABILITÀ 22

A.3. FONDAMENTI TEORICI 23

- A.3.1. LE STRUTTURE COMPOSTE 23
- A.3.2. VERIFICHE A FLESSIONE 31
- A.3.3. VERIFICHE A TAGLIO 32
- A.3.4. VERIFICA DEI CONNETTORI 33
- A.3.5. EFFICIENZA DELLA CONNESSIONE 34
- A.3.6. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO (SLU) 34
- A.3.7. COMPLEMENTI PER I SOLAI INCLINATI 36
- A.3.8. RIEPILOGO VERIFICHE DI RESISTENZA NEL LEGNO 40

A.4. VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU) 41

- A.4.1. COMBINAZIONE DI CARICO (1) 41
 - A.4.1.1. COMBINAZIONE DI CARICO (1): VERIFICA A TEMPO $t=0$ 41
 - A.4.1.2. COMBINAZIONE DI CARICO (1): VERIFICA A TEMPO $t=\infty$ 44
- A.4.2. COMBINAZIONE DI CARICO (2) 47
 - A.4.2.1. COMBINAZIONE DI CARICO (2): VERIFICA A TEMPO $t=0$ 47
 - A.4.2.2. COMBINAZIONE DI CARICO (2): VERIFICA A TEMPO $t=\infty$ 47

A.5. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE) 49

- A.5.1. VERIFICA A TEMPO $t=0$ 49
- A.5.2. VERIFICA A TEMPO $t=\infty$ 49

A.6. VERIFICA DEI TRAVETTI (ORDITURA SECONDARIA) 51

A.7. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO 53

A.8. APPENDICE 55

- A.8.1. DETTAGLI DI PROGETTAZIONE 55
- A.8.2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 57
- A.8.3. ESTRATTI DALLA NORMATIVA VIGENTE 60

B. MANUALE D'USO 62

B.1. GENERALITA' 62

- B.1.1. AMBIENTE DI LAVORO 62

B.2. FINESTRA PRINCIPALE 64

- B.2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 64
- B.2.2. NAVIGATORE 65
- B.2.3. COMANDI COMUNI 67
 - B.2.3.1. Menu FILE 67
 - B.2.3.2. Menu FINESTRA 67
 - B.2.3.3. Menu ? 68

B.3. FINESTRA PROGETTO 69

B.3.1. Dati PROGETTO	69
B.3.2. BARRA DEGLI STRUMENTI DELLA FINESTRA PROGETTO	70
B.3.3. Menu FILE	70
B.3.4. Menu OPZIONI	72
B.4. ESECUZIONE DEI CALCOLI	73
B.5. FINESTRA SOLAI	74
B.5.1. Dati SOLAI	74
B.5.1.1. Scheda TIPOLOGIA	75
B.5.1.2. Scheda GEOMETRIA	76
B.5.1.3. Scheda LEGNO	77
B.5.1.4. Scheda CALCESTRUZZO	78
B.5.1.5. Scheda CONNETTORI TRAVE	79
B.5.1.6. Scheda CONNETTORI TRAVETTO	80
B.5.1.7. Scheda CARICHI	81
B.5.1.8. Scheda CRITERI	82
B.5.2. Menu MODIFICA	83
B.5.3. Menu SPOSTA	83
B.5.4. Menu COPIA	83
B.6. FINESTRA TABELLA MATERIALI	84
B.6.1. Dati TABELLA MATERIALI	84
B.6.2. Menu MODIFICA	84
B.6.3. Menu OPZIONI	86
B.7. FINESTRA RISULTATI	87
B.8. GRAFICA	89
B.8.1. Menu OPZIONI	93
B.8.2. Menu IMMAGINE	94
B.9. FINESTRA RELAZIONE	96
B.9.1. Menu FILE	96
B.10. FINESTRA GALLERIA	97
B.11. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO	99
B.11.1. COME FARE PER...	99
B.11.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA	99
B.11.1.2. INTRODURRE NUOVI MATERIALI E ASSEGNARLI AI SOLAI	99
B.11.1.3. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLA FINESTRA GRAFICA	99
B.11.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'	100
B.11.2.1. NELLA STAMPA NON COMPAIONO TUTTI I SOLAI	100
B.11.2.2. FINESTRE SOVRAPPOSTE	100
B.11.2.3. IMPOSSIBILE INSTALLARE SLC IN ALTRE CARTELLE	100
B.11.2.4. IMPOSSIBILE APRIRE PIU' ISTANZE DI SLC	100
B.12. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO	101
B.12.1. COME FARE PER...	101
B.12.1.1. ANALIZZARE MAGLIE DI SOLAIO IRREGOLARI	101
B.12.1.2. ANALIZZARE MAGLIE DI SOLAIO CON UNA SOLA TRAVE PRINCIPALE	101
C. ESEMPI APPLICATIVI e PROCEDURE DI VALIDAZIONE	102
C.1. ESEMPIO DI RIFERIMENTO: VALIDAZIONE DI SLC	102
C.2. ESEMPIO GUIDATO	123
C.3. TEST CON ESEMPIO TRATTO DALLA BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	136

CONVENZIONI TIPOGRAFICHE

Nel testo vengono richiamati paragrafi del D.M.14.1.2008 (NTC08) attraverso il simbolo § seguito dal numero del paragrafo (seguendo l'impostazione delle norme, §C indica il corrispondente paragrafo della Circolare applicativa di NTC08). Esempi:

Costruzioni di legno: Resistenza di calcolo (§4.4.6)

I riferimenti ai paragrafi del presente Manuale d'uso sono invece preceduti dal simbolo p.:

(...) gli effetti della viscosità sono trattati nel p.2.6 (...)

Per i riferimenti bibliografici, si utilizzano le parentesi quadre con sigla identificativa dell'opera:

[4] significa il riferimento bibliografico 4; quando si fa riferimento ad un paragrafo specifico dell'opera, al riferimento bibliografico segue il simbolo §: [7],§4.2.2 indica il paragrafo 4.2.2. dell'opera [7].



Suggerimento

Consigli per ottimizzare l'utilizzo del software.



Nota bene

Osservazioni e note che è opportuno conoscere.



Importante!

Da sapere: informazioni tecniche, approfondimenti, riferimenti normativi.



Attenzione

Da sapere assolutamente: comandi e operazioni particolarmente delicate.

A. LA TEORIA

A.1. INTRODUZIONE

La **teoria delle travi composte con connessioni deformabili**, sulla quale si fondano i calcoli svolti dal software SLC, è trattata in [7],§4.2.2 e [8],§5.5.5.

Le più recenti edizioni disponibili per [7],[8] sono precedenti all'emanazione del D.M. 14.1.2008, ma risultano conformi agli EuroCodici e ai documenti italiani più recenti (successivamente pubblicati come CNR DT 206/2007); la validità della teoria esposta resta invariata.

Per quanto riguarda gli esempi applicativi ([7],§5.5.5.4; [8],§4.2.5.2), l'elaborazione numerica ivi riportata non ha potuto tenere conto delle modifiche introdotte per alcuni coefficienti dal D.M. 14.1.2008 (cfr. coefficienti di sicurezza del legno: Tab. 4.4.III e 4.4.IV).

La **metodologia di calcolo adottata** nel presente documento consiste nell'adattamento delle procedure proposte in [7],[8] alle norme del D.M. 14.1.2008.

In questo Manuale, la teoria delle travi composte con connessioni deformabili viene illustrata con riferimento ad uno **specifico esempio applicativo**, di cui viene ripercorso passo-passo il calcolo. In tal modo, ad ogni impostazione o premessa teorica si affianca la corrispondente applicazione operativa. L'esempio scelto come linea guida è stato ritenuto adeguatamente rappresentativo della casistica progettuale.

Nel capitolo 'Esempi Applicativi', l'esempio utilizzato come linea guida per l'esposizione teorica viene elaborato con il software SLC, confrontando i risultati ottenuti con quelli precedentemente valutati in via diretta.

Tale percorso definisce peraltro la **validazione della procedura** conformemente alle richieste del D.M. 14.1.2008 (§10.2). Si deve altresì considerare che il tipo di elaborazione di calcolo effettuato da SLC non prevede l'utilizzo di particolari tecniche di analisi numerica ma consiste semplicemente nell'applicazione di formulazioni analitiche dirette, derivate dalla Teoria delle Strutture esposta nelle opere citate ed ampiamente illustrata ne 'La Teoria'.

A.1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

[1] D.M. 14.1.2008: "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"

[2] Circolare 2.2.2009, n.617: "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.1.2008

Riferimenti tecnici

Per quanto non diversamente specificato nel D.M.14.1.2008, si intendono coerenti con i principi alla base del Decreto le indicazioni riportate nei documenti di riferimento elencati in §12; fra questi:

[3] CNR-DT 206/2007: Consiglio Nazionale delle Ricerche: Commissione di studio per la predisposizione e l'analisi di norme tecniche relative alle costruzioni. "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno", Roma - CNR 28 novembre 2007 - rev. 7 ottobre 2008

EuroCodici strutturali, dei quali in particolare:

[4] EuroCodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo

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

UNI EN 1992-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi

UNI EN 1992-3:2006 Parte 3: Strutture di contenimento liquidi

[5] EuroCodice 5 - Progettazione delle strutture in legno

UNI EN 1995-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici

UNI EN 1995-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1995-2:2005 Parte 2: Ponti

A.1.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [6] S. Capretti, A. Ceccotti: "Solai composti legno-calcestruzzo. Metodo di calcolo secondo l'EuroCodice 5", Riv. "Bollettino degli Ingegneri", Firenze, n.10, 1992.
- [7] A. Ceccotti, M. Follesa, M.P.Lauriola: "Le strutture di legno in zona sismica - Criteri e regole per la progettazione ed il restauro", CLUT, Milano, 2005.
- [8] M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena: "Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee", Hoepli, Milano, 2005.
- [9] P. Gelfi, A. Marini: "Solai misti legno-calcestruzzo. Metodi di verifica", Dip. Ingegneria Civile Architettura Territorio Ambiente, Università di Brescia, Riv. "L'Edilizia", n.153-154,
- [10] "Solaio in legno-calcestruzzo. Esempio progettuale", Ing. P. Gelfi, Dip. Ingegneria Civile, Brescia, Italia, sito web: <http://civserv.ing.unibs.it/utenti/gelfi>
- [11] AICAP: "Progettazione di strutture in calcestruzzo armato. Guida all'uso dell'EuroCodice 2 con riferimento alle Norme Tecniche D.M.14.1.2008", Roma, 2008.
- [12] Documentazione reperibile in www.promolegno.com, sito Internet in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università di Trento.
- [13] G. Toniolo: "Tecnica delle Costruzioni, Vol. 2A, Cemento Armato, Calcolo agli Stati Limite", Zanichelli, Milano, 2004.
- [14] G. Mezzadri: Tecniche per il restauro di strutture in legno, in: RECUPERO EDILIZIO vol.8: "Consolidamento e recupero strutturale", a cura di Luisella Gelsomino, ALINEA, Firenze, 1992.
- [15] A. Ceccotti, A. Vignoli: Edifici con struttura in legno, "Commentario al D.M. 16.1.1996 ed alla Circ. n.65 del 10.4.1997 del Ministero LL.PP.", Servizio Sismico Nazionale (S.S.N.) - Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica (A.N.I.D.I.S.), coord. F.Braga, 1998.
- [16] "Legno e calcestruzzo nella ristrutturazione di vecchi solai", Riv. Metrocubo, CIMEL, Pordenone, n°54/1992.

A.2. DATI DI PROGETTO

L'esempio utilizzato come linea-guida per l'illustrazione teorica e applicativa consiste in un solaio realizzato in legno-calcestruzzo con travi 240x240 mm. in legno conifera classe C24, connettori realizzati con barre di armatura ad aderenza migliorata con diametro $\Phi 12$, incollate nel legno tramite resina epossidica e annegate nella soletta di calcestruzzo di 40 mm., per un tratto pari a 20 mm.; per aumentare l'efficacia del connettore, le barre sono piegate all'estremità. L'orizzontamento è realizzato con orditura secondaria di travetti (di sezione 80x80 mm), con sovrastante assito in pannelle di spessore 35 mm. I travetti appoggiano per 80 mm. sull'estradosso della trave in legno, formando così nella sezione di calcestruzzo resistente un'anima di dimensioni 80x115 mm.

Il solaio è quindi con doppia orditura; i connettori sono presenti solo nelle travi principali.

In questa guida le verifiche strutturali sono riferite alla vita della struttura a calcestruzzo maturato, supponendo che le travi di legno siano puntellate nella fase di getto.

SEZ. A-A : SEZIONE TRAVE (appoggi. In mezzeria: connettore singolo)

TRAVI sez. 24 x 24 cm., ad interasse 125 cm.
Luce libera: 456 cm.
Connettori: $d12, l = 265$ mm.
Profondità di infissione = 120 mm.
Zone agli appoggi ($l = 114$): $2d12 / 15$ cm.
Zona centrale ($l = 228$): $1d12 / 25$ cm.

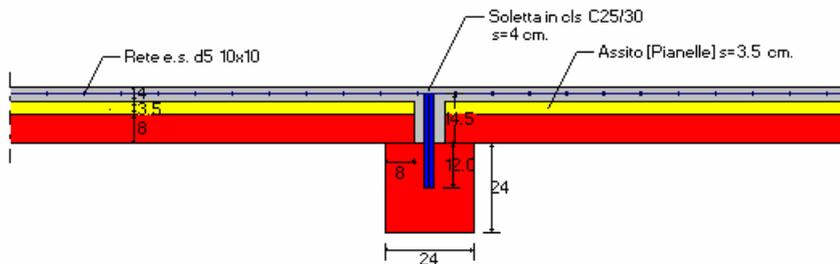


Fig. A.2.1.

SEZ. B-B : SEZIONE TRAVETTI (travetti senza connettori)

TRAVETTI sez. 8 x 8 cm., ad interasse 32 cm.
Lunghezza: 117 cm.

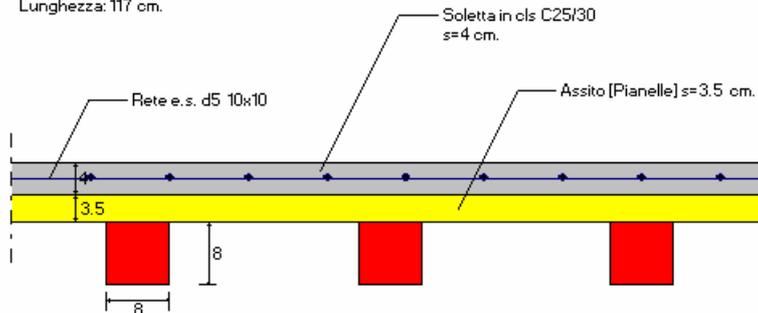


Fig. A.2.2.

SEZ. C-C : PROSPETTO TRAVE (sviluppo longitudinale)

TRAVI sez. 24 x 24 cm., ad interasse 125 cm.
 Luce libera: 456 cm.
 Connettori: d_{12} , $l = 265$ mm.
 Profondità di infissione = 120 mm.
 Zone agli appoggi ($l = 114$): $2d_{12} / 15$ cm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio: 120 mm.
 Zona centrale ($l = 228$): $1d_{12} / 25$ cm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio: 120 mm.

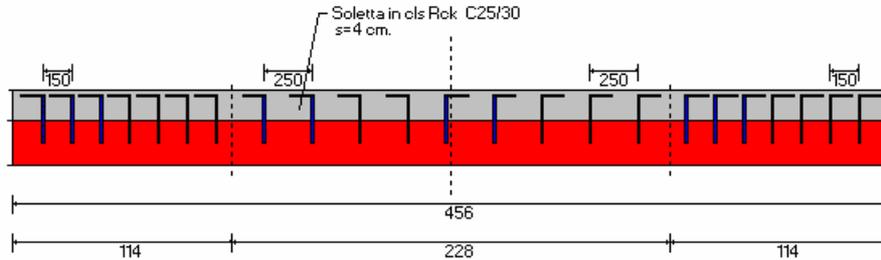


Fig. A.2.3.

SEZ. D-D : PROSPETTO TRAVETTI (sviluppo longitudinale)

TRAVETTI sez. 8 x 8 cm., ad interasse 32 cm.
 Lunghezza: 117 cm.

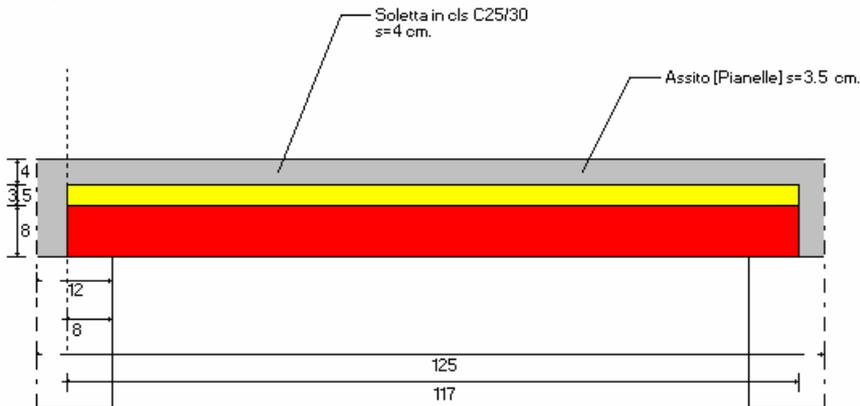


Fig. A.2.4.

A.2.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Spessore soletta: $s = 40$ mm
 Distanza tra soletta e trave (travetti + assito): $t = 80 + 35 = 115$ mm
 Base della sezione della trave: $b = 240$ mm
 Altezza della sezione della trave: $h = 240$ mm
 Interasse tra le travi: $i = 1250$ mm
 Luce teorica delle travi: $l = 4.56$ m = 4560 mm

Larghezza efficace della soletta (§4.3.2.3):

$$b_{\text{eff}} = 2 * \beta * b_e$$

dove: $b_e = \min \{i/2, l/8\} = \min \{1250/2=625, 4560/8=570\} = 570$ mm
 $\beta = (0.55 + 0.025 l/b_e) = 0.55 + 0.025 * 4560/570 = 0.75$
 $\Rightarrow b_{\text{eff}} = 2 * 0.75 * 570 = 855$ mm

Diametro dei connettori: $\Phi = 12$ mm
 Interasse dei connettori: $s_{\text{min}} = 150$ mm (agli appoggi), $s_{\text{max}} = 250$ mm in mezzeria
 Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 120$ mm ($\geq 6 \Phi = 72$ mm)
 Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30$ mm ($\geq 2.5 \Phi = 30$ mm)
 Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 120 + 115 + 30 = 265$ mm

7.12.2 - Resistenza e rigidezza di connessioni con spinotti

Per connessioni realizzate con spinotti a gambo cilindrico ed in presenza di distacco t tra gli elementi (Figura 7-23) con $t \geq 0$, devono essere verificate le seguenti condizioni di minimo:

$$\begin{aligned} L_w &\geq 6d \\ L_c &\geq 2.5d \end{aligned} \quad (7.68)$$

dove:

- L_w è la lunghezza di affondamento dello spinotto nell'elemento in legno (Figura 7-23);
- L_c è la lunghezza di affondamento dello spinotto nel calcestruzzo;
- d è il diametro del connettore.

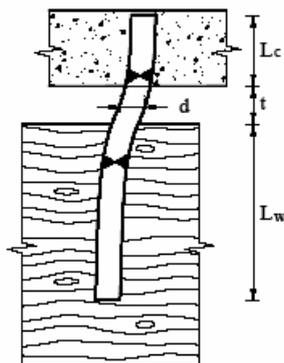


Figura 7-23- Connessione realizzata con spinotti a gambo cilindrico

Fig. A.2.5. Profondità di infissione dei connettori secondo [3], §7.12.2

A.2.2. CARATTERISTICHE DEL LEGNO

Classe di servizio: 1

Tabella 4.4.II - Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

Fig. A.2.6.

Legno conifera classe C24. Le resistenze caratteristiche sono rilevate da [3], §18 (da cui si trae anche: massa volumica caratteristica: $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$):

CNR-DT 206/2007

18 - APPENDICE C - PROFILI PRESTAZIONALI DEI MATERIALI

In Tabella 18-1 ed in Tabella 18-2 sono riportati i profili prestazionali rispettivamente per il legno massiccio di conifera e pioppo e per il legno massiccio di latifolia, in accordo con la norma europea UNI-EN 338.

Tabella 18-1-Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di conifere e di pioppo

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	f_{mk}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	f_{vk}	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m^3]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Fig. A.2.7.

Le resistenze di progetto vengono definite dalle relazioni proposte in §4.4.6,4.4.7,4.4.8.

Il valore di calcolo X_d di una proprietà del materiale (o della resistenza di un collegamento) viene calcolato mediante la relazione:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M} \quad (4.4.1)$$

dove:

X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale, come specificato al § 11.7, o della resistenza del collegamento. Il valore caratteristico X_k può anche essere determinato mediante prove sperimentali sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle norme europee applicabili;

γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale, i cui valori sono riportati nella Tab. 4.4.III;

k_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. I valori di k_{mod} sono forniti nella Tab. 4.4.IV. Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata.

Tabella 4.4.III - Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

Fig. A.2.8.

Tabella 4.4.IV - Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Fig. A.2.9.

Il coefficiente parziale per le proprietà dei materiali vale: $\gamma_M = 1.5$

Le **classi di durata del carico** da considerare sono due:

1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti): $k_{mod} = 0.6$

2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili): $k_{mod} = 0.8$

Le **resistenze di progetto** si distinguono fra i due casi di classi di durata del carico:
(trazione e compressione: parallele alla fibratura)

1) permanente: $k_{mod} / \gamma_M = 0.6/1.5 = 0.4$

da cui:

resistenza a flessione di progetto : $f_{md} = 24*0.4 = 9.60 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 14*0.4 = 5.60 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 21*0.4 = 8.40 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 2.5*0.4 = 1.00 \text{ N/mm}^2$

2) media durata: $k_{mod} / \gamma_M = 0.8/1.5 = 0.533$

da cui:

resistenza a flessione di progetto : $f_{md} = 24*0.533 = 12.79 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 14*0.533 = 7.46 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 21*0.533 = 11.20 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 2.5*0.533 = 1.33 \text{ N/mm}^2$

Moduli elastici:

modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$E_{0,mean} = 11 \text{ GPa} = 11000 \text{ N/mm}^2$, valore da assumere per verifiche a tempo 0;

modulo di taglio medio:

$G_{,mean} = 0.69 \text{ GPa} = 690 \text{ N/mm}^2$, valore da assumere per verifiche a tempo 0.

A.2.3. CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO

Classe di resistenza (§4.1): C25/30: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$, $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a compressione (§4.1.2.1.1.1):

$$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 / 1.5 = 14.16 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{cd} = 0.80 * 14.16 = 11.33 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a trazione (§11.2.10.2):

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 0.30 * 25^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza caratteristica a trazione:

$$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm} = 0.7 * 2.56 = 1.80 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a trazione (§4.1.2.1.1.2):

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.80 / 1.5 = 1.19 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{ctd} = 0.80 * 1.19 = 0.95 \text{ N/mm}^2$$

Valore medio della resistenza cilindrica (§11.2.2):

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico (§11.2.10.3): $E_{cm} = 22000 [f_{cm} / 10]^{0.3} \text{ N/mm}^2$, e quindi:

$$E_{cm} = 22000 * 3.3^{0.3} = 31476 \text{ N/mm}^2$$

A.2.4. CARATTERISTICHE DELLA CONNESSIONE

Come sistema di connessione si utilizzano barre di armatura ad aderenza migliorata con diametro $\Phi 12$ mm, di tipo B450C (§11.3.2.1) caratterizzato dai seguenti valori di resistenza:

resistenza caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a rottura: $f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Poiché la disposizione dei connettori lungo la trave varia dagli appoggi (dove l'interasse è pari a $s_{\min}=150$ mm) alla mezzera (interasse $s_{\max}=250$ mm), per la determinazione delle grandezze efficaci del sistema di connessione si fa riferimento ad un interasse efficace (=interasse equivalente s_{eq}) pari a [3],§8.4.1:

8.4 - ELEMENTI STRUTTURALI COMPOSTI

8.4.1 - Travi composte con connessioni meccaniche

Nel caso di travi aventi la sezione trasversale composta da più parti (anche di materiali diversi dal legno) unite mediante connettori meccanici, occorre tener conto dello scorrimento nelle unioni ai fini della determinazione delle tensioni nelle varie parti nonché per la valutazione delle deformazioni della trave.

Se i connettori non sono disposti a passo costante lungo l'asse della trave, ma tale passo varia tra un minimo s_{\min} ed un massimo s_{\max} (comunque non superiore a 4 volte s_{\min}), nei calcoli si può utilizzare un passo equivalente s_{eq} pari a:

$$s_{eq} = 0.75 s_{\min} + 0.25 s_{\max} \quad (8.18)$$

$s_{eq} = 0.75 s_{\min} + 0.25 s_{\max} = 0.75 \cdot 150 + 0.25 \cdot 250 = 175 \text{ mm}$
(controllo sugli interassi: $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$, infatti: $250 \leq 150 \cdot 4 = 600 \text{ mm}$)

Le caratteristiche di **rigidezza** del sistema di connessione si determinano attraverso le formulazioni riportate in [3],§7.11.

Tabella 7-14-Valori di K_{ser} (N/mm) in unioni legno-legno, per singolo elemento di collegamento e per piano di taglio, in funzione del diametro dell'elemento (diametro d in mm, massa volumica del legno in kg/m^3)

Tipo di connettore	Unioni legno-legno, legno-pannello
Spinotti, bulloni calibrati*, viti, chiodi con preforatura	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d}{20}$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{25}$
Cambrette e graffe	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{60}$
Anelli (tipo A secondo EN 912)	$0.6 \rho_k \cdot d_c$
Caviglie (tipo B secondo EN 912)	$0.3 \rho_k \cdot d_c$
Piastre dentate singole (tipo C1-C9 secondo EN 912)	$0.3 \rho_k \cdot d_c$
Piastre dentate doppie (tipo C10 e C11 secondo EN 912)	$0.45 \rho_k \cdot d_c$

* La deformazione dovuta ai giochi meccanici deve essere assegnata separatamente (comunque con valore non inferiore a 1mm)

Fig. A.2.10.

In particolare, nel caso di unioni con spinotti e bulloni calibrati, la rigidezza della connessione per gli stati limite di servizio (stati limite di esercizio: SLE): K_{ser} viene determinata attraverso la formula:

$$K_{ser} = \rho_k^{1.5} \cdot d/20 = 350^{1.5} \cdot 12/20 = 3928 \text{ N/mm}$$

Nel caso di unioni legno-calcestruzzo tale valore viene raddoppiato ([3],§7.11):

$$K_{ser} = 2 \cdot 3928 = 7857 \text{ N/mm}$$

Per il calcolo allo stato limite ultimo SLU, viene utilizzato un valore ridotto, conformemente a [5]EN 1995-1-1,§2.2.2:

2.2.2 Ultimate limit states

(2) The slip modulus of a connection for the ultimate limit state, K_u , should be taken as:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \tag{2.1}$$

where K_{ser} is the slip modulus, see 2.2.3(3)P

$$K_u = 2/3 K_{ser} = 2/3 * 7857 = 5238 \text{ N/mm}$$

I valori di K_{ser} (K per SLE) e K_u (K per SLU) qui definiti sono da riferirsi alle verifiche al tempo 0: gli effetti della viscosità sono trattati nel p.A.2.6 (e in particolare, per la connessione: A.2.6.3; nel caso in esame K_u a tempo ∞ si ottiene dividendo K_u a tempo 0 per 1.6).

La **resistenza caratteristica a taglio** della connessione si determina tramite le formulazioni per le unioni legno-acciaio ad un piano di taglio con piastra spessa ([3],§7.8.2.3,(7.11)), con contributo nullo dell'effetto tirante):

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{hk} t_1 d \\ f_{hk} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{yk}}{f_{hk} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 2.3 \sqrt{M_{yk} f_{hk} d} \end{array} \right.$$

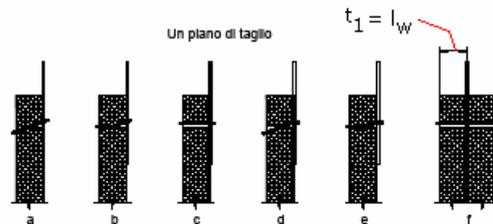


Figura 7-8- Modi di rottura per unioni acciaio-legno.

Fig. A.2.11.

dove:

$F_{v,Rk}$ = resistenza caratteristica a taglio della connessione

f_{hk} = resistenza caratteristica al rifollamento, che può essere determinata attraverso la seguente espressione ([3],§7.8.3.1.1):

Per chiodi aventi diametri fino a 8mm, in assenza di risultati più accurati, si possono adottare le seguenti resistenze caratteristiche a rifollamento per il legno massiccio, lamellare e LVL:

senza preforatura: $f_{hk} = 0.082 \rho_k d^{-0.3}$ [N/mm²] (7.16)

con preforatura: $f_{hk} = 0.082 (1 - 0.01d) \rho_k$ [N/mm²] (7.17)

dove:

- ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m³;
- d è il diametro del chiodo, in mm.

$$f_{hk} = 0.082 * (1 - 0.01*12)*350 = 25.26 \text{ N/mm}^2$$

$$t_1 = l_w = 120 \text{ mm}, d = 12 \text{ mm}$$

M_{yk} = valore caratteristico del momento di snervamento:

$$M_{yk} = \zeta f_{uk} W_{pl,b} \quad (7.15)$$

dove:

- f_{uk} è la resistenza ultima caratteristica a trazione dell'acciaio;
- $\zeta = \frac{1.8}{d^{0.4}}$ è il fattore riduttivo minore di 1 del momento plastico, che tiene in considerazione l'effettivo comportamento allo stato limite ultimo del chiodo (d , diametro chiodo, in mm);
- $W_{pl,b} = d^3/6$ è il modulo di resistenza plastico per chiodi a gambo cilindrico;

$$M_{yk} = (1.8 / 12^{0.4}) * f_{uk} * 12^3/6 = 103606 \text{ Nmm} \quad (f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2)$$

e pertanto:

$$F_{v,Rk} = \min \{(1),(2),(3)\}, \text{ dove:}$$

$$(1) = 25.26 * 120 * 12 = 36374 \text{ N}$$

$$(2) = 36374 * (\sqrt{2 + 4 * 103606 / 25.26 / 12 / 120^2}) - 1 = 16273 \text{ N}$$

$$(3) = 2.3 * (\sqrt{103606 * 25.26 * 12}) = 12889 \text{ N}$$

$$\Rightarrow F_{v,Rk} = 12889 \text{ N}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 12889 / 1.5 = k_{mod} * 8592 \text{ N}$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

$$k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 5155 \text{ N}$$

$$k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 6873 \text{ N}$$

A.2.5. CARICHI

Carichi permanenti G_1 (peso proprio delle strutture): seguendo [D.M.14.1.2008], Tab.2.6.I, per i carichi permanenti non strutturali compiutamente definiti si adottano gli stessi coefficienti validi per i carichi permanenti strutturali. Pertanto, in G_1 si conglobano i pesi propri delle strutture portanti (travi in legno e sezione in cls: anima+soletta, e il peso dell'assito in pannelle):

assito in pannelle = $18 \text{ kN/m}^3 * 0.035 \text{ m} = 0.63 \text{ kN/m}^2$

peso proprio travi in legno principali: $0.24 * 0.24 * 3.5 * (1.00 / 1.25) = 0.16 \text{ kN/m}^2$

(alla massa volumica 350 kg/m^3 corrisponde il peso specifico: 3.5 kN/m^3)

peso proprio orditura in legno secondaria (travetti): $0.08 * 0.08 * 3.5 * (1.00 / 0.32) = 0.07 \text{ kN/m}^2$

peso proprio sezione di calcestruzzo: $(0.04 + 0.08 * 0.115 * (1.00 / 1.25)) * 25 = 1.18 \text{ kN/m}^2$

e quindi: $G_1 = 0.63 + 0.16 + 0.07 + 1.18 = 2.04 \text{ kN/m}^2$

Per SLU: $\gamma_{G1} = 1.3$

Carichi permanenti non strutturali G_2 :

sottofondo = 0.55 kN/m^2 , pavimentazione = 0.15 kN/m^2 , tramezzi = 1.00 kN/m^2

e quindi: $G_2 = 0.55 + 0.15 + 1.00 = 1.70 \text{ kN/m}^2$

Per SLU: $\gamma_{G2} = 1.5$

Carichi variabili Q_k : ambiente ad uso residenziale:

$Q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$

$\psi_2 = 0.3$

Per SLU: $\gamma_Q = 1.5$

A.2.5.1. COMBINAZIONE DELLE AZIONI (§2.5.3)

Stato limite ultimo (SLU) (Verifiche di resistenza)

Si considerano 2 combinazioni di carico:

(1) comprendente tutti i carichi ($\rightarrow k_{mod} = 0.8$);

(2) con i soli carichi permanenti ($\rightarrow k_{mod} = 0.6$).

Poiché alle due combinazioni competono coefficienti k_{mod} diversi (che tengono appunto conto, oltre all'umidità degli elementi, degli effetti della durata del carico sui parametri di resistenza), anche se la combinazione (2) genera a priori sollecitazioni inferiori alla (1), la resistenza è inferiore e quindi non è possibile conoscere a priori quale sia la combinazione più sfavorevole. Pertanto, ai fini delle verifiche di resistenza (SLU) le due combinazioni di carico dovranno essere processate entrambe.

Le due combinazioni sono del tipo 'fondamentale' (§2.5.3) (i = interasse travi principali):

(1) $q_{d,(1),SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_QQ_k) * i = (1.3*2.04 + 1.5*1.70 + 1.5*2.00) * 1.25 = 10.25 \text{ kN/m}$

(2) $q_{d,(2),SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2) * i = (1.3*2.04 + 1.5*1.70) * 1.25 = 6.50 \text{ kN/m}$

da processare entrambe sia per le verifiche **a tempo 0**, sia per le verifiche **a tempo ∞** .



Importante!

Più in dettaglio: nei calcoli per la combinazione (2), rispetto alla combinazione (1), si diversificano solamente le sollecitazioni di progetto (momento e taglio) e le verifiche di resistenza del legno: le verifiche di resistenza del calcestruzzo e della connessione presentano infatti coefficienti di sicurezza a priori maggiori rispetto alla combinazione (1) (ed è pertanto sufficiente averle eseguite per la combinazione (1)). ■

Stato limite di esercizio (SLE) (Verifiche di deformabilità)

Secondo [3] (cfr. anche p.A.2.7), si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine.

La **deformazione istantanea** per la verifica a **tempo $t=0$** viene calcolata con riferimento **alla**

combinazione di carico rara: $G_1 + G_2 + Q_k$

$\Rightarrow q_{SLE,0} = (G_1 + G_2 + Q_k) * i = (2.04 + 1.70 + 2.00) * 1.25 = 7.17 \text{ kN/m}$

La **deformazione finale** (verifica a tempo $t=\infty$) si calcola come somma di due contributi:

- la **deformazione a lungo termine** corrispondente alla **combinazione di carico quasi permanente:**

$G_1 + G_2 + \psi_2 * Q_k$

$\Rightarrow q_{SLE,\infty,qp} = (G_1 + G_2 + \psi_2 * Q_k) * i = (2.04 + 1.70 + 0.3 * 2.00) * 1.25 = 5.42 \text{ kN/m}$

- la **deformazione istantanea** dovuta alla restante quota parte di carico Q_k , cioè dovuta a $(1 - \psi_2) * Q_k$

$\Rightarrow q_{SLE,\infty,ist} = (1 - \psi_2 * Q_k) * i = 0.7 * 2.00 * 1.25 = 1.75 \text{ kN/m}$

A.2.6. VISCOSITÀ DEI MATERIALI

Poiché si utilizzano materiali (legno e calcestruzzo) soggetti a fenomeni viscosi, le verifiche vanno effettuate a tempo $t=0$ ed a tempo $t=\infty$ (§4.4.2). Infatti tali fenomeni determinano una modifica sostanziale del comportamento statico del sistema misto, e una redistribuzione delle sollecitazioni agenti non determinabile a priori.

Per le verifiche a tempo ∞ (per entrambi gli stati limite SLE e SLU) si utilizzano caratteristiche elastiche ridotte per considerare la viscosità del calcestruzzo, del legno e della connessione; la riduzione si opera attraverso coefficienti di viscosità.

Nelle verifiche di deformabilità (a SLE), poiché si sovrappongono per somma (cfr. p.A.2.5.1) i due contributi alla freccia dati: (i) dai carichi quasi permanenti, e: (ii) dalla frazione istantanea di carico variabile, la freccia competente ad ognuno di questi due contributi viene calcolata considerando il corrispondente modulo elastico (ridotto in (i), e intero in (ii)).

Nelle verifiche di resistenza (a SLU) a tempo ∞ , lo studio del sistema misto richiede uno specifico valore di calcolo del modulo elastico, che si può ottenere eseguendo la media pesata del valore ridotto e intero, in funzione della durata del carico ([7], §5.5.5.4) (cfr. paragrafi A.4.1.2, A.4.2.2).

A.2.6.1. VISCOSITÀ DEL LEGNO

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore moltiplicativo $1/(1+k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti. Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

Tabella 4.4.V - Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio			
		1	2	3	
Legno massiccio	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00	
Legno lamellare incollato	EN 14080	0,60	0,80	2,00	
Compensato	EN 636	Parte 1	0,80	-	-
		Parte 2	0,80	1,00	-
		Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	2,25	-	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	-
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parte 4	2,25	-	-
		Parte 5	2,25	3,00	-
		Parte 6	1,50	-	-
		Parte 7	1,50	2,25	-
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2	HB LA	2,25	-	-
		HB HLA1, HB HLA2	2,25	3,00	-
Pannelli di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBHLA1, MBHLA2	3,00	-	-
		MBH HLS1, MBH HLS2	3,00	4,00	-
	EN 622-5	MDFLA	2,25	-	-
		MDFHLS	2,25	3,00	-

Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Fig. A.2.12.

Si ha:

$$k_{def} = 0,6, \text{ da cui: } 1/(1+k_{def}) = 1/1,6 = 0,625,$$

fattore di riduzione del modulo di elasticità del legno per tenere conto degli effetti a lunga durata ($t=\infty$).

Più esattamente, tale fattore viene direttamente applicato al modulo di elasticità nel caso di carichi permanenti; in presenza di carichi variabili occorre eseguire una media pesata (cfr. pp. A.4.1.2 e A.4.2.2).

A.2.6.2. VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO

Il coefficiente di viscosità ϕ a tempo ∞ del calcestruzzo viene valutato secondo §11.2.10.7.

ϕ è il moltiplicatore delle deformazioni elastiche che fornisce le deformazioni viscosi a tempo infinito; pertanto le deformazioni a lungo termine (deformazioni complessive a tempo ∞) sono date dalla

deformazione elastica moltiplicata per $(1+\varphi)$; equivalentemente, la deformazioni a lungo termine si possono calcolare riducendo il modulo di elasticità del calcestruzzo mediante il fattore moltiplicativo $1/(1+\varphi)$ (in modo del tutto analogo al legno, cfr. p.A.2.6.1, dove il modulo di elasticità viene ridotto applicando il fattore moltiplicativo $1/(1+k_{def})$).

La dimensione fittizia h_0 definita in §11.2.10.6 è pari al rapporto $2A_c/u$, essendo:

A_c = area della sezione in calcestruzzo;

u = perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria.

Nel caso esaminato: $A_c = 40 * 855 \text{ mm}^2$, $u = 855 \text{ mm}$, da cui: $h_0=80 \text{ mm}$

L'età minima del calcestruzzo t_0 all'atto dell'applicazione del carico è pari a: 28 giorni (termine della maturazione) (si richiede quindi un'interpolazione lineare fra 15 e 30 giorni, valori presenti in Tab.11.2.VI),

e facendo riferimento ad atmosfera con umidità relativa pari a: 55%, si ha: $\varphi = 2.93 \approx 3.00$

Risulta quindi: $1 / (1+\varphi) = 0.25$,

fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t=\infty$).

Più esattamente, tale fattore viene direttamente applicato al modulo di elasticità nel caso di carichi permanenti; in presenza di carichi variabili occorre eseguire una media pesata (cfr. pp. A.4.1.2 e A.4.2.2).

A.2.6.3. VISCOSITÀ DELLA CONNESSIONE

Per le verifiche a lungo termine ($t=\infty$), alla rigidezza K della connessione (K_{ser} per le verifiche di deformabilità a SLE e K_u per le verifiche di resistenza a SLU) si applica lo stesso fattore di riduzione utilizzato per il legno: $1/(1+k_{def})$ ([7], §5.5.5.4; [8], §4.2.5.2).

A.2.7. SLE: DEFORMAZIONI ISTANTANEE E FINALI (VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ)

Da [3], §6.4 si trae la procedura operativa per il calcolo delle deformazioni strutturali istantanee ($t=0$) e a lungo termine ($t=\infty$), per Stati Limite di Esercizio (SLE).

A.2.7.1. DEFORMAZIONI ISTANTANEE ($t=0$)

La deformazione istantanea ($t=0$) viene calcolata con riferimento alla combinazione di carico rara (assumendo dunque Q_k nella sua totalità); per il calcolo della rigidezza dei componenti del sistema misto legno-calcestruzzo vengono utilizzati i valori dei moduli elastici dei materiali (senza alcuna correzione).

A.2.7.2. DEFORMAZIONI A LUNGO TERMINE ($t=\infty$)

La deformazione finale ($t=\infty$) viene calcolata come somma dei seguenti contributi:

- la deformazione a lungo termine ($t=\infty$) dovuta alla combinazione di carico quasi permanente, tenendo quindi conto del carico variabile Q_k ridotto secondo il coefficiente ψ_2 ; per il calcolo delle rigidezze si utilizzano valori ridotti dei moduli di elasticità;

- la deformazione istantanea ($t=0$) dovuta alla restante quota parte di carico Q_k , cioè dovuta a: $Q_k \cdot (1 - \psi_2)$, con utilizzo di valori non ridotti dei moduli di elasticità.

Facendo riferimento ad una trave appoggiata in legno omogenea, caratterizzata dalla rigidezza (EJ), considerando la freccia in mezzera pari a $(5/384)ql^4/EJ$, che per semplicità indichiamo con $\alpha q/EJ$, le componenti della deformazione a lungo termine sono le seguenti:

- deformazione a lungo termine dovuta alla combinazione di carico quasi permanente:

$$\alpha (g + \psi_2 q_k) / [EJ / (1 + k_{def})]$$

(avendo ridotto il modulo di elasticità secondo quanto indicato nel p.A.2.6.1);

- deformazione istantanea dovuta alla restante quota parte di q_k :

$$\alpha (1 - \psi_2) q_k / EJ$$

e quindi complessivamente:

$$(I.a) \alpha (g + \psi_2 q_k / EJ) * (1 + k_{def}) + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / EJ) \Rightarrow$$

$$\alpha (g / EJ) * (1 + k_{def}) + \alpha (q_k / EJ) * (\psi_2 + \psi_2 k_{def} + 1 - \psi_2) \Rightarrow$$

$$(I.b) \alpha (g / EJ) * (1 + k_{def}) + \alpha (q_k / EJ) * (1 + \psi_2 k_{def})$$

espressione che coincide con la [3], §6.4.1, (6.2).

Nel caso delle strutture composte, la rigidezza (EJ) viene sostituita dalla rigidezza efficace $(EJ)_{eff}$ (cfr. p.A.3) e gli sviluppi precedenti non sono esprimibili nella forma [3], §6.4.1, (6.2) (I.b); è comunque sufficiente sommare tutti i contributi come nella formulazione (I.a), sostituendo ad (EJ) i valori efficaci calcolati a tempo ∞ e a tempo 0 (il fattore $(1+k_{def})$ non viene esplicitato in quanto entra in gioco direttamente nella definizione della rigidezza efficace a tempo ∞ , cfr. p.A.3):

$$(II) \alpha (g + \psi_2 q_k) / (EJ)_{eff, ser, t=\infty} + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{eff, ser, t=0})$$

A.2.7.3. CONTRIBUTO DELLA DEFORMABILITÀ A TAGLIO

Per le travi in legno, i modesti valori del modulo elastico a taglio G , in rapporto a quelli del modulo elastico longitudinale E impongono di considerare nel calcolo della freccia anche la parte dovuta alla deformabilità per taglio. Ad esempio, per il materiale considerato nella presente applicazione, si ha:

$$E_{0, mean} / G_{mean} = 11000 / 690 = 16$$

Per una trave inflessa di lunghezza l , in semplice appoggio a sezione costante e soggetta a carico uniforme q , la freccia totale massima vale:

$$f_{max} = (5/384) ql^4 / (E_{0, mean} J) + \chi ql^2 / (8 G_{mean} A)$$

con: A =area della sezione trasversale, J =momento d'inerzia della medesima sezione; χ =fattore di taglio = 1.2 per sezione rettangolare.

Un approfondimento riportato in [8], §2.4.4 evidenzia che in caso di $(E/G)=16$, l'influenza del contributo deformativo a taglio, espressa come rapporto fra deformata a taglio e deformata a flessione (per la trave appoggiata a sezione rettangolare costante e uniformemente caricata) vale 0.154 nel caso di $(h/l)=1/10$ e 0.038 se $(h/l)=1/20$, dove h/l è la snellezza della trave. Si tratta quindi di un contributo rilevante solo per elementi con rapporti $(h/l) > \approx 1/10$. Ad esempio, per la trave in legno dell'esempio considerato, si ha: $h=240$ mm, $l=4560$ mm $\Rightarrow (h/l) = 1/19$.

Nel caso dei solai composti, la distinzione dei contributi flessionale e tagliante diviene più complessa a causa della necessità di considerare rigidezze efficaci; la teoria delle strutture composte ([8], §4.2.2) fa in

generale riferimento alla sola rigidezza (EJ). Nei calcoli di deformabilità (freccia del solaio) sarà quindi opportuno applicare un coefficiente amplificativo.

Seguendo quanto indicato in [8], §4.2.5.2, il contributo della deformabilità a taglio del sistema legno-calcestruzzo viene assunto, a favore di sicurezza, pari a 1/10 del contributo flessionale (coefficiente amplificativo della deformazione: 1.1, da considerarsi ovviamente in tutte le verifiche sia a tempo 0 sia a tempo ∞).

A.2.7.4. ESPRESSIONI DI CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI A TEMPO 0 E ∞

Per quanto espresso ai paragrafi precedenti, le espressioni di calcolo delle deformazioni assumono la seguente forma.

- Per verifiche di deformabilità a tempo 0, la deformazione istantanea ($u_{ist} = u_{0,tot}$) è espressa da:

$$(III) \quad 1.1 * \alpha (g / (EJ)_{eff,ser,t=0}) + 1.1 * \alpha (q_k / (EJ)_{eff,ser,t=0})$$

- Per verifiche di deformabilità a tempo ∞ , la deformazione a lungo termine ($u_{fin} = u_{\infty,tot}$) è espressa da:

$$(IV) \quad 1.1 * \alpha (g / (EJ)_{eff,ser,t=\infty}) + 1.1 * \alpha (\psi_2 q_k / (EJ)_{eff,ser,t=\infty}) + 1.1 * \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{eff,ser,t=0})$$

A.2.7.5. LIMITI DI DEFORMABILITÀ

Il controllo della deformabilità della sezione composta in legno e calcestruzzo rappresenta frequentemente il requisito più restrittivo.

Secondo [3], §6.4.3 (Norme specifiche per elementi inflessi), per la verifica della freccia f si considerano le seguenti limitazioni (l = luce della trave):

- verifica a tempo 0: $f \leq (1/300) l$

- verifica a tempo ∞ : $f \leq (1/200) l$

A.3. FONDAMENTI TEORICI

A.3.1. LE STRUTTURE COMPOSTE

La teoria delle strutture composte è ampiamente illustrata nei testi di riferimento. In questo paragrafo, si riportano le relazioni fondamentali, utilizzate successivamente per l'analisi strutturale.

La struttura composta consiste nell'accoppiamento di differenti elementi strutturali mediante l'uso di sistemi di connessione deformabili, la cui efficienza è tanto maggiore quanto più la connessione è rigida, ossia quanto più sono impediti gli spostamenti relativi tra le superfici a contatto degli elementi componenti.

Il comportamento statico reale della struttura composta risulta intermedio fra i due casi di connessione a rigidità nulla (collegamento inefficace ai fini dello scorrimento) e connessione a rigidità infinita (collegamento rigido con scorrimento impedito).

Nell'ipotesi limite di rigidità della connessione nulla, le sezioni dei singoli componenti si mantengono piane ed il sistema può essere visto come due travi funzionanti in parallelo; nell'ipotesi di rigidità infinita è la sezione composta a mantenersi piana con assenza di scorrimenti all'interfaccia trave - soletta. Nelle figure seguenti sono rappresentati i casi limite di connessione nulla e connessione rigida, ed il caso reale di connessione deformabile.

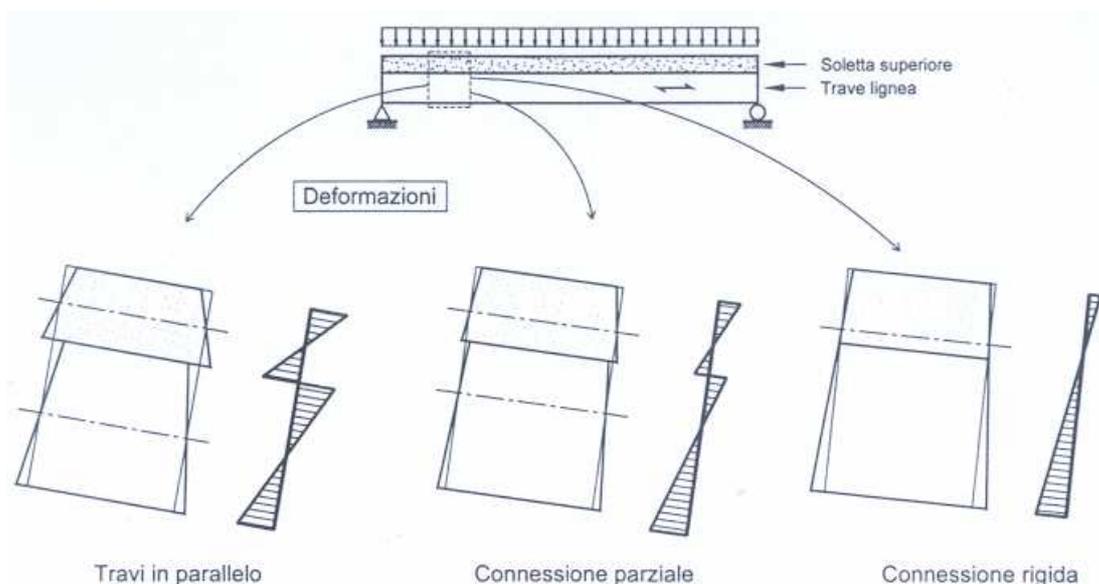


Fig. A.3.1. Distribuzione delle deformazioni per flessione in una trave composta in funzione della rigidità della connessione [8]

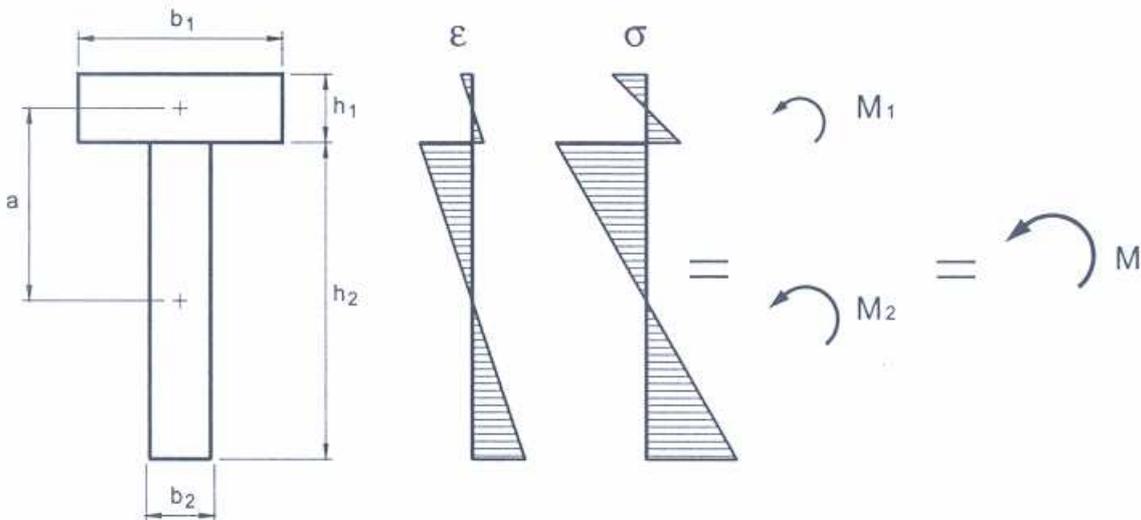


Fig. A.3.2. Deformazioni e tensioni da flessione in una trave composta con connessione a rigidità nulla [8]

(la figura fa riferimento ad un elemento in calcestruzzo di sezione rettangolare, coincidente con la soletta)

Nel caso di connessione a rigidità nulla, la rigidità flessionale della trave composta assume la seguente espressione (1= primo elemento del sistema composto, in calcestruzzo; 2 = secondo elemento del sistema composto: trave in legno):

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2$$

Per la trave in legno: $A_2 = b_2 h_2$, $J_2 = b_2 h_2^3 / 12$

ed il suo baricentro è posto alla quota $d_2 = h_2 / 2$ rispetto all'intradosso della trave.

Per il solaio ad orditura semplice, dove gli elementi lignei sono costituiti dalle sole travi sulle quali si imposta l'assito (o tavolato, di spessore h_a), la sezione dell'elemento in calcestruzzo è rettangolare e coincide con la soletta in calcestruzzo; si ha:

$$A_1 = b_1 h_1, J_1 = b_1 h_1^3 / 12$$

dove h_1 ($\equiv s$) è lo spessore della soletta; il suo baricentro è posto ad una quota $h_1 / 2$ rispetto all'intradosso della soletta. L'intradosso della soletta non coincide con l'estradosso della trave a causa dello spessore dell'assito.

La sezione della soletta è realmente rettangolare se l'assito è continuo, ossia carotato; anche per assito interrotto si fa riferimento alla sezione rettangolare: il solo spessore dell'assito crea un'anima di sezione a T di calcestruzzo trascurabile rispetto alla sezione della soletta. Pertanto, la quota del baricentro della sezione rettangolare di calcestruzzo rispetto all'estradosso della trave è data da: $d_1 = h_a + h_1 / 2$

Nel caso invece di solaio ad orditura doppia, con elementi lignei costituiti dalle travi principale e dai travetti che su di esse si appoggiano, si considera una sezione di calcestruzzo a T (vd. figura seguente), dove il cordolo (l'anima della sezione a T) si forma fra i due travetti in appoggio sulla trave; l'altezza del cordolo è composta sia dall'altezza del travetto sia dallo spessore h_a dell'assito. Nel cordolo è possibile siano inserite armature longitudinali a flessione (sempre consigliabili) e trasversali a taglio (opzionali, in dipendenza dalla geometria della sezione e dalle sollecitazioni di progetto). Il calcolo delle armature è trattato nei p.A.3.2, p.A.3.3.

Posti: l_a = larghezza di appoggio del travetto sulla trave, e: h_t = altezza del singolo travetto, il cordolo ha le seguenti dimensioni:

base: $b_{cor} = b_2 - 2 l_a$, essendo b_2 la larghezza della trave,

altezza: $h_{cor} = h_t + h_a$.

L'area ed il momento d'inerzia sono espressi in figura seguente:

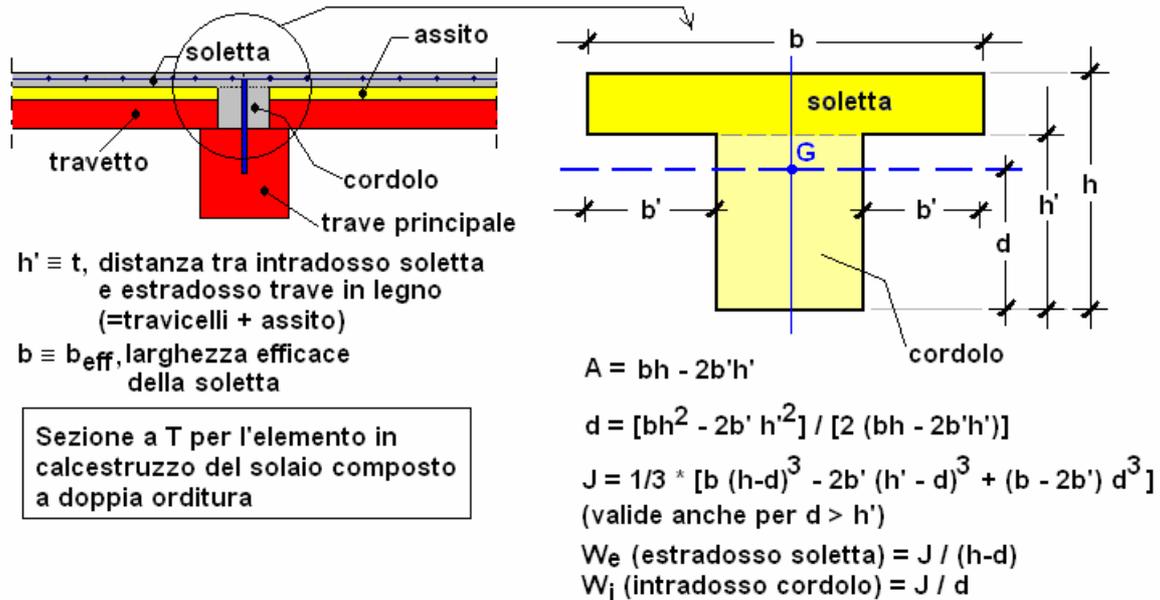


Fig. A.3.3.

I simboli dei parametri statici della sezione a T in figura hanno il seguente significato:

$b \equiv b_1$ ($\equiv b_{eff}$, larghezza collaborante della soletta)

$h = h_{cor} + h_1$ (altezza del cordolo + spessore della soletta)

$b' = (b_1 - b_{cor}) / 2$

$h' \equiv h_{cor}$ (altezza del cordolo)

$d \equiv d_1$ = quota del baricentro rispetto all'intradosso dell'elemento in calcestruzzo, cioè l'intradosso del cordolo, coincidente con l'estradosso della trave.

In tutti i casi dei solai composti, la dimensione b_1 non coincide necessariamente con l'interasse delle travi principali: b_1 corrisponde infatti alla 'larghezza collaborante', o 'larghezza efficace' ($b_1 \equiv b_{eff}$), e può essere calcolata utilizzando le espressioni riportate in Normativa per le strutture composte in acciaio-calcestruzzo: §4.3.2.3 (l'interasse fra le travi del solaio è supposto costante; la larghezza efficace viene calcolata in corrispondenza delle zone di appoggio, dove risulta minore, e a favore di sicurezza si estende tale valore all'intera luce della struttura composta):

$b_{eff} = 2 * \beta * b_e$

dove: $b_e = \min \{i/2, l/8\}$

con: i = interasse fra le travi; l = luce della trave;

$\beta = (0.55 + 0.025 l/b_e)$

Nel caso di connessione a rigidità infinita, la posizione del baricentro della sezione globale $y_{G\infty}$ (la coordinata y è definita a partire dall'intradosso della trave, cioè dal lembo inferiore della sezione composta) viene calcolata pesando i contributi con i corrispondenti moduli elastici dei materiali:

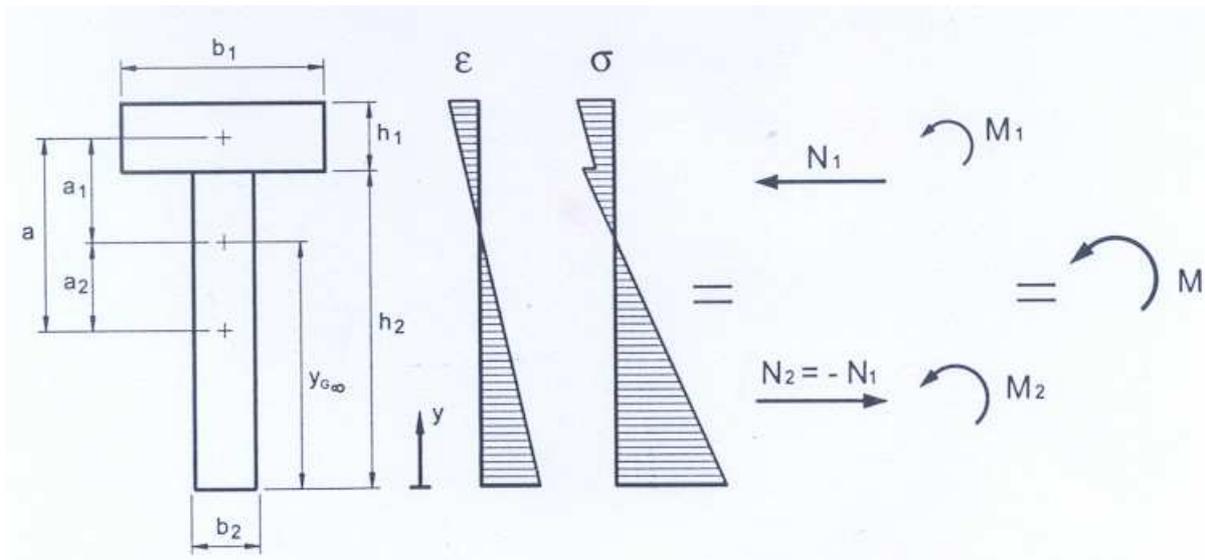


Fig. A.3.4. Deformazioni e tensioni da flessione in una trave composta con connessione a rigidità infinita [8]

(la figura fa riferimento ad un elemento in calcestruzzo di sezione rettangolare, coincidente con la soletta)

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i)$$

dove: $y_2 = h_2/2$; $y_1 = h_2 + d_1$

(per sezione in calcestruzzo rettangolare: $d_1 = h_a + h_1/2$).

Le distanze dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione sono:

$$a_1 = h_2 + d_1 - y_{G\infty}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2$$

La distanza tra i baricentri dei singoli elementi è data da:

$$a = a_1 + a_2 = h_2/2 + d_1$$

(per sezione in calcestruzzo rettangolare: $d_1 = h_a + h_1/2 \Rightarrow a = h_2/2 + h_a + h_1/2$)

La rigidità flessionale della sezione composta viene calcolata tramite il teorema di trasposizione:

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + (\sum E_i A_i a_i^2) = (EJ)_0 + (\sum E_i A_i a_i^2)$$

Per le situazioni intermedie, con collegamento deformabile (fig. A.3.5), la trattazione generale elastica del problema delle sezioni miste è stata fornita da Newmark et al. (1951); l'estensione di questa teoria al legno è nota come metodo di Möhler, e si basa sulle seguenti ipotesi:

- comportamento elastico-lineare del materiale e della connessione;
- piccoli spostamenti e deformazioni (teoria del 1° ordine);
- per entrambi gli elementi del sistema composto (legno e calcestruzzo): curvature identiche, conservazione delle sezioni piane;
- travi con sezione costante lungo l'asse longitudinale;
- connessione uniformemente distribuita lungo la trave: quest'ultima ipotesi può non essere riscontrata nei casi reali, dove è frequente la variazione del passo dei connettori fra gli appoggi (dove si infittisce e assume il valore s_{\min}) e la mezzera (dove assume il valore s_{\max}). In questo caso, e purché $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$, si può fare riferimento ad un 'interasse equivalente' $s_{\text{eq}} = 0.75 s_{\min} + 0.25 s_{\max}$ ([3], §8.4.1).

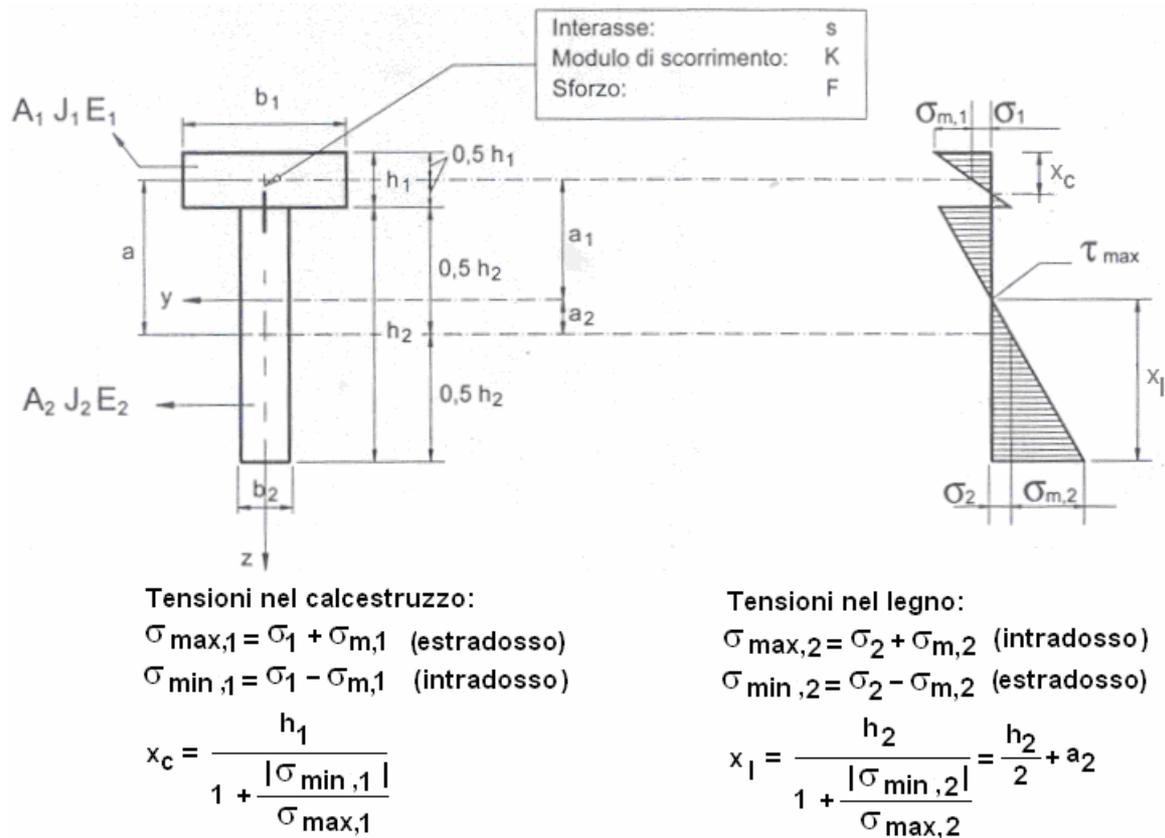


Fig. A.3.5. Trave composta con connessione deformabile, con elemento in calcestruzzo di sezione rettangolare (coincidente con la soletta)

(La fig. A.3.5 è una rielaborazione di [8], fig. 4.47, per evidenziare l'asse neutro di ognuno dei due elementi; in figura, il baricentro globale della sezione composta si trova nell'elemento in legno. In altre configurazioni, ed in particolare nel caso di sezione di calcestruzzo a T, il baricentro globale può trovarsi dentro all'elemento in calcestruzzo.

Nell'espressione di x_c , nel caso di sezione di calcestruzzo a T, ad h_1 - definita come spessore della soletta - va sostituita l'altezza complessiva ($h_1 + h_{cor}$). Ciò premesso, le espressioni di x_c e x_1 in funzione delle tensioni massima e minima consentono in ogni caso di determinare la posizione dell'asse neutro del singolo elemento rispetto al bordo della sezione)

L'espressione di x_c è calcolata in base alla linearità; assumendo come positive le tensioni di compressione, si ha:

$x_c: \sigma_{\max,1} = (h - x_c) : |\sigma_{\min,1}|$, da cui segue l'espressione di x_c indicata in fig. A.3.5 (espressione valida anche per sezione di calcestruzzo a T).

I documenti normativi di riferimento, ed in particolare l'EuroCodice 5 ([5], EN 1995-1-1: 2004, Allegato B, di cui si riporta l'estratto nelle pagine seguenti) propongono, per le travi composte a connessione deformabile, alcune formule derivate da una trattazione semplificata del problema.

EN 1995-1-1:2004 (E)

Annex B (Informative): Mechanically jointed beams

B.1 Simplified analysis

B.1.1 Cross-sections

(1) The cross-sections shown in Figure B.1 are considered in this annex.

B.1.2 Assumptions

- (1) The design method is based on the theory of linear elasticity and the following assumptions:
- the beams are simply supported with a span l . For continuous beams the expressions may be used with l equal to 0,8 of the relevant span and for cantilevered beams with l equal to twice the cantilever length
 - the individual parts (of wood, wood-based panels) are either full length or made with glued end joints
 - the individual parts are connected to each other by mechanical fasteners with a slip modulus K
 - the spacing s between the fasteners is constant or varies uniformly according to the shear force between s_{\min} and s_{\max} , with $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$
 - the load is acting in the z-direction giving a moment $M = M(x)$ varying sinusoidally or parabolically and a shear force $V = V(x)$.

B.1.3 Spacings

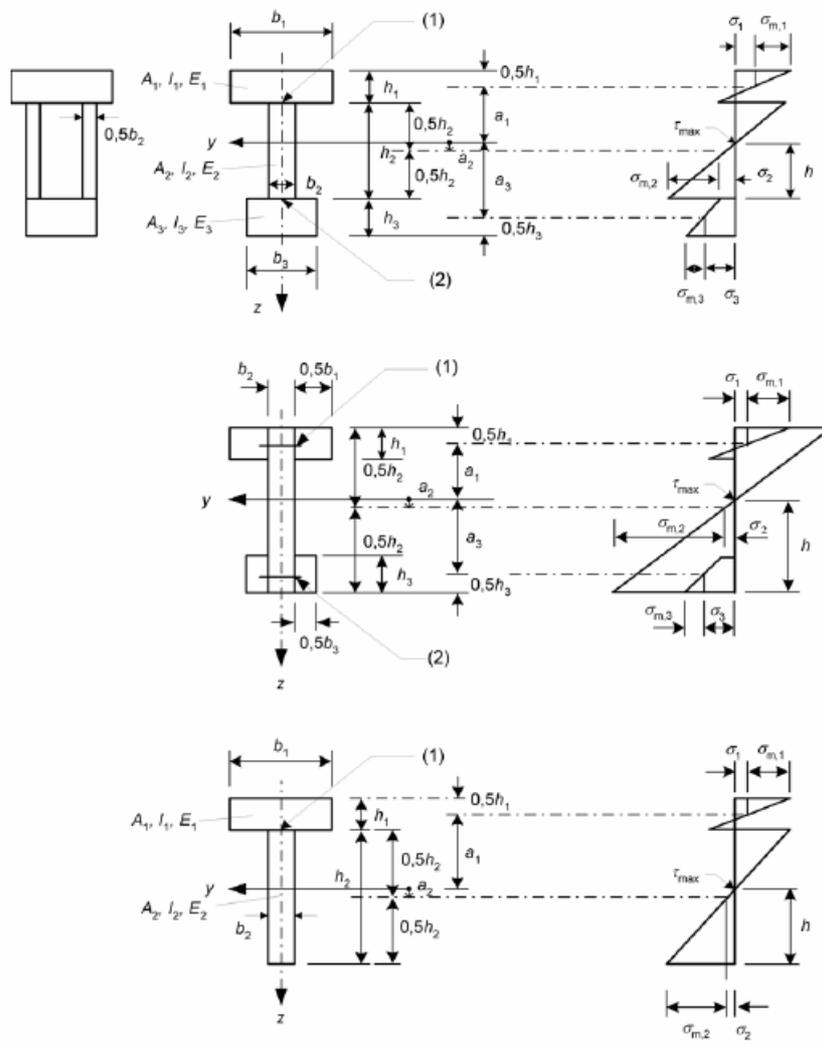
(1) Where a flange consists of two parts jointed to a web or where a web consists of two parts (as in a box beam), the spacing s_j is determined by the sum of the fasteners per unit length in the two jointing planes.

B.1.4 Deflections resulting from bending moments

(1) Deflections are calculated by using an effective bending stiffness $(EI)_{\text{eff}}$ determined in accordance with B.2.

112

EN 1995-1-1:2004 (E)



Key:
 (1) spacing: s_1 slip modulus: K_1 load: F_1
 (2) spacing: s_3 slip modulus: K_3 load: F_3

Figure B.1 – Cross-section (left) and distribution of bending stresses (right). All measurements are positive except for a_2 which is taken as positive as shown.

EN 1995-1-1:2004 (E)

B.2 Effective bending stiffness

(1) The effective bending stiffness should be taken as:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (B.1)$$

using mean values of E and where:

$$A_i = b_i h_i \quad (B.2)$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (B.3)$$

$$\gamma_2 = 1 \quad (B.4)$$

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i I_i^2) \right]^{-1} \quad \text{for } i = 1 \text{ and } i = 3 \quad (B.5)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} \quad (B.6)$$

where the symbols are defined in Figure B.1;

$K_i = K_{ser,i}$ for the serviceability limit state calculations;

$K_i = K_{ult,i}$ for the ultimate limit state calculations.

For T-sections $h_3 = 0$

B.3 Normal stresses

(1) The normal stresses should be taken as:

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{ef}} \quad (B.7)$$

$$\sigma_{m,i} = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{ef}} \quad (B.8)$$

B.4 Maximum shear stress

(1) The maximum shear stresses occur where the normal stresses are zero. The maximum shear stresses in the web member (part 2 in Figure B.1) should be taken as:

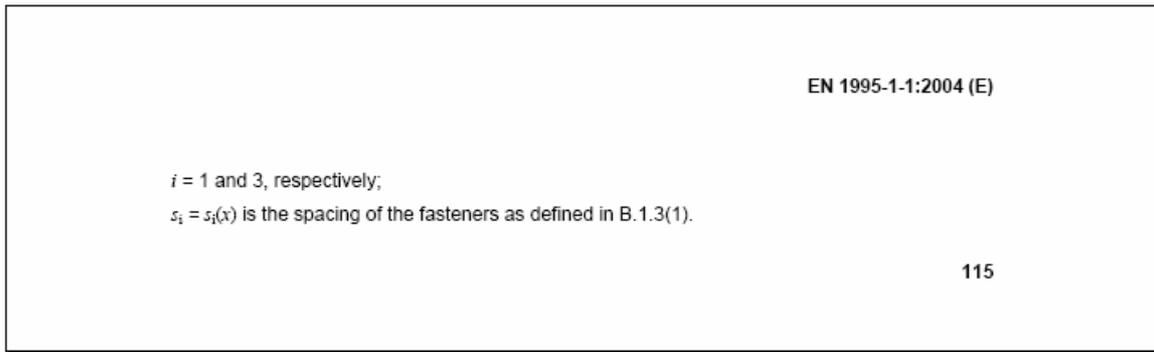
$$\tau_{2,max} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{ef}} V \quad (B.9)$$

B.5 Fastener load

(1) The load on a fastener should be taken as:

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{ef}} V \quad (B.10)$$

where:



La rigidezza efficace del sistema composto è espressa da (cfr. anche [8], §4.2.2.2):

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

dove:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{\text{eq}} / (K l^2)]^{-1}$$

$$\gamma_2 = 1$$

l = luce di calcolo della trave composta per un sistema in semplice appoggio.

K = modulo di scorrimento relativo al tipo di connettore considerato (cfr. p.A.2.4), che assume il valore:

K_{ser} per le verifiche a Stato Limite di Esercizio SLE (verifiche di deformabilità), e:

$K_u = 2/3 K_{\text{ser}}$ per le verifiche di resistenza a Stato Limite Ultimo SLU.

Essendo a la distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 (=calcestruzzo) e 2 (=legno) dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = h_2/2 + d_1$$

(per sezione in calcestruzzo rettangolare: $a = h_2/2 + h_a + h_1/2$),

le espressioni per le distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile sono date da:

$$a_2 = (\gamma_1 E_1 A_1 a) / (\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2) = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)]$$

$$a_1 = a - a_2$$

A.3.2. VERIFICHE A FLESSIONE

Determinata la rigidezza efficace della membratura, le sollecitazioni di progetto agenti sul singolo elemento i -esimo del sistema composto sono espresse da:

$$N_{i,d} = [(\gamma_i E_i a_i A_i) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d$$

$$M_{i,d} = [(EJ)_i / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d$$

dove M_d è il momento di progetto.

Le tensioni normali di progetto si ricavano, per ciascun elemento, sommando la componente baricentrica (dovuta a $N_{i,d}$) con la flessionale (dovuta a $M_{i,d}$; cfr. fig. A.3.5), in modo da ottenere le tensioni massime, ai lembi degli elementi costituenti la sezione composta. Queste tensioni devono essere confrontate con le resistenze di progetto (a compressione e a trazione):

$$\sigma_i = (N_{i,d} / A_i) \pm (M_{i,d} / W_i) \Rightarrow \sigma_{\text{max},i}, \sigma_{\text{min},i}$$

(a) Per la verifica dell'**elemento in calcestruzzo**, si distinguono i casi di sezione rettangolare (solo soletta), e di sezione a T (soletta + cordolo).

(a1) In caso di **sezione rettangolare** (coincidente con la soletta), per calcolare le massime tensioni di compressione all'estradosso e di trazione all'intradosso, il modulo di resistenza vale: $W_{1,e} = W_{1,i} = J_1 / (h_1/2) = b_1 h_1^2/6$.

La massima tensione di compressione all'estradosso della soletta viene confrontata con la resistenza di progetto a compressione; la massima tensione di trazione all'intradosso della soletta viene confrontata con la resistenza di progetto a trazione.

Si osservi che la posizione dell'asse neutro nella soletta è in genere tale che la zona tesa è molto più piccola della zona compressa, p.es. in una soletta di 40-50 mm. può avere altezza di pochi millimetri: per tale motivo, viene svolta la verifica a trazione del calcestruzzo nel lembo teso della soletta, ed è questa la

verifica eseguita da SLC. Ove l'asse neutro tagliasse la soletta ad una posizione tale da includere la rete e.s. nella zona tesa, lo sforzo di trazione potrebbe essere assorbito dall'armatura della rete stessa.

(a2) in caso di **sezione a T** (fig. A.3.3): per quanto riguarda i moduli di resistenza, si ha:

all'estradosso: $W_{1,e} = J_1 / (h - d_1)$, all'intradosso: $W_{1,i} = J_1 / d_1$

Si esegue anzitutto la verifica a compressione all'estradosso della soletta (confronto con la resistenza a compressione di progetto).

Per quanto riguarda la trazione, si prevede che sia sostenuta da armature longitudinali poste all'intradosso del cordolo. L'asse neutro può tagliare la soletta oppure l'anima (cioè il cordolo).

Per il calcolo della sollecitazione di progetto all'intradosso della soletta (\equiv estradosso del cordolo) $\sigma_{1,is}$, si sfrutta la linearità del diagramma delle tensioni:

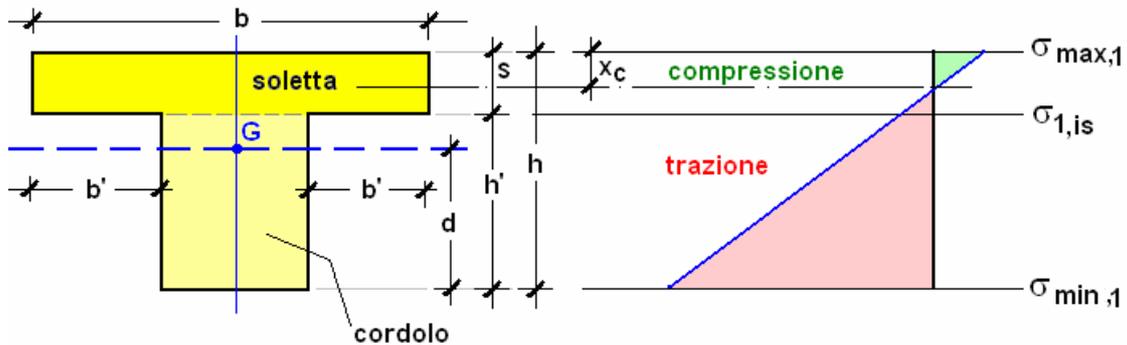


Fig. A.3.6. Tensione all'intradosso della soletta

$\sigma_{1,is} : (s - x_c) = \sigma_{\min,1} : (h - x_c)$, da cui segue l'espressione di $\sigma_{1,is}$:

$$\sigma_{1,is} = \sigma_{\min,1} * (s - x_c) / (h - x_c).$$

Le armature longitudinali poste all'intradosso del cordolo, vengono dimensionate attribuendo loro l'intero sforzo di trazione presente nella sezione di calcestruzzo (un esempio di questa procedura è riportato in [7], §5.5.5.4); a favore di sicurezza, nel caso in cui l'asse neutro del calcestruzzo tagli la soletta, viene comunque sempre eseguita la verifica di resistenza a trazione nel calcestruzzo. Pertanto:

- se l'asse neutro del calcestruzzo taglia la soletta:

$$A_s * f_{yd} = [(\sigma_{\min,1} + \sigma_{1,is}) * h_{cor} / 2] * b_{cor} + [\sigma_{1,is} * (s - x_c) / 2] * b$$

- se l'asse neutro del calcestruzzo taglia il cordolo:

$$A_s * f_{yd} = + [\sigma_{\min,1} * (h - x_c) / 2] * b_{cor}$$

(b) Per la verifica dell'**elemento in legno**, il modulo di resistenza all'intradosso della trave in legno è dato da: $W_{2,i} = W_{2,e} = J_2 / (h_2/2) = b_2 h_2^2 / 6$

La verifica a tensoflessione si esegue tenendo conto delle diverse resistenze a trazione e a flessione:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td} + \sigma_{m,2} / f_{md}) = (N_{2,d} / A_2) / f_{td} + (M_{2,d} / W_2) / f_{md} < 1$$

A.3.3. VERIFICHE A TAGLIO

(a1) Per la **sezione in calcestruzzo**, in caso di sezione coincidente con la soletta (sezione rettangolare), la verifica a taglio del solaio composto si identifica con la verifica a taglio della trave in legno.

(a2) Se la sezione di calcestruzzo è a T, qualora il cordolo abbia dimensioni sufficienti per disporre una **staffatura (armatura trasversale)**, il taglio competente alla sezione di calcestruzzo si utilizza per dimensionare tale armatura, secondo lo schema indicato al punto (a21) (§4.1.2.1.3.2); se invece nel cordolo non si dispone una specifica armatura trasversale a taglio, si procede secondo il punto (a22).

(a21) Data la sezione di calcestruzzo e l'**armatura trasversale**, si vuole determinare il massimo taglio resistente, da confrontare con la sollecitazione tagliante di progetto:

$$V_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * V_d$$

Note dai riferimenti normativi le resistenze a "taglio trazione" competente all'armatura trasversale (staffe) e a "taglio compressione" competente alle bielle di calcestruzzo (i puntoni nella schematizzazione a traliccio), è possibile uguagliare le espressioni delle due resistenze imponendo così il cedimento simultaneo delle bielle di calcestruzzo e delle staffe (un esempio è riportato in [11], §8.1.4.1). Si ottiene: $(A_{sw} * f_{yd}) / (b_w s \alpha_c f_{cd}) = \sin^2 \vartheta$

dove:

A_{sw} = area dell'armatura trasversale: ad esempio, per staffe $\Phi 8$ a due bracci: $2\Phi 8 = 101 \text{ mm}^2$;
 f_{yd} = tensione di snervamento di progetto dell'acciaio.

Per acciaio B450C (§11.3.2):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1.15 = 391 \text{ N/mm}^2 \text{ (§4.1.2.1.1.3);}$$

b_w = larghezza minima della sezione = b_{cor} ;

s = interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha_c = 1$ (membratura non compressa);

f'_{cd} = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima = $0.5 f_{cd}$
(per calcestruzzo C25/30: $f'_{cd} = 0.5 * 14.16 = 7.08 \text{ N/mm}^2$)

ϑ = angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo.

Dall'equazione ottenuta si ricava ϑ e, dietro controllo che sia:

$$1 \leq \cotg \vartheta \leq 2.5,$$

il taglio resistente si calcola direttamente con la (4.1.18), §4.1.2.1.3.2:

$$V_{Rd} = 0.9 d * (A_{sw} / s) * f_{yd} * \cotg \vartheta$$

essendo d l'altezza utile della sezione del cordolo (pari ad: $h' - \text{copriferro}$).

Affinché sia soddisfatta la verifica a taglio del cordolo dell'elemento a T di calcestruzzo della sezione composta, dovrà essere:

$$V_{1,d} \leq V_{Rd}$$

(a22) Se il cordolo ha dimensioni tali da non consentire la corretta realizzazione di un'armatura trasversale, può essere considerato elemento secondario **non armato a taglio**, situazione per la quale si fa riferimento a §4.1.11. La verifica a taglio si intende in tal caso soddisfatta quando le tensioni tangenziali massime, valutate per combinazione rara, siano inferiori al seguente limite:

$\tau_c = 0.21 f_{ctk}$ per calcestruzzo non armato (in assenza di armatura longitudinale);

$\tau_c = 0.25 f_{ctk}$ per calcestruzzo debolmente armato (è disposta un'armatura longitudinale, anche se inferiore alla minima prescritta per le sezioni in cemento armato)

Per calcestruzzo C25/30 si ha: $0.21 * 1.80 = 0.38 \text{ N/mm}^2$; $0.25 * 1.80 = 0.45 \text{ N/mm}^2$

La tensione tangenziale dovuta alla sollecitazione di progetto, τ_1 , deve essere confrontata con la tensione tangenziale resistente di progetto τ_c . L'espressione di τ_1 è:

$\tau_1 = V_{1,d} / (z b_w)$, dove $V_{1,d}$ è il taglio della combinazione rara competente al calcestruzzo; il braccio della coppia interna z , in condizioni fessurate [13], è dato da: $z \cong 0.9 d$ (essendo d la distanza fra estradosso della soletta e baricentro delle armature longitudinali poste all'intradosso del cordolo); b_w è la larghezza (del cordolo, cioè dell'anima della sezione di calcestruzzo: $b_w \equiv b_{cor}$).

(b) Per la **trave in legno** si ha:

$$\tau_2 = V_{2,d} * S_2 / (b_2 J_2)$$

dove:

$V_{2,d}$ è il taglio competente alla trave in legno: $V_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] * V_d$

S_2 è il momento statico della parte di sezione di altezza x_1 ($x_1 = h_2/2 + a_2$, vd. fig. A.3.5), compresa fra il lembo inferiore (intradosso) e l'asse neutro della trave in legno, ed è dato da: $S_2 = b_2 x_1^2 / 2$

e pertanto:

$$\tau_2 = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] * V_d * [(b_2 x_1^2 / 2) / (b_2 J_2)] = (E_2 J_2 b_2 * 0.5 x_1^2) / [(EJ)_{eff} * b_2 J_2] * V_d$$

e semplificando i termini in b_2 e J_2 si ottiene infine:

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{eff}] * V_d$$

tensione che deve essere confrontata con la resistenza a taglio di progetto del legno.

A.3.4. VERIFICA DEI CONNETTORI

Verifica di resistenza.

La forza a cui è sottoposto ciascun connettore è data da:

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{eff}] * V_d$$

La sollecitazione di progetto F deve essere confrontata con la resistenza di progetto del connettore.

Nelle travi principali dei solai in legno-calcestruzzo i connettori possono essere accoppiati. Si distinguono i casi di accoppiamento solo agli appoggi o lungo tutta la trave (cioè anche in mezzera); i connettori vengono spesso accoppiati solo agli appoggi, seguendo l'andamento della sollecitazione di taglio. In caso di accoppiamento lungo tutta la trave, nel calcolo dell'efficienza della connessione si tiene conto di una rigidità doppia, e la forza F ottenuta si riferisce ad un unico connettore.

Se i connettori sono accoppiati solo agli appoggi, a favore di sicurezza l'efficienza della connessione viene calcolata con riferimento ad una connessione semplice (non accoppiata), ma la forza agente sul singolo connettore, riferita alla zona di appoggio della trave, si può calcolare, in via semplificata, dividendo per 2 la forza di progetto F.

Verifica di scorrimento.

Lo scorrimento della connessione viene trattato nella Normativa Italiana sia nella Circolare al D.M. 14.1.2008 [2], sia nel documento CNR-DT 206/2007 [3]:

[2], §C4.4.9: (...) Per connessioni a comportamento fragile si dovrà verificare che la capacità portante della connessione sia almeno pari a sei volte la sollecitazione di esercizio della connessione.

Per connessioni deformabili e duttili la resistenza ultima non potrà essere assunta superiore al valore di scorrimento della connessione che potrà effettivamente essere raggiunto in opera.
(...)

[3], §7.12.1: (...) Per connessioni a comportamento fragile si dovrà verificare che la capacità portante della connessione sia almeno pari a sei volte la sollecitazione di esercizio della connessione.

Per connessioni deformabili e duttili, la resistenza caratteristica allo stato limite ultimo non potrà essere assunta superiore al valore convenzionale corrispondente ad uno scorrimento della connessione δ_c pari ad 1 mm o a $L/4000$, se maggiore, dove L è la luce di calcolo della trave.

Si potranno adottare limiti diversi qualora si faccia ricorso ad un'adeguata modellazione della trave composta a connessione deformabile, considerando nel modello di calcolo anche la reale legge di comportamento non lineare della connessione. (...)

In particolare, si fa riferimento alle connessioni deformabili e duttili. Secondo la Circolare, alla sollecitazione di progetto sul connettore allo Stato Limite Ultimo deve corrispondere uno scorrimento δ_c non superiore ad un valore massimo $\delta_{c,lim}$. Tale valore massimo può essere calcolato seguendo le indicazioni di CNR-DT 206/2007; si dovrà dunque accertare che:

$$\delta_c = F / K_u \leq \delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\}.$$

A.3.5. EFFICIENZA DELLA CONNESSIONE

E' possibile definire un parametro che rappresenta la capacità della connessione di limitare lo scorrimento tra gli elementi componenti della trave composta: l' 'efficienza della connessione' si indica con η ed è definita da:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0]$$

Questo parametro risulta compreso tra 0 e 1; per collegamenti molto rigidi assume valori prossimi a 1: $(EJ)_{eff} \rightarrow (EJ)_{\infty}$; per collegamenti deformabili tende a 0: $(EJ)_{eff} \rightarrow (EJ)_0$.

Valori indicativi per la progettazione dei normali solai composti in legno-calcestruzzo sono compresi fra 0.4 e 0.7 ([8],§4.2.2.3); tale parametro non è tuttavia attualmente oggetto di limitazioni normative.

A.3.6. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO (SLU)

Per le strutture in legno è necessario eseguire la verifica di sicurezza nei confronti dello SLU per condizione eccezionale di incendio (§4.4.14). E' possibile fare riferimento al cosiddetto 'metodo della sezione efficace' [5],EN 1995-1-2.

Il metodo prevede il calcolo di una 'sezione efficace' ottenuta riducendo la sezione iniziale di una 'profondità di carbonizzazione efficace' d_{ef} calcolata come in figura seguente:

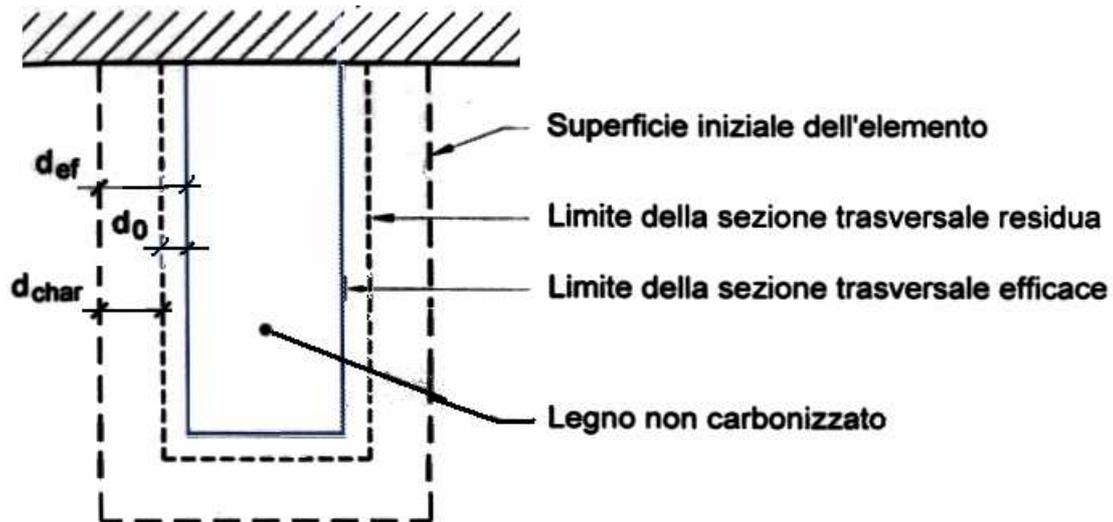


Fig. A.3.7. Differenza fra sezioni trasversali residua ed efficace ([8],§7.6)

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

in cui sono indicati:

d_{ef} = profondità di sezione da depurare per ottenere la sezione trasversale efficace;

$d_{char,n}$ = profondità di carbonizzazione ideale = $\beta_n \cdot t$, essendo β_n la velocità di carbonizzazione e t il tempo di esposizione al fuoco;

k_0 = coefficiente unitario per tempi di esposizione maggiori di 20 minuti;

$d_0 = 7 \text{ mm.}$, valore massimo di differenza fra sezione residua ed efficace.

L'esposizione al fuoco per la trave in legno del solaio riguarda 3 lati, e quindi le dimensioni della sezione efficace sono le seguenti: base: $b_{ef} = b_2 - 2 \cdot d_{ef}$, altezza: $h_{ef} = h_2 - d_{ef}$.

Per le resistenze ed i moduli di elasticità di progetto della sezione efficace valgono le seguenti equazioni:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot (f_k k_{fi}) / \gamma_{M,fi}$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot (S_{05} k_{fi}) / \gamma_{M,fi}$$

dove: S_{05} è il valore caratteristico (frattile 5%) di un modulo di elasticità (E o G),

k_{fi} assume i valori 1.25 per legno massiccio e 1.15 per legno lamellare;

$\gamma_{M,fi}$ è il coefficiente parziale di sicurezza in situazione di incendio (1.0) (§4.4.6, Tab.4.4.III: valori di γ_M per combinazioni eccezionali);

$k_{mod,fi}$ è il fattore di modificazione delle proprietà meccaniche, che per il metodo della sezione efficace assume valore unitario, e sostituisce il parametro k_{mod} a temperatura ambiente.

Per le verifiche di resistenza, si considera la combinazione eccezionale (§2.5.3), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto: i carichi permanenti g vengono considerati nella loro totalità, mentre al carico variabile q_k si applica il proprio coefficiente ψ_2 .

Per quanto riguarda i solai misti in legno e calcestruzzo, la verifica di resistenza al fuoco può essere condotta considerando un approccio semplificato al problema [12], e tenendo in conto che si utilizza una combinazione di carico eccezionale e che non si devono valutare le deformazioni flessionali del solaio, è possibile considerare non più collaborante la soletta di calcestruzzo, attribuendo la totalità del carico agente sulla sezione residua delle travi.

Se con tale metodo la verifica non viene soddisfatta si deve effettuare una verifica completa anche della parte di calcestruzzo, in accordo con i modelli di decadimento della resistenza previsti dalla normativa.

Nei metodi di verifica di resistenza del conglomerato cementizio al fuoco si considera sempre la condizione a tempo 0, ovvero non si tengono in considerazione eventuali effetti dovuti alla viscosità del materiale.

E' opportuno considerare anche la tipologia di connessione adottata che, se non sufficientemente protetta, può presentare significative diminuzioni dei valori di rigidezza e di resistenza. La sperimentazione ([8],§7.9.2) dimostra che è sufficiente garantire, a 60 minuti, uno strato di legno residuo di 20-25 mm. per proteggere i connettori dall'attacco termico; in pratica ciò significa che la larghezza interna della trave entro cui sono infissi i connettori deve essere ridotta, rispetto alla sezione

efficace calcolata a 60 minuti, di ulteriori 25 mm. per lato (cioè 50 mm. in totale). Questo aspetto deve essere tenuto in considerazione in particolare per verificare l'effettiva possibilità di realizzare connettori accoppiati (posti nello stesso piano della sezione trasversale della trave) in corrispondenza degli appoggi.

A.3.7. COMPLEMENTI PER I SOLAI INCLINATI

Nei solai di copertura inclinati si distinguono elementi paralleli alla linea di colmo ed elementi orientati lungo la pendenza della falda: a seconda della tipologia, gli elementi inclinati, soggetti a flessione e sforzo normale di compressione (puntoni) possono essere quelli dell'orditura principale (travi) o della secondaria (travetti, in caso di orditura doppia). I diversi assetti sono rappresentati in fig. A.3.8.

Il caso (A) è relativo ad un qualunque solaio piano, di orizzontamento intermedio o di copertura. Sia le travi principali, sia i travetti sono sottoposti a carico verticale che genera flessione retta.

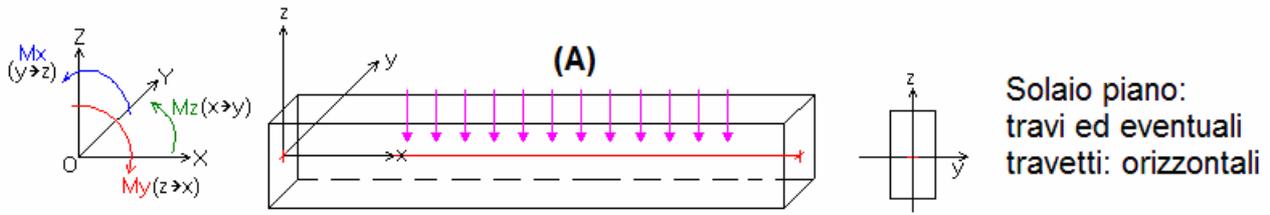
Nel caso di solaio in copertura inclinata, un elemento orientato col proprio asse longitudinale (asse x) lungo l'inclinazione della falda è spingente, ed è soggetto a flessione retta e sforzo normale (caso (B)); un elemento parallelo alla linea di colmo è invece non spingente.

Per evitare il più possibile gli effetti delle spinte, che particolarmente in zona sismica possono aggravare il comportamento strutturale nella sommità del Progetto contribuendo al ribaltamento dei paramenti murari verso l'esterno, la trave principale non dovrebbe essere inclinata. Ciò significa che in un solaio a semplice orditura le travi dovrebbero essere parallele alla linea di colmo; in un solaio a doppia orditura, gli elementi inclinati dovrebbero essere i travetti.

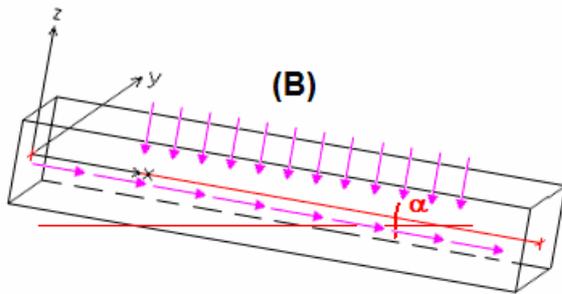
Gli elementi paralleli alla linea di colmo (travi o travetti) possono trovarsi in situazione (C) o (D): nel caso (C), il comportamento statico si assume identico al caso piano (flessione retta); nel caso (D), l'elemento strutturale è sottoposto a flessione deviata.

Nei solai misti in legno e calcestruzzo, la collaborazione flessionale fra i due materiali genera sforzi normali di trazione nell'elemento ligneo e di compressione nella sezione di calcestruzzo. Nel caso dei puntoni, viene esercitata un'azione di compressione nel legno, e una di compressione aggiuntiva nel calcestruzzo.

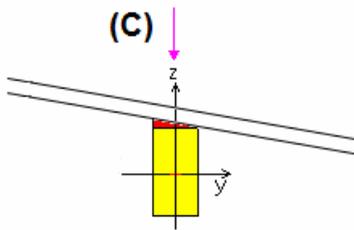
Trattandosi di solai (strutture inflesse), i parametri che descrivono il comportamento della sezione composta secondo la teoria sviluppata per i solai piani si utilizzano direttamente anche per la componente assiale dovuta all'inclinazione, ripartendo lo sforzo normale N di compressione fra le due sezioni (calcestruzzo e legno) in modo proporzionale alle rigidezze assiali $\gamma_i E_i A_i$ definite nel p.A.3.1; si prescinde inoltre da fenomeni di instabilità, date le caratteristiche delle strutture esaminate (solai collaboranti con soletta in calcestruzzo, prevalentemente inflessi con eventuale compressione dipendente solo dall'inclinazione della copertura).



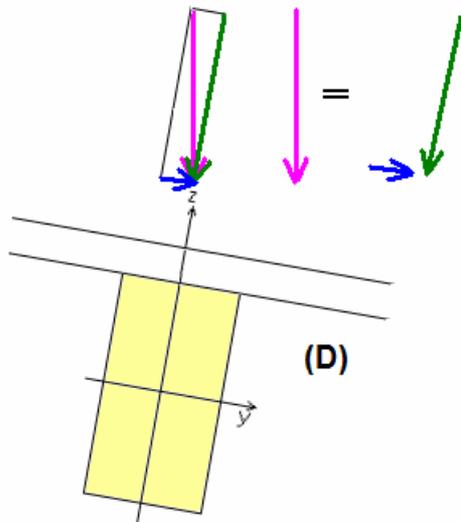
Solai piano:
travi ed eventuali
travetti: orizzontali



Elemento inclinato: il carico verticale si scompone in un carico ortogonale all'asse (momento flettente) e in uno lungo l'asse (sforzo normale di compressione)



Elemento parallelo alla linea di colmo, con sezione avente assi principali orizzontale e verticale (sezione non inclinata). L'elemento è trattato come un normale elemento orizzontale. Sulla faccia superiore può presentare un taglio: nel calcolo, a favore di sicurezza, si considera comunque la sezione rettangolare netta (in colore giallo nella fig.)



Elemento parallelo alla linea di colmo, con sezione inclinata: ad esempio, in fig., le due facce minori della sezione sono orientate secondo l'inclinazione della falda.

La sezione è sottoposta a flessione deviata (nella verifica di resistenza si considerano i due momenti M_y e M_z). Per la verifiche a SLU, le due resistenze f_{myk} e f_{mzk} restano definite attraverso il coefficiente k_h ([3], §4.2.1). Nella verifica di deformabilità, la freccia lungo l'asse y può essere impedita dal pacchetto di copertura.

Fig. A.3.8. Travi inclinate in copertura

Le sollecitazioni in un elemento di solaio inclinato possono essere calcolate secondo lo schema seguente (fig. A.3.9):

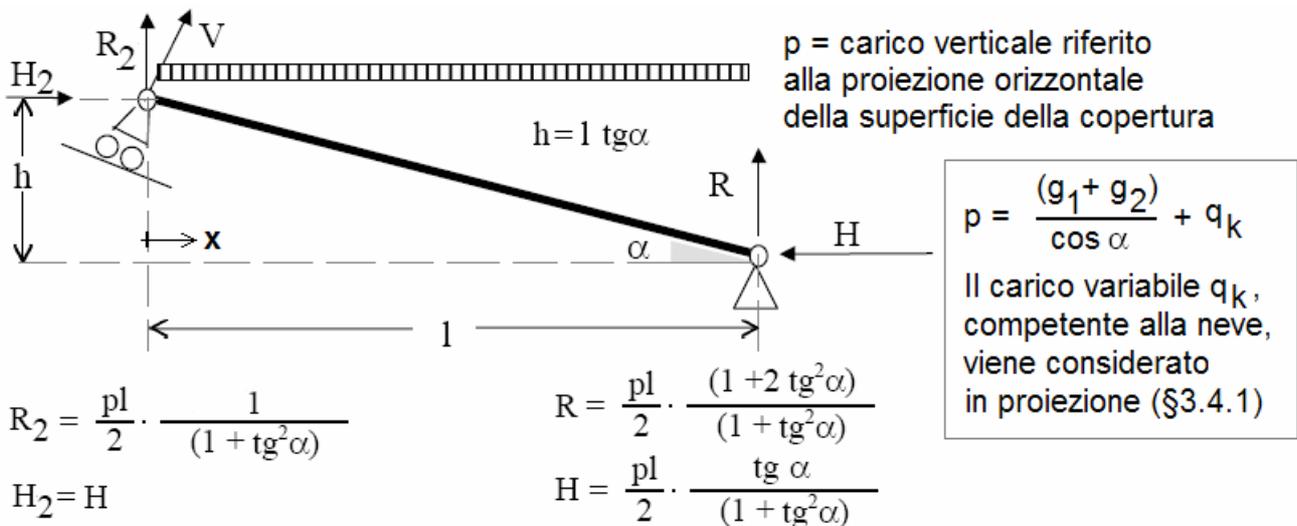


Fig. A.3.9. Schema di calcolo delle reazioni della copertura

Lo sforzo normale lungo il puntone è: $N(x) = p \cdot x \cdot \sin \alpha$

Nella sezione di mezzeria, dove si esegue la verifica a flessione, lo sforzo normale di compressione vale:

$N_{\text{mezz}} = p \cdot (l/2) \cdot \sin \alpha$ (con carico p riferito alla proiezione orizzontale),

che, per quanto premesso, viene ripartito fra calcestruzzo (N_c) e legno (N_w) secondo le rigidzze assiali della sezione composta con connessione deformabile (il pedice 1 indica il calcestruzzo, 2 il legno):

$N_1 = (\gamma_1 E_1 A_1) / \Sigma(\gamma_i E_i A_i)$, $N_2 = (\gamma_2 E_2 A_2) / \Sigma(\gamma_i E_i A_i)$

Per quanto riguarda gli elementi di copertura soggetti a **flessione deviata** (fig. A.3.8, (D)), nella verifica si deve considerare la resistenza del legno nei due piani di flessione; questa può assumere valori differenziati in considerazione del coefficiente correttivo k_h definito in [3], §4.2.1.

Si considerino anzitutto elementi in legno massiccio. Indicando con h l'altezza della sezione inflessa, il coefficiente correttivo da applicare a f_{mk} è dato da:

$k_h = \min \{(150/h)^{0.2} ; 1.3\}$.

A partire da f_{mk} si possono così definire f_{myk} e f_{mzk} :

- per la flessione nel piano xz (intorno a y ; la resistenza è: f_{myk}), h è pari a l_z (lato parallelo a z ; è il lato maggiore in fig. A.3.8.(D)). Se l_z è minore di 150 mm.:

$f_{myk} = \min \{(150/l_z)^{0.2} ; 1.3\} * f_{mk}$

- per la flessione nel piano xy (intorno a z : è la flessione trasversale che si genera per effetto dell'inclinazione della sezione della trave; la flessione dipende dalla componente evidenziata in colore blu in fig. A.3.8.(D); la resistenza è: f_{mzk}), $h=l_y$ (lato parallelo a y ; è il lato minore in fig. A.3.8.(D)). Se l_y è minore di 150 mm.:

$f_{mzk} = \min \{(150/l_y)^{0.2} ; 1.3\} * f_{mk}$

Per elementi in legno lamellare, la formulazione del coefficiente correttivo è analoga, ma con riferimento ad un'altezza di sezione inflessa < 600 mm (invece di 150):

$k_h = \min \{(600/h)^{0.1} ; 1.1\}$.

Nel solaio in **legno-calcestruzzo**, i connettori sono posti lungo l'asse longitudinale e orientati secondo l'asse z ; il loro effetto viene comunque considerato per il calcolo di entrambi i momenti, longitudinale (cioè intorno a y) e trasversale (cioè intorno a z), definiti ognuno dalla corrispondente componente del momento di progetto.

Per quanto riguarda la **verifica di deformabilità**, nel caso di **flessione deviata** (trave con asse longitudinale orizzontale, ma avente sezione trasversale inclinata) la freccia deve essere calcolata in entrambi i piani di flessione, e i due valori ottenuti vengono composti per ottenere il valore di calcolo della freccia. Per la flessione trasversale, la freccia può essere calcolata, in via semplificata e a favore di sicurezza, attribuendo tutto il carico trasversale alla trave in legno. E' possibile che, per l'assetto stesso del pacchetto di copertura, ed in particolare per i solai in legno-calcestruzzo, la deformazione in direzione

trasversale (freccia nel piano xy) sia impedita: in tal caso, la freccia di calcolo coinciderà con la freccia nel piano di flessione xz.

Nel caso di **pressoflessione** (trave inclinata di copertura), la freccia coincide con la deformazione della trave nella direzione ortogonale al suo asse longitudinale: pertanto, si calcola considerando la componente del carico ortogonale all'asse longitudinale.

Sia p il carico verticale riferito alla proiezione orizzontale, formato dai contributi: $g_1/\cos\alpha$ e $g_2/\cos\alpha$ per quanto riguarda i carichi permanenti (agenti lungo tutto lo sviluppo della trave), q_k , per il carico variabile, il cui valore è già definito con riferimento alla proiezione orizzontale (cfr. fig. A.3.9):

$$p = (g_1/\cos\alpha) + (g_2/\cos\alpha) + q_k$$

Il carico verticale distribuito lungo l'asse della trave è pari a: $p \cos\alpha$.

La componente ortogonale all'asse della trave è: $(p \cdot \cos\alpha) \cdot \cos\alpha = p \cos^2\alpha$

che genera la freccia:

$$f = (5/384) \cdot (p \cos^2\alpha) \cdot L^4 / EJ,$$

essendo L la lunghezza dell'asse.

Facendo riferimento alla luce in proiezione orizzontale ($l = L \cos\alpha \Rightarrow L = l / \cos\alpha$), si ha:

$$f = (5/384) \cdot (p \cos^2\alpha) \cdot (l / \cos\alpha)^4 / EJ = (5/384) \cdot pl^4 / \cos^2\alpha / EJ$$

A.3.8. RIEPILOGO VERIFICHE DI RESISTENZA NEL LEGNO

Considerando i vari tipi di sollecitazione che possono interessare la sezione trasversale degli elementi in legno (travi e travetti) dei solai, si riepilogano in sintesi (testo tratto dal D.M.14.1.2008) le relazioni di verifica riguardanti: flessione retta (travi orizzontali in solo legno); tensoflessione (travi orizzontali accoppiate con calcestruzzo); pressoflessione (travi inclinate); flessione deviata (travi di copertura ad asse orizzontale ma a sezione inclinata); taglio:

4.4.8.1.6 Flessione

Devono essere soddisfatte entrambe le condizioni seguenti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.4.5a)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.4.5b)$$

dove:

$\sigma_{m,y,d}$ e $\sigma_{m,z,d}$ sono le tensioni di calcolo massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione (vedi Fig. 4.4.1);

$f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze di calcolo a flessione, determinate tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_b , come definito al § 11.7.1.1.

I valori da adottare per il coefficiente k_m , che tiene conto convenzionalmente della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale, sono:

- $k_m = 0,7$ per sezioni trasversali rettangolari;

- $k_m = 1,0$ per altre sezioni trasversali.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi, come definita al § 4.4.8.2.1.

4.4.8.1.7 Tensoflessione

Nel caso di sforzo normale di trazione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (4.4.6a)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (4.4.6b)$$

I valori di k_m da utilizzare sono quelli riportati al § 4.4.8.1.6.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi, come definita al § 4.4.8.2.1.

4.4.8.1.8 Pressoflessione

Nel caso di sforzo normale di compressione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (4.4.7a)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (4.4.7b)$$

I valori di k_m da utilizzare sono quelli riportati al precedente § 4.4.8.1.6.

Devono essere inoltre effettuate le verifiche di instabilità, come definite al § 4.4.8.2.2.

4.4.8.1.9 Taglio

Deve essere soddisfatta la condizione:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (4.4.8)$$

dove: τ_d è la tensione massima tangenziale di calcolo, valutata secondo la teoria di Jourawski;

$f_{v,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo a taglio.

A.4. VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Per ogni verifica di resistenza della sezione di legno-calcestruzzo composta dalle trave principale accoppiata alla soletta, viene definito il corrispondente coefficiente di sicurezza η (da non confondere con l'efficienza della connessione, parametro caratteristico della sezione composta): η è pari al rapporto fra resistenza di progetto e sollecitazione di progetto (per le varie verifiche, i coefficienti di sicurezza vengono progressivamente numerati: η_1, η_2 , ecc.). Se $\eta \geq 1.000$, la corrispondente verifica è soddisfatta. Il solaio è conforme alle richieste di Normativa qualora tutti i coefficienti di sicurezza (incluse anche le verifiche di deformabilità della sezione in legno-calcestruzzo composta dalla trave principale di cui al p.A.5, di resistenza e deformabilità dei travetti di cui al p.A.6, e di resistenza al fuoco della trave principale di cui al p.A.7) siano ≥ 1.000 .

A.4.1. COMBINAZIONE DI CARICO (1) (media durata: tutti i carichi)

A.4.1.1. COMBINAZIONE DI CARICO (1): VERIFICA A TEMPO $t=0$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:

1 = calcestruzzo, 2 = legno.

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

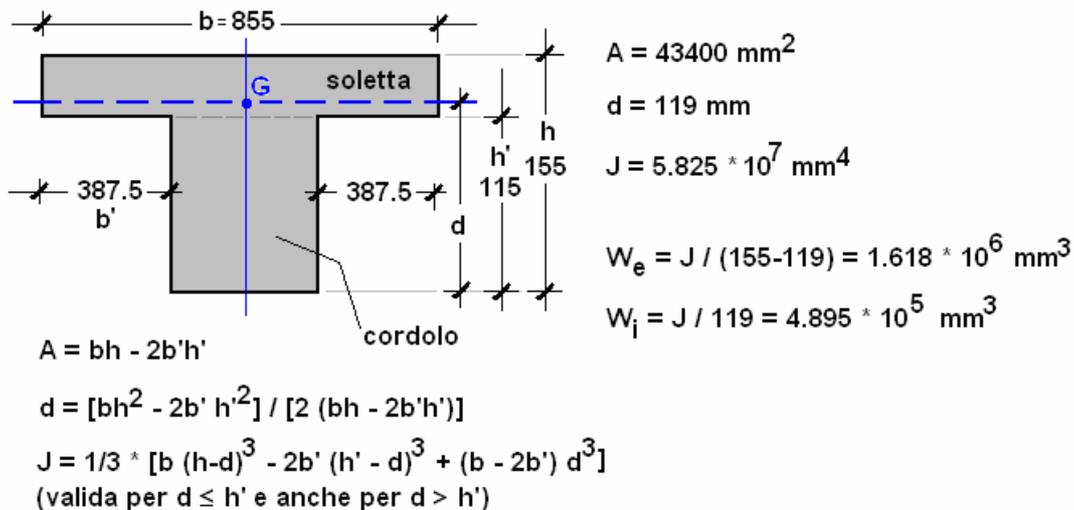


Fig. A.4.1. Parametri statici per sezione di calcestruzzo a T (soletta e cordolo)

$$E_1 J_1 = 31476 \cdot 5.825 \cdot 10^7 = 1.833 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 11000 \cdot (240 \cdot 240^3 / 12) = 3.041 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 4.874 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : dall'intradosso della trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 240 + 119 = 359 \text{ mm}$$

$$A_2 = 240 \cdot 240 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 240 / 2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G_\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = (31476 \cdot 43400 \cdot 359 + 11000 \cdot 57600 \cdot 120) / (31476 \cdot 43400 + 11000 \cdot 57600) = 283 \text{ mm}$$

distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G_\infty} = 240 + 119 - 283 = 76 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G_\infty} - h_2 / 2 = 283 - 240 / 2 = 163 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 76 + 163 = 239 \text{ mm}$$

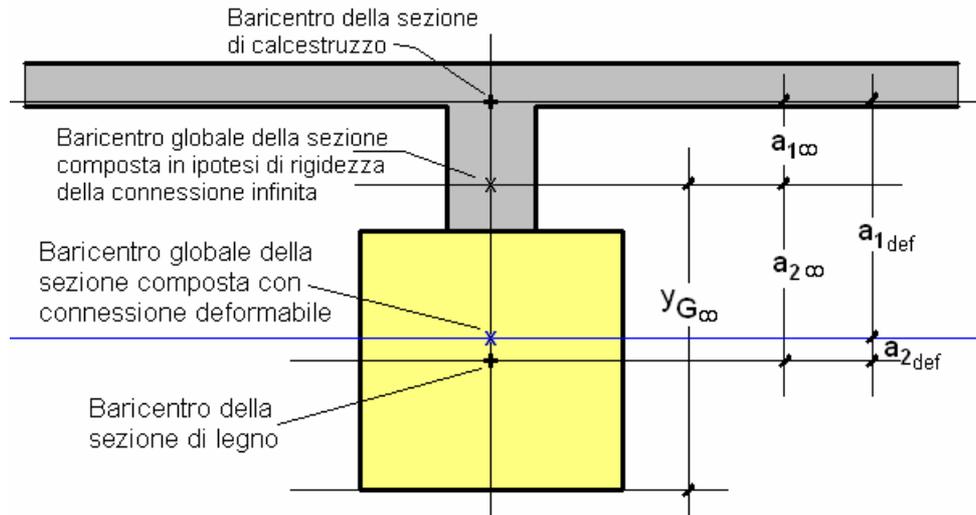


Fig. A.4.2. Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 4.874 \cdot 10^{12} + 31476 \cdot 43400 \cdot 76^2 + 11000 \cdot 57600 \cdot 163^2 = 2.960 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

- *determinazione della rigidità efficace:*

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K = K_u = 5238 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = [1 + \pi^2 \cdot 31476 \cdot 43400 \cdot 175 / (5238 \cdot 4560^2)]^{-1} = 0.044$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 239 / [1 + (11000 \cdot 57600) / (0.044 \cdot 31476 \cdot 43400)] = 21 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 239 - 21 = 218 \text{ mm}$$

rigidità efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 4.874 \cdot 10^{12} + 0.044 \cdot 31476 \cdot 43400 \cdot 218^2 + 1 \cdot 11000 \cdot 57600 \cdot 21^2 = 8.010 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = (8.010 - 4.874) / (29.6 - 4.874) = 0.13$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,(1),SLU} \cdot l^2 / 8 = 10.25 \cdot 4.56^2 / 8 = 26.64 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,(1),SLU} \cdot l / 2 = 10.25 \cdot 4.56 / 2 = 23.37 \text{ kN}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] \cdot M_d = [(0.044 \cdot 31476 \cdot 218 \cdot 43400) / (8.010 \cdot 10^{12})] \cdot 26640 = 43 \text{ kN} = 43000 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] \cdot M_d = [1.833 \cdot 10^{12} / (8.010 \cdot 10^{12})] \cdot 26.64 = 6.096 \text{ kNm} = 6.1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_g) = 43000 / 43400 + 6.1 \cdot 10^6 / (1.618 \cdot 10^6) = 0.99 + 3.77 = 4.76 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_1 = 11.33 / 4.76 = \mathbf{2.380}$$

[η_1 : trave principale, CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta).

N.B.: Il coefficiente di sicurezza η_2 corrispondente alla trazione nel cls all'intradosso della soletta viene definito per i solai a semplice orditura, dove la sezione del cls coincide con la sola soletta; in questo esempio η_2 non viene quindi calcolato]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = 43000 / 43400 - 6.1 \cdot 10^6 / (0.4895 \cdot 10^6) = 0.99 - 12.46 = -11.47 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}| / \sigma_{max,1}) = 155 / (1 + 11.47 / 4.76) = 45 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima (cioè il cordolo).

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{\min,1}| * (h - x_c) / 2] * b = 11.47 * (155-45)/2 * 80 = 50468 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 50468 / 391 = 130 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale 2Φ12 ($A_s=226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_3 = 226/130 = \mathbf{1.738}$$

[η_3 : trave principale, CC 1, $t=0$, trazione armatura nel cordolo di cls]

Verifica a taglio

Nel cordolo della sezione di calcestruzzo non sono predisposte armature a taglio.

La verifica di resistenza a taglio deve essere condotta per combinazione rara, relativamente a calcestruzzo debolmente armato (§4.1.11.1):

$$q_d = (G_1 + G_2 + Q_k) * 1.25 = (2.04 + 1.70 + 2.00) * 1.25 = 7.17 \text{ kN/m}$$

$$V_d = q_d * l / 2 = 7.17 * 4.56 / 2 = 16.35 \text{ kN}$$

La tensione tangenziale resistente di progetto è pari a:

$$\tau_c = 0.25 f_{ctk} = 0.25 * 1.80 = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Il taglio di progetto per la sezione di calcestruzzo è pari a:

$$V_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = [1.833 * 10^{12} / (8.010 * 10^{12})] * 16.35 = 3.74 \text{ kN}$$

Il braccio della coppia interna in condizioni fessurate vale:

$$z \approx 0.9 d, \text{ essendo } d \text{ la distanza fra estradosso della soletta e baricentro delle armature longitudinali in intradosso al cordolo: } d = h - 20 - 12/2 \text{ mm (avendo supposto copriferro netto 20 mm)} = h - 26 \text{ mm.} = 155 - 26 = 129 \text{ mm}$$

La tensione tangenziale dovuta alla sollecitazione di progetto vale:

$$\tau_1 = V_{1,d} / (z b_{\text{cor}}) = 3740 / (0.9 * 129 * 80) = 0.40 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_4 = 0.45/0.40 = \mathbf{1.125}$$

[η_4 : trave principale, CC rara, $t=0$, taglio nel cordolo di cls non armato a taglio.

N.B.: nel caso in esame non viene definito il coefficiente di sicurezza η_5 , corrispondente alla verifica di resistenza della staffatura a taglio, in questo caso assente]

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [(1 * 11000 * 21 * 57600) / (8.010 * 10^{12})] * 26640 = 43 \text{ kN} = 43000 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [3.041 * 10^{12} / (8.010 * 10^{12})] * 26.64 = 10.11 \text{ kNm} = 10.11 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 240 * 240^2 / 6 = 2.304 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 43000 / 57600 = 0.75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 10.11 * 10^6 / (2.304 * 10^6) = 4.39 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.75/7.46 + 4.39/12.79 = 0.10 + 0.34 = 0.44 < 1 \Rightarrow \eta_6 = 1/0.44 = \mathbf{2.273}$$

[η_6 : trave principale, CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 240/2 + 21 = 141 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.5 * 141^2 * (11000 / (8.010 * 10^{12})) * 23370 = 0.32 \text{ N/mm}^2 < 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_7 = 1.33/0.32 = \mathbf{4.156}$$

[η_7 : trave principale, CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE**Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{\text{eq}}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.044 * 31476 * 43400 * 218 * 175 / (8.010 * 10^{12}) * 23.37 = 6.69 \text{ kN}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 3.34 \text{ kN}$

$$F_{v,Sd} = 3.34 < F_{v,Rd} = 6.873 \text{ kN} \Rightarrow \eta_8 = 6.873/3.34 = \mathbf{2.058}$$

[η_8 : trave principale, CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,\text{lim}} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = \max\{1, 4560/4000=1.14\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,\text{lim}}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 3340 / 5238 = 0.64 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm} \Rightarrow \eta_9 = 1.14/0.64 = \mathbf{1.782}$$

[η_9 : trave principale, CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

A.4.1.2. COMBINAZIONE DI CARICO (1): VERIFICA A TEMPO $t=\infty$

Rigidezze flessionali

I parametri di rigidezza dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine). Come osservato nel p.A.2.6, i valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \varphi)} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{2\infty} = E_2 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

In dettaglio:

$$E_{1\infty} = E_1 * [(1.3*2.04+1.5*1.70+0.3*1.5*2.00)/(1+3.00) + 0.7*1.5*2.00] / (1.3*2.04+1.5*1.70+1.5*2.00) = 31476 * 0.44202 = 13913 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = E_2 * [(1.3*2.04+1.5*1.70+0.3*1.5*2.00)/(1+0.60) + 0.7*1.5*2.00] / (1.3*2.04+1.5*1.70+1.5*2.00) = 11000 * 0.7210 = 7931 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 J_1 = 13913 * 5.825 * 10^7 = 8.104 * 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 7931 * (240 * 240^3 / 12) = 2.193 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 3.003 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y: dall'intradosso della trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 240+119 = 359 \text{ mm}$$

$$A_2 = 240*240 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 240/2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = (13913*43400*359 + 7931*57600*120) / (13913*43400+7931*57600) = 256 \text{ mm}$$

distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d_1 - y_{G\infty} = 240+119-256 = 103 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 256-240/2 = 136 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 103+136 = 239 \text{ mm}$$

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 3.003 * 10^{12} + 13913*43400*103^2 + 7931*57600*136^2 = 1.786*10^{13} \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidezza efficace:

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno

(0.7210), viene applicato anche alla rigidezza della connessione:

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.7210*K_u = 0.7210*5238 = 3777 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = [1 + \pi^2 * 13913 * 43400 * 175 / (3777 * 4560^2)]^{-1} = 0.070$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 239 / [1 + (7931*57600) / (0.070*13913*43400)] = 20 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 239-20 = 219 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 3.003 * 10^{12} + 0.070*13913*43400*219^2 + 1*7931*57600*20^2 = 5.220 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_\infty - (EJ)_0] = (5.220-3.003) / (17.86-3.003) = 0.15$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,(1),SLU} * l^2 / 8 = 10.25 * 4.56^2 / 8 = 26.64 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,(1),SLU} * l / 2 = 10.25 * 4.56 / 2 = 23.37 \text{ kN}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [(0.070 * 13913 * 219 * 43400) / (5.220 * 10^{12})] * 26640 = 47 \text{ kN} = 47000 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [8.104 * 10^{11} / (5.220 * 10^{12})] * 26.64 = 4.136 \text{ kNm} = 4.14 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{\text{max},1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_1) = 47000 / 43400 + 4.14 * 10^6 / (1.618 * 10^6) = 1.08 + 2.56 = 3.64 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{10} = 11.33 / 3.64 = \mathbf{3.113}$$

[η_{10} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{\text{min},1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_1) = 47000 / 43400 - 4.14 * 10^6 / (0.4895 * 10^6) = 1.08 - 8.4 = -7.32 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{\text{min},1}| / \sigma_{\text{max},1}) = 155 / (1 + 7.32 / 3.64) = 51 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima.

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{\text{min},1}| * (h - x_c) / 2] * b = 7.32 * (155 - 51) / 2 * 80 = 30451 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 30451 / 391 = 78 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale 2 Φ 12 ($A_s = 226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_{12} = 226 / 78 = \mathbf{2.897}$$

[η_{12} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, trazione armatura nel cordolo di cls]

Verifica a taglio

Nel cordolo della sezione di calcestruzzo non sono predisposte armature a taglio.

La verifica di resistenza a taglio deve essere condotta per combinazione rara, relativamente a calcestruzzo debolmente armato (§4.1.11.1):

$$q_d = (G_1 + G_2 + Q_k) * 1.25 = (2.04 + 1.70 + 2.00) * 1.25 = 7.17 \text{ kN/m}$$

$$V_d = q_d * l / 2 = 7.17 * 4.56 / 2 = 16.35 \text{ kN}$$

La tensione tangenziale resistente di progetto è pari a:

$$\tau_c = 0.25 f_{ctk} = 0.25 * 1.80 = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Il taglio di progetto per la sezione di calcestruzzo è pari a:

$$V_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = [8.104 * 10^{11} / (5.220 * 10^{12})] * 16.35 = 2.54 \text{ kN}$$

Il braccio della coppia interna in condizioni fessurate vale: $z = (0.9 * 129) \text{ mm}$

La tensione tangenziale dovuta alla sollecitazione di progetto vale:

$$\tau_1 = V_{1,d} / (z b_{\text{cor}}) = 2540 / (0.9 * 129 * 80) = 0.27 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{13} = 0.45 / 0.27 = \mathbf{1.667}$$

[η_{13} : trave principale, CC rara, $t = \infty$, taglio nel cordolo di cls non armato a taglio]

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [(1 * 7931 * 20 * 57600) / (5.220 * 10^{12})] * 26640 = 47 \text{ kN} = 47000 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [2.193 * 10^{12} / (5.220 * 10^{12})] * 26.64 = 11.192 \text{ kNm} = 11.19 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 240 * 240^2 / 6 = 2.304 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\text{max},2} = \sigma_{n,2} + \sigma_{m,2} = (N_{2,d} / A_2) + (M_{2,d} / W_2) = 47000 / 57600 + 11.19 * 10^6 / (2.304 * 10^6) = 0.81 + 4.86 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.81 / 7.46 + 4.86 / 12.79 = 0.11 + 0.38 = 0.49 < 1 \Rightarrow \eta_{15} = 1 / 0.49 = \mathbf{2.041}$$

[η_{15} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2 / 2 + a_2 = 240 / 2 + 20 = 140 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.5 * 140^2 * (7931 / (5.220 * 10^{12})) * 23370 = 0.35 \text{ N/mm}^2 < 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{16} = 1.33 / 0.35 = \mathbf{3.800}$$

[η_{16} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE**Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{eff}] * V_d = 0.070 * 13913 * 43400 * 219 * 175 / (5.220 * 10^{12}) * 23.37 = 7.25 \text{ kN}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 3.62 \text{ kN}$

$$F_{v,Sd} = 3.62 < F_{v,Rd} = 6.873 \text{ kN} \Rightarrow \eta_{17} = 6.873 / 3.62 = \mathbf{1.899}$$

[η_{17} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = \max\{1, 4560/4000 = 1.14\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,lim}$$

$$\text{Risulta: } \delta_c = 3620 / 3777 = 0.96 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm} \Rightarrow \eta_{18} = 1.14 / 0.96 = \mathbf{1.188}$$

[η_{18} : trave principale, CC 1, $t = \infty$, scorrimento della connessione]

A.4.2. COMBINAZIONE DI CARICO (2) (lunga durata: soli carichi permanenti)

Per quanto premesso, si omette il calcolo dei coefficienti di sicurezza relativi alle verifiche di resistenza del calcestruzzo e della connessione.

A.4.2.1. COMBINAZIONE DI CARICO (2): VERIFICA A TEMPO $t=0$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,(2),SLU} * l^2 / 8 = 6.50 * 4.56^2 / 8 = 16.89 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,(2),SLU} * l / 2 = 6.50 * 4.56 / 2 = 14.82 \text{ kN}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [(1 * 11000 * 21 * 57600) / (8.010 * 10^{12})] * 16890 = 27 \text{ kN} = 27000 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = [3.041 * 10^{12} / (8.010 * 10^{12})] * 16.89 = 6.412 \text{ kNm} = 6.41 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 240 * 240^2 / 6 = 2.304 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\text{max},2} = \sigma_{n,2} + \sigma_{m,2} = (N_{2,d} / A_2) + (M_{2,d} / W_2) = 27000 / 57600 + 6.41 * 10^6 / (2.304 * 10^6) = 0.47 + 2.78 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td} + \sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.47 / 5.60 + 2.78 / 9.60 = 0.08 + 0.29 = 0.37 < 1 \Rightarrow \eta_{24} = 1 / 0.37 = \mathbf{2.703}$$

[η_{24} : trave principale, CC 2, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2 / 2 + a_2 = 240 / 2 + 21 = 141 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.5 * 141^2 * (11000 / (8.010 * 10^{12})) * 14820 = 0.20 \text{ N/mm}^2 < 1.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{25} = 1.00 / 0.20 = \mathbf{5.000}$$

[η_{25} : trave principale, CC 2, $t=0$, taglio nel legno]

A.4.2.2. COMBINAZIONE DI CARICO (2): VERIFICA A TEMPO $t=\infty$

Rigidezze flessionali

I parametri di rigidità dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine). Come osservato nel p.A.2.6, i valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico; poiché nella Combinazione di Carico (2) si considerano i soli carichi permanenti, si applica direttamente il fattore riduttivo per la viscosità (cfr. le espressioni di $E_{1\infty}$ e $E_{2\infty}$ per la combinazione di carico (1) in p.A.4.1.2):

$$E_{1\infty} = E_1 / (1 + \varphi) = E_1 / (1 + 3.00) = 31476 * 0.25 = 7869 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = E_2 / (1 + k_{\text{def}}) = E_2 / (1 + 0.60) = 11000 * 0.625 = 6875 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 J_1 = 7869 * 5.825 * 10^7 = 4.584 * 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 6875 * (240 * 240^3 / 12) = 1.901 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 2.359 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidità della connessione infinita:

coordinata y : dall'intradosso della trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 240 + 119 = 359 \text{ mm}$$

$$A_2 = 240 * 240 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 240 / 2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = (7869 * 43400 * 359 + 6875 * 57600 * 120) / (7869 * 43400 + 6875 * 57600) = 231 \text{ mm}$$

distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d_1 - y_{G\infty} = 240 + 119 - 231 = 128 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2 / 2 = 231 - 240 / 2 = 111 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 128 + 111 = 239 \text{ mm}$$

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.359 \cdot 10^{12} + 7869 \cdot 43400 \cdot 128^2 + 6875 \cdot 57600 \cdot 111^2 = 1.283 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

- *determinazione della rigidità efficace:*

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno (0.625), viene applicato anche alla rigidità della connessione:

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.625 \cdot K_u = 0.625 \cdot 5238 = 3274 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = [1 + \pi^2 \cdot 7869 \cdot 43400 \cdot 175 / (3274 \cdot 4560^2)]^{-1} = 0.103$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 239 / [1 + (6875 \cdot 57600) / (0.103 \cdot 7869 \cdot 43400)] = 19.5 \approx 20 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 239 - 20 = 219 \text{ mm}$$

rigidità efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 2.359 \cdot 10^{12} + 0.103 \cdot 7869 \cdot 43400 \cdot 219^2 + 1 \cdot 6875 \cdot 57600 \cdot 20^2 = 4.204 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = (4.204 - 2.359) / (12.83 - 2.359) = 0.176$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,(2),SLU} \cdot l^2 / 8 = 6.50 \cdot 4.56^2 / 8 = 16.89 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,(2),SLU} \cdot l / 2 = 6.50 \cdot 4.56 / 2 = 14.82 \text{ kN}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{eff}] \cdot M_d = [(1 \cdot 6875 \cdot 20 \cdot 57600) / (4.204 \cdot 10^{12})] \cdot 16890 =$$

$$32 \text{ kN} = 32000 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] \cdot M_d = [1.901 \cdot 10^{12} / (4.204 \cdot 10^{12})] \cdot 16.89 = 7.095 \text{ kNm} = 7.64 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 240 \cdot 240^2 / 6 = 2.304 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{max,2} = \sigma_{n,2} + \sigma_{m,2} = (N_{2,d} / A_2) + (M_{2,d} / W_2) = 32000 / 57600 + 7.64 \cdot 10^6 / (2.304 \cdot 10^6) = 0.56 + 3.31 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td} + \sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.56 / 5.60 + 3.31 / 9.60 = 0.10 + 0.35 = 0.45 < 1 \Rightarrow \eta_{33} = 1 / 0.45 = \mathbf{2.222}$$

[η_{33} : trave principale, CC 2, $t = \infty$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2 / 2 + a_2 = 240 / 2 + 20 = 140 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 \cdot [E_2 / (EJ)_{eff}] \cdot V_d = 0.5 \cdot 140^2 \cdot (6875 / (4.204 \cdot 10^{12})) \cdot 14820 = 0.24 \text{ N/mm}^2 < 1.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{34} = 1.00 / 0.24 = \mathbf{4.167}$$

[η_{34} : trave principale, CC 2, $t = \infty$, taglio nel legno]

A.5. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

Per le verifiche di deformabilità della sezione di legno-calcestruzzo composta dalle trave principale accoppiata alla soletta, viene definito il corrispondente coefficiente di sicurezza η come rapporto fra freccia ammissibile e freccia di progetto. Se $\eta \geq 1.000$, la corrispondente verifica è soddisfatta.

Il solaio è conforme alle richieste di Normativa qualora tutti i coefficienti di sicurezza (incluse anche le verifiche di resistenza della sezione in legno-calcestruzzo composta dalla trave principale di cui al p.A.4, di resistenza e deformabilità dei travetti di cui al p.A.6, e di resistenza al fuoco della trave principale di cui al p.A.7) siano ≥ 1.000 .

A.5.1. VERIFICA A TEMPO $t=0$

Determinazione della rigidezza efficace:

$$K = K_{ser} = 7857 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = [1 + \pi^2 * 31476 * 43400 * 175 / (7857 * 4560^2)]^{-1} = 0.065$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 239 / [1 + (11000 * 57600) / (0.065 * 31476 * 43400)] = 29 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 239 - 29 = 210 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 4.874 * 10^{12} + 0.065 * 31476 * 43400 * 210^2 + 1 * 11000 * 57600 * 29^2 = 9.323 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidezza efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo 0, e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{eff,ser,t=0} = 9.323 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = (9.323 - 4.874) / (29.6 - 4.874) = 0.18$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

La freccia viene calcolata suddivisa nei singoli contributi dei carichi permanenti e dei carichi variabili; per tenere conto della deformabilità a taglio si applica, a favore di sicurezza, un fattore moltiplicativo pari a 1.10 (incremento del 10%).

I singoli contributi di carico, utilizzati per la combinazione rara, sono i seguenti:

$$g_1 = 2.04 * 1.25 = 2.55 \text{ kN/m (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 1.70 * 1.25 = 2.125 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2.00 * 1.25 = 2.50 \text{ kN/m}$$

Per il calcolo della freccia istantanea viene utilizzata la rigidezza efficace in condizioni iniziali $(EJ)_{eff,ser,t=0}$:

$$f_{G1,rist} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.55 * 4560^4 / (9.323 * 10^{12}) = 1.69 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rist} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.125 * 4560^4 / (9.323 * 10^{12}) = 1.41 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) q_k * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.50 * 4560^4 / (9.323 * 10^{12}) = 1.66 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4560 \text{ mm}$:

$$f_{ist} = 1.69 + 1.41 + 1.66 = 4.76 \text{ mm} = (1/958) l < (1/300) l = 15.2 \text{ mm} \Rightarrow \eta_{37} = 15.2 / 4.76 = \mathbf{3.193}$$

[η_{37} : trave principale, $t=0$, freccia]

A.5.2. VERIFICA A TEMPO $t=\infty$

La deformazione finale è data dalla somma di due contributi:

(i) la deformazione a lungo termine dovuta al carico quasi permanente, utilizzando valori ridotti dei moduli di elasticità;

(ii) la deformazione istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile: $Q_k * (1 - \psi_2)$, utilizzando valori non ridotti dei moduli di elasticità.

Per quanto riguarda il contributo (ii), i parametri di rigidezza sono stati calcolati al paragrafo precedente (A.5.1):

$$(EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 9.323 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Per (i) si deve ricalcolare la rigidezza efficace, tenendo conto della riduzione dovuta alla viscosità.

I moduli di elasticità del calcestruzzo e del legno, ridotti per tenere conto della deformazione a lungo termine, sono i seguenti (i valori sono già stati calcolati in p. A.4.2.2):

$$E_{1\infty} = E_1 / (1+\varphi) = E_1 / (1+3.00) = 31476 * 0.25 = 7869 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = E_2 / (1+k_{\text{def}}) = E_2 / (1+0.60) = 11000 * 0.625 = 6875 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 J_1 = 7869 * 5.825 * 10^7 = 4.584 * 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 6875 * (240 * 240^3 / 12) = 1.901 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 2.359 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 1.283 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Il coefficiente correttivo per la viscosità del legno: $1/(1+0.60)=0.625$ viene applicato, come già noto, anche alla rigidezza della connessione:

$$K = K_{\text{ser}} = 0.625 * 7857 \text{ N/mm} = 4911 \text{ N/mm}$$

Si ha:

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{\text{eq}} / (K l^2)]^{-1} = [1 + \pi^2 * 7869 * 43400 * 175 / (4911 * 4560^2)]^{-1} = 0.148$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 239 / [1 + (6875 * 57600) / (0.148 * 7869 * 43400)] = 27 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 239 - 27 = 212 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 2.359 * 10^{12} + 0.148 * 7869 * 43400 * 212^2 + 1 * 6875 * 57600 * 27^2 = 4.919 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidezza efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo ∞ , e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 4.919 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = (4.919 - 2.359) / (12.83 - 2.359) = 0.24$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

Come illustrato nel p.A.2.7.2,(II) la freccia a lungo termine assume la seguente espressione:

$$\alpha (g_1 + g_2 + \psi_2 q_k) / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t=0}})$$

$$\text{dove } \alpha = 1.10 * (5/384) * l^4$$

I singoli contributi di carico sono i seguenti:

$$g_1 = 2.04 * 1.25 = 2.55 \text{ kN/m} \text{ (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 1.70 * 1.25 = 2.125 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2.00 * 1.25 = 2.50 \text{ kN/m}$$

La freccia finale è dunque espressa dalle seguenti relazioni:

(i) freccia a lungo termine dovuta al carico quasi permanente:

$$f_{G1,fin} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 2.55 * 4560^4 / (4.919 * 10^{12}) = 3.21 \text{ mm}$$

$$f_{G2,fin} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 2.125 * 4560^4 / (4.919 * 10^{12}) = 2.68 \text{ mm}$$

$$f_{Q,fin} = 1.10 * (5/384) * l^4 * \psi_2 q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 4560^4 * 0.3 * 2.50 / (4.919 * 10^{12}) = 0.94 \text{ mm}$$

(ii) freccia istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile:

$$f_{Q,ist} = 1.10 * (5/384) * l^4 * (1 - \psi_2) q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 1.10 * (5/384) * 4560^4 * 0.7 * 2.50 / (9.323 * 10^{12}) =$$

$$= 1.16 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4560 \text{ mm}$:

$$f_{\text{fin}} = 3.21 + 2.68 + 0.94 + 1.16 = 7.99 \text{ mm} = (1/571) l < (1/200) l = 22.8 \text{ mm} \Rightarrow \eta_{38} = 22.8/7.99 = \mathbf{2.854}$$

[η_{38} : trave principale, $t=\infty$, freccia]

A.6. VERIFICA DEI TRAVETTI (ORDITURA SECONDARIA)

Per ogni verifica di sicurezza relativa ai travetti (che vengono considerati composti in legno-calcestruzzo in presenza di connessioni lungo i travetti stessi, oppure - a favore di sicurezza - costituiti dalla sola sezione di legno), viene definito il corrispondente coefficiente di sicurezza η . Per la resistenza, η è pari al rapporto fra resistenza di progetto e sollecitazione di progetto; per la deformabilità, η è definito dal rapporto fra freccia ammissibile e freccia di progetto. Se $\eta \geq 1.000$, la corrispondente verifica è soddisfatta.

Il solaio è conforme alle richieste di Normativa qualora tutti i coefficienti di sicurezza (incluse anche le verifiche di resistenza e deformabilità della sezione in legno-calcestruzzo composta dalla trave principale di cui ai pp.A.4 e A.5, e di resistenza al fuoco della trave principale di cui al p.A.7) siano ≥ 1.000 .

Nell'esempio considerato, i travetti, di sezione trasversale 80x80 mm² e luce di calcolo (assunta pari alla luce totale) 1170 mm, costituenti l'orditura secondaria del solaio misto in legno e calcestruzzo, vengono verificati come elementi in legno semplice, in quanto il progetto non prevede connettori disposti lungo i travetti. Lo schema di calcolo è ancora quello di trave appoggiata. Le verifiche di resistenza (SLU) si conducono per la combinazione di carico più gravosa: la (1), comprendente carichi permanenti e variabili, cui corrisponde il coefficiente $k_{mod}=0.8$ (classe di durata del carico: media); le verifiche sono invariate tra tempo 0 e tempo ∞ in quanto le caratteristiche elastiche ridotte (a tempo ∞) non influiscono sulle sollecitazioni e sulle resistenze di progetto, ma soltanto sulla deformazione (SLE).

Carichi

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.70 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

Parametri statici

$$\text{Area: } A = 80 \times 80 = 6400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Modulo di resistenza: } W = 80 \times 80^2 / 6 = 85333 \text{ mm}^3$$

$$\text{Momento d'inerzia: } J = 80 \times 80^3 / 12 = 3.413 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

■ Verifica di resistenza a SLU

Combinazione di carico (1) (media durata: tutti i carichi)

Carico agente sul travetto:

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k) * i = (1.3 \times 2.04 + 1.5 \times 1.70 + 1.5 \times 2.00) * 0.32 = 2.62 \text{ kN/m}$$

Momento in mezzzeria:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 2.62 * 1.17^2 / 8 = 0.45 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 2.62 * 1.17 / 2 = 1.53 \text{ kN}$$

Resistenze di progetto (cfr. p.A.2.2):

$$f_{md} = 12.79 \text{ N/mm}^2, f_{vd} = 1.33 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione

$$\sigma_m = M_d / W = 0.45 * 10^6 / 85333 = 5.27 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 12.79 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{80} = 12.79 / 5.27 = \mathbf{2.427}$$

[η_{80} : flessione nel travetto in solo legno, CC1.]

N.B.: nella numerazione progressiva dei coefficienti di sicurezza, nel caso in esame sono assenti i coefficienti numerati da 42 a 79, relativi alle verifiche di resistenza e deformabilità di travetti composti in legno-calcestruzzo, ovviamente significative solo nel caso di connettori posti anche lungo i travetti oltre che nella trave principale. Secondo la convenzione adottata in SLC © AEDES, i coefficienti numerati da 39 a 41 sono riservati alle verifiche di resistenza al fuoco (cfr. p.A.7)]

Verifica di resistenza a taglio

$$\tau = (3/2) * V_d / A = 1.5 * 1530 / 6400 = 0.36 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1.33 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{81} = 1.33 / 0.36 = \mathbf{3.694}$$

[η_{81} : taglio nel travetto in solo legno, CC1]

Combinazione di carico (2) (lunga durata: soli carichi permanenti)

Carico agente sul travetto:

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2) * i = (1.3 * 2.04 + 1.5 * 1.70) * 0.32 = 1.66 \text{ kN/m}$$

Momento in mezzeria:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 1.66 * 1.17^2 / 8 = 0.28 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 1.66 * 1.17 / 2 = 0.97 \text{ kN}$$

Resistenze di progetto (cfr. p.A.2.2):

$$f_{md} = 9.60 \text{ N/mm}^2, f_{vd} = 1.00 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione

$$\sigma_m = M_d / W = 0.28 * 10^6 / 85333 = 3.28 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 9.60 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{82} = 9.60 / 3.28 = \mathbf{2.927}$$

[η_{82} : flessione nel travetto in solo legno, CC2]

Verifica di resistenza a taglio

$$\tau = (3/2) * V_d / A = 1.5 * 0.97 * 10^3 / 6400 = 0.23 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{83} = 1.00 / 0.23 = \mathbf{4.348}$$

[η_{83} : taglio nel travetto in solo legno, CC2]

■ Verifica di deformabilità a SLE

La freccia viene calcolata suddivisa nei singoli contributi dei carichi permanenti e dei carichi variabili; per tenere conto della deformabilità a taglio si applica, a favore di sicurezza, un fattore moltiplicativo pari a 1.10 (incremento del 10%).

Verifica a tempo t=0

Per il calcolo della freccia istantanea viene utilizzata la rigidezza in condizioni iniziali:

$$(EJ)_{ser,t=0} = 11000 * 3.413 * 10^6 = 3.754 * 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$f_{G1,rist} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.65 * 1170^4 / (3.754 * 10^{10}) = 0.47 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rist} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.54 * 1170^4 / (3.754 * 10^{10}) = 0.38 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) q_k * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.64 * 1170^4 / (3.754 * 10^{10}) = 0.45 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=1170$ mm:

$$f_{ist} = 0.47 + 0.38 + 0.45 = 1.30 \text{ mm} = (1/900) l < (1/300) l = 3.90 \text{ mm} \Rightarrow \eta_{84} = 3.90 / 1.30 = \mathbf{3.000}$$

[η_{84} : travetto, $t=0$, freccia]

Verifica a tempo t=∞

Il modulo di elasticità a lungo termine (cfr. p.A.5.2) vale: $E_{\infty} = 6875 \text{ N/mm}^2$

Pertanto, la rigidezza a lungo termine vale:

$$(EJ)_{ser,t=\infty} = 6875 * 3.413 * 10^6 = 2.346 * 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

Come illustrato nel p.A.2.7.2, (II) la freccia a lungo termine assume la seguente espressione:

$$\alpha (g_1 + g_2 + \psi_2 q_k) / (EJ)_{ser,t=\infty} + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{ser,t=0})$$

$$\text{dove } \alpha = 1.10 * (5/384) * l^4$$

La freccia finale è dunque espressa dalle seguenti relazioni:

(i) freccia a lungo termine dovuta al carico quasi permanente:

$$f_{G1,fin} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 0.65 * 1170^4 / (2.346 * 10^{10}) = 0.74 \text{ mm}$$

$$f_{G2,fin} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 0.54 * 1170^4 / (2.346 * 10^{10}) = 0.61 \text{ mm}$$

$$f_{Q,fin} = 1.10 * (5/384) * l^4 * \psi_2 q_k / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 1170^4 * 0.3 * 0.64 / (2.346 * 10^{10}) = 0.22 \text{ mm}$$

(ii) freccia istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile:

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) * l^4 * (1 - \psi_2) q_k / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 1170^4 * 0.7 * 0.64 / (3.754 * 10^{10}) = 0.32 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=1170$ mm:

$$f_{fin} = 0.74 + 0.61 + 0.22 + 0.32 = 1.89 \text{ mm} = (1/619) l < (1/200) l = 5.85 \text{ mm} \Rightarrow \eta_{85} = 5.85 / 1.89 = \mathbf{3.095}$$

[η_{85} : travetto, $t=\infty$, freccia]

A.7. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Per la verifica di resistenza al fuoco della trave principale di legno viene definito il corrispondente coefficiente di sicurezza η come rapporto fra resistenza di progetto e sollecitazione di progetto. Se $\eta \geq 1.000$, la corrispondente verifica è soddisfatta.

Il solaio è conforme alle richieste di Normativa qualora tutti i coefficienti di sicurezza (incluse anche le verifiche di resistenza e deformabilità della sezione in legno-calcestruzzo composta dalla trave principale di cui ai pp.A.4 e A.5, e di resistenza e deformabilità dei travetti di cui al p.A.6) siano ≥ 1.000 .

Per la verifica di resistenza al fuoco si considera la combinazione eccezionale (§2.5.3), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto: i carichi permanenti g vengono considerati nella loro totalità, mentre al carico variabile q_k si applica il proprio coefficiente ψ_2 :

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.70 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 0.30 \cdot 2.00 = 0.60 \text{ kN/m}^2$$

Il calcolo della resistenza al fuoco viene condotto secondo il metodo illustrato nel p.A.3.6, (una esemplificazione è descritta in [8],7.10.1), attribuendo la totalità del carico alla sezione residua della trave di legno:

$$q_{d,fi} = (2.04 + 1.70 + 0.60) \cdot 1.25 = 5.425 \text{ kN/m},$$

cui corrispondono le seguenti sollecitazioni di progetto:

Momento in mezzeria:

$$M_d = q_{d,fi} \cdot l^2 / 8 = 5.425 \cdot 4.56^2 / 8 = 14.10 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,fi} \cdot l / 2 = 5.425 \cdot 4.56 / 2 = 12.37 \text{ kN}$$

Sezione efficace

La velocità di carbonizzazione è assunta pari a $\beta_n = 0.8 \text{ mm/min}$ (cfr. [5]EN 1995-1-2:2004 (E), Tab.3.1, riportata in figura seguente).

EN 1995-1-2:2004 (E)

Table 3.1 – Design charring rates β_0 and β_n of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Softwood and beech		
Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Hardwood		
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panels		
Wood panelling	0,9 ^a	–
Plywood	1,0 ^a	–
Wood-based panels other than plywood	0,9 ^a	–
^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.		

Fig. A.7.1.

Dopo 60 minuti di esposizione al fuoco, la profondità di carbonizzazione è pari a:

$d_{ef} = 0.8 \cdot 60 + 7 = 55 \text{ mm}$, e di conseguenza, essendo la trave in legno del solaio esposta su 3 lati, la sezione diventa:

$$b_{ef} \times h_{ef} = (240 - 55 \cdot 2) \times (240 - 55) = 130 \times 185 \text{ mm}^2$$

L'area resistente si riduce quindi da: $240 \times 240 = 57600 \text{ mm}^2$ a: $130 \times 185 = 24050 \text{ mm}^2$
 Il modulo di resistenza della sezione ridotta vale: $W = 130 \times 185^2 / 6 = 741541 \text{ mm}^3$

Verifica di resistenza a flessione

Resistenza di progetto:

$$f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{mk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (24 * 1.25) / 1.00 = 30 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\sigma_{mfi} = 14.10 * 10^6 / 741541 = 19.01 \text{ N/mm}^2 < f_{m,fi,d} = 30 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \eta_{39} = 30/19.01 = \mathbf{1.578}$$

[η_{39} : trave principale, resistenza al fuoco, flessione]

Verifica di resistenza a taglio

Resistenza di progetto:

$$f_{v,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{vk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (2.5 * 1.25) / 1.00 = 3.125 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\tau_{fi} = (3/2) * V_d / A = 1.5 * 12370 / 24050 = 0.77 \text{ N/mm}^2 < f_{v,fi,d} = 3.125 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{40} = 3.125/0.77 = \mathbf{4.058}$$

[η_{40} : trave principale, resistenza al fuoco, taglio]

Posizione dei connettori

Sul piano della sezione trasversale della trave, la distanza minima dal lato esterno della trave a cui i connettori devono essere posti è pari a:

$$d_{ef} + 2.5 = 55 + 25 = 80 \text{ mm}$$

Nel caso di un solo connettore, questo viene posto in mezzera e quindi dista $240/2 = 120 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$ dal lato esterno della trave (posizione ammessa).

Nel caso di connettori $\Phi 12$ accoppiati posti nello stesso piano della sezione trasversale della trave, la distanza netta tra i due connettori non può superare:

$$(240 - 80 - 80 - 2 * 12) / 2 = 28 \text{ mm} \text{ (valore ammissibile in confronto ad un interfero minimo che può essere assunto pari a } 20 \text{ mm.)}$$

Per il caso in esame, l'accoppiamento dei connettori è previsto solo agli appoggi; per definire il coefficiente di sicurezza relativo alla posizione dei connettori si considera quindi il minimo coefficiente corrispondente ai due casi di connettori singoli ed accoppiati:

$$\Rightarrow \eta_{41} = \text{minimo} \{120/80, 28/20\} = \mathbf{1.400}$$

[η_{41} : trave principale, resistenza al fuoco, posizione dei connettori]

A.8. APPENDICE

A.8.1. DETTAGLI DI PROGETTAZIONE

In fig. A.8.1. si riporta un esempio, tratto da [14], di intervento di consolidamento di solai in legno a doppia orditura (in [14] è riportata un'ampia trattazione delle tecniche di restauro delle strutture in legno, corredata di particolari esecutivi e dettagliate indicazioni operative).

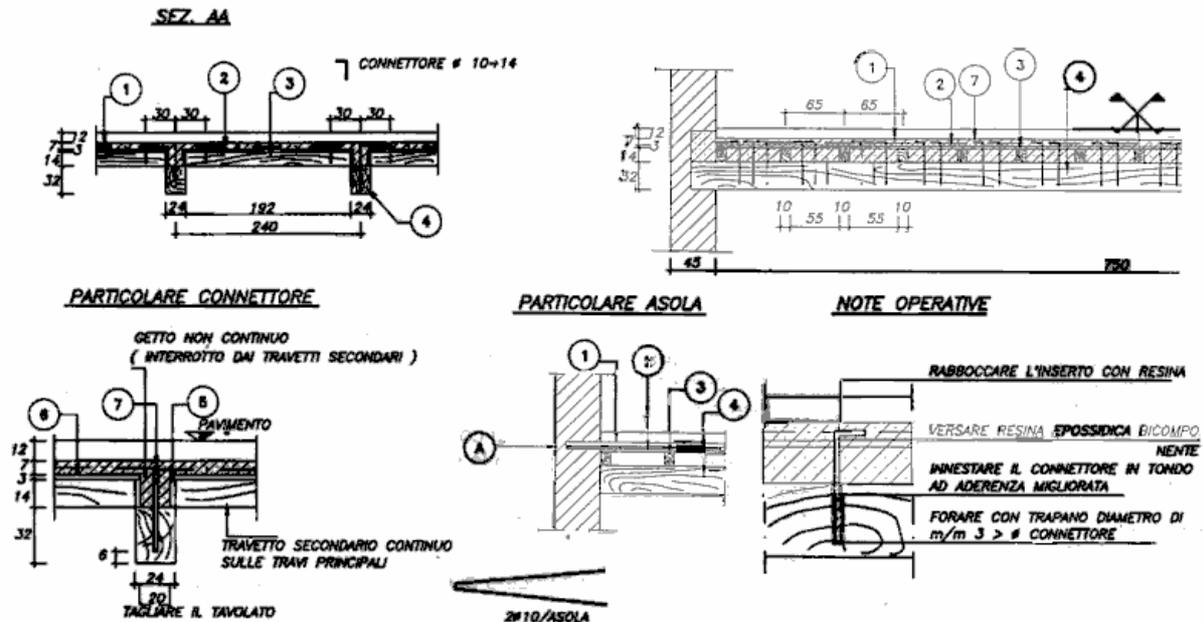


Fig. A.8.1. Consolidamento di solai in legno a doppia orditura, da [14]

Legenda:

1. Soletta integrativa in calcestruzzo
 2. Tavolato in legno
 3. Travetto secondario in legno
 4. Trave principale in legno
 5. Tavoletta di contenimento (cassero fermagetto)
 6. Telo di polietene
 7. Connettore $\phi 14/24$ in tondi ad aderenza migliorata
- A. Asole nella muratura su tutto il perimetro, larghezza cm.25, interasse cm.150, profondità cm.35 o cm.25

In fig. A.8.2. un altro esempio tratto da [14] descrive il consolidamento di un solaio in legno a semplice orditura.

In fig. A.8.3, tratta da [15], una vista assonometrica evidenzia, per questo tipo di interventi di consolidamento, la connessione con le strutture portanti perimetrali in muratura. L'intervento viene illustrato nell'ambito dell'applicazione della Normativa sismica vigente nel periodo della pubblicazione di riferimento [15] (Interventi di miglioramento per gli edifici in muratura: Solai, punto C.9.8.2. del D.M. 16.1.1996). Si evidenzia la principale caratteristica prestazionale di questa tecnica di consolidamento in zona sismica, cioè la possibilità di ottenere impalcati "sufficientemente rigidi nel proprio piano tali da garantire un'adeguata ripartizione delle azioni orizzontali, ed al tempo stesso assai più leggeri che non i solai in c.a.: il che significa attivazione di tutti i vantaggi senza gli svantaggi, dovuti ad eccessivi appesantimenti".

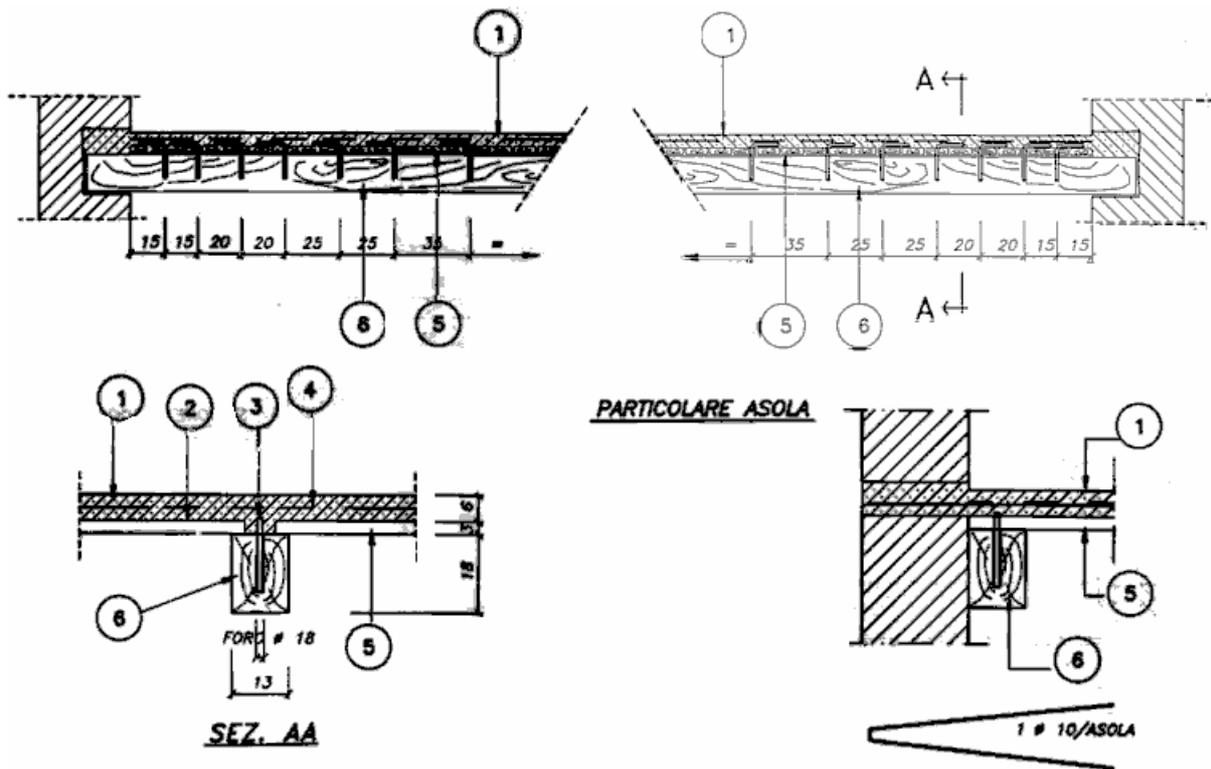


Fig. A.8.2. Consolidamento di solai in legno a semplice orditura, da [14]

Legenda:

1. Soletta in calcestruzzo Rck 25 N/mm² armata con rete elettrosaldata
2. Telo in politene
3. Connettore inghisato con resina epossidica in foro ϕ 18 mm
4. Rete elettrosaldata ϕ 5 maglia 200x200 mm
5. Tavolato in legno
6. Trave principale in legno

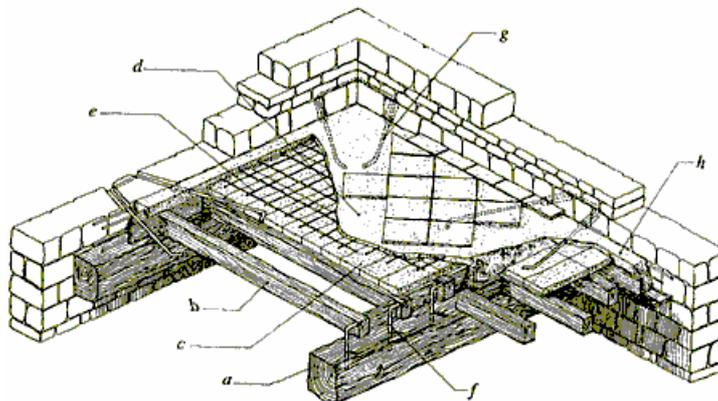


Fig. A.8.3. Miglioramento strutturale di un solaio esistente in legno, in un edificio in muratura, da [15]

Legenda:

- a. Travi principali
- b. Travi secondarie
- c. Piastrelle
- d. Soletta di calcestruzzo
- e. Rete di acciaio elettrosaldata
- f. Spinotti d'acciaio inseriti nel legno e fissati con resina epossidica
- g. Staffe d'acciaio per collegare la soletta di calcestruzzo con la muratura
- h. Cordolo in c.a. di rigiro

A.8.2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

In [16] è riportata la documentazione fotografica di un intervento di ristrutturazione di un vecchio solaio in legno con la tecnica dell'accoppiamento legno - calcestruzzo.

Si riporta, fra le fotografie, anche il testo ad esse allegato, interessante fra l'altro per le osservazioni inerenti l'uso di conglomerati leggeri come ad esempio il calcestruzzo di argilla espansa tipo "Leca".



Fig. A.8.4. Foto 1, da [16]

“ I solai con travi in legno sono la tipologia che più frequentemente si trova nelle vecchie costruzioni da ristrutturare.

Oggi, per motivi costruttivi, conservativi o impositivi, le travi in legno in buone condizioni non vengono sostituite quando si esegue il restauro del solaio. Esse sono piuttosto considerate quali utili elementi costruttivi ed architettonici.

Nel caso di restauro di questi solai, perciò, architetti ed ingegneri devono sovente affrontare problemi apparentemente tra loro incompatibili.

L'alto livello di confort desiderato e la richiesta capacità portante possono essere ottenuti solo con l'utilizzo di calcestruzzo il che, ovviamente, implica forti carichi strutturali. Sfortunatamente la maggior parte delle strutture orizzontali nelle vecchie costruzioni e particolarmente le fondazioni non sono adatte a sopportare carichi addizionali. In questi casi, però, il calcestruzzo d'argilla espansa può agevolare molto la soluzione; ciò è particolarmente vero quando il calcestruzzo di inerti leggeri può essere utilizzato dal punto di vista statico; è infatti noto da molti anni una buona opportunità data dalla combinazione strutturale tra il calcestruzzo leggero e le travi in legno.

E' qui illustrata una buona tecnica di recupero e consolidamento di solai in legno con impiego di calcestruzzo leggero eseguito in un cantiere svizzero.

Fig. A.8.4, A.8.5 (foto 1, 2): Il collegamento resistente al taglio tra le travi in legno e la soletta in calcestruzzo è ottenuto, ad esempio, con viti da legno, zincate, infisse nella parte superiore delle travi secondo le dimensioni e la disposizione determinata dai progettisti. A questo scopo può essere utile fare fori preliminari. Le viti sono posizionate in modo da sporgere di 4 - 4.5 cm rispetto al filo superiore della trave.



Fig. A.8.5. Foto 2, da [16]

Fig. A.8.6 (foto 3): Una rete di acciaio è piazzata sopra le teste delle viti come rinforzo della zona compressa della soletta.



Fig. A.8.6. Foto 3, da [16]

Fig. A.8.7. (foto 4): Il calcestruzzo leggero deve avere buona lavorabilità e consistenza. Nel caso di strati aventi spessore maggiore di 12 cm il calcestruzzo d'argilla espansa viene vibrato con vibratori ad ago (diametro non oltre 45 mm) che sono immersi per poco tempo in vari punti vicini tra loro.



Fig. A.8.7. Foto 4, da [16]

Fig. A.8.8. (foto 5): Una vibrazione completa, specie della superficie, è ottenuta nel modo migliore con l'uso di una staggia vibrante.



Fig. A.8.8. Foto 5, da [16]

A.8.3. ESTRATTI DALLA NORMATIVA VIGENTE

Solai misti in legno e calcestruzzo - Estratto dalla Norme Tecniche Italiane vigenti

D.M. 14.1.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni):

7. PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

7.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

7.2.6 CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E AZIONE SISMICA

(...)

Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano, a condizione che siano realizzati in cemento armato, oppure in latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore, o in **struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm** di spessore collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o **in legno** e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza.

(...)

Circ. 2.2.2009, n.617 (Istruzioni per l'applicazione del D.M. 14.1.2008):

C8. COSTRUZIONI ESISTENTI

C8A (APPENDICE AL CAP. C8)

C8A.5.3 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE L'ECESSIVA DEFORMABILITÀ DEI SOLAI

Il ruolo dei solai nel comportamento sismico delle costruzioni in muratura è quello di trasferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella direzione parallela al sisma; inoltre essi devono costituire un vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano.

La necessità di un irrigidimento per ripartire diversamente l'azione sismica tra gli elementi verticali è invece non così frequente.

Per le suddette ragioni risulta talvolta necessario un irrigidimento dei solai, anche limitato, di cui vanno valutati gli effetti; a questo si associa inevitabilmente un aumento della resistenza degli elementi, che migliora la robustezza della struttura.

L'irrigidimento dei solai, anche limitato, per ripartire diversamente l'azione sismica tra gli elementi verticali comporta in genere un aumento della resistenza, che migliora la robustezza della struttura.

Nel caso dei **solai lignei** può essere conseguito **operando all'estradosso sul tavolato**.

Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato.

Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso controventature realizzate con tiranti metallici.

Il consolidamento delle travi lignee potrà avvenire aumentando la sezione portante in zona compressa, mediante l'aggiunta di elementi opportunamente connessi.

Nei casi in cui risulti necessario un consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali, è possibile, con le tecniche legno-legno, conseguire contemporaneamente l'irrigidimento nel piano e fuori dal piano, posando sul tavolato esistente, longitudinalmente rispetto alle travi dell'orditura, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno, irrigiditi nel piano del solaio con l'applicazione di un secondo tavolato di finitura.

La tecnica di **rinforzo con soletta collaborante, in calcestruzzo** eventualmente leggero, realizza anche un forte irrigidimento nel piano del solaio; gli effetti di tale intervento vanno valutati sia in relazione alla ripartizione delle azioni tra gli elementi verticali sia all'aumento delle masse.

Nel caso in cui gli elementi lignei non siano adeguatamente collegati alle murature, è necessario collegare la soletta alle pareti, tramite elementi puntuali analoghi a quelli già indicati, o ai cordoli, se presenti e realizzati come successivamente descritto.

Nel caso di solai a travi in legno e piastrelle di cotto, che presentano limitata resistenza nel piano, possono essere adottati interventi di irrigidimento all'estradosso con caldane armate in calcestruzzo alleggerito, opportunamente collegate alle murature perimetrali ed alle travi in legno.

Nel caso di solai a putrelle e voltine o tavelloni è opportuno provvedere all'irrigidimento mediante solettina armata resa solidale ai profilati e collegata alle murature perimetrali.

Nel caso di solai a struttura metallica, con interposti elementi in laterizio, è necessario collegare tra loro i profili saldando bandelle metalliche trasversali, poste all'intradosso o all'estradosso. Inoltre, in presenza di luci significative, gli elementi di bordo devono essere collegati in mezzeria alla muratura (lo stesso problema si pone anche per i solai lignei a semplice orditura).

D.P.C.M. 12.10.2007 (Direttiva Beni Monumentali):

6. CRITERI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO E TECNICHE DI INTERVENTO

6.3 Operazioni tecniche di intervento

6.3.4 Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento

I solai devono essere efficacemente collegati alle pareti murarie, attraverso un appoggio sufficientemente ampio e, talvolta, elementi di connessione che ne impediscano lo sfilamento.

Il ruolo dei solai nel comportamento sismico delle costruzioni in muratura è quello di trasferire le azioni orizzontali di loro competenza alle pareti disposte nella direzione parallela al sisma; inoltre essi possono costituire un ulteriore vincolo per le pareti sollecitate da azioni ortogonali al proprio piano, oltre all'ammorsamento con le pareti ortogonali ed ai sistemi di collegamento puntuale.

Per le suddette ragioni risulta utile un limitato irrigidimento dei solai, di cui vanno valutati gli effetti, a cui si associa inevitabilmente un aumento della resistenza degli elementi.

Solo in casi particolari risulta invece necessario un irrigidimento significativo dei solai nel proprio piano, con l'obiettivo di ripartire l'azione sismica tra le diverse pareti; nella maggior parte dei casi questa ripartizione porta a concentrare le forze sugli elementi più rigidi, anticipandone la rottura, e sugli elementi perimetrali, nel caso d'irregolarità planimetriche con accentuazione degli effetti torsionali. Compatibilmente con il rispetto delle precedenti finalità, è opportuno che i solai con struttura in legno siano il più possibile conservati, anche in considerazione del loro ridotto peso proprio.

Un **limitato irrigidimento dei solai, nel caso dei solai lignei**, può essere conseguito **operando all'estradosso sul tavolato**.

Una possibilità è fissare un secondo tavolato su quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato, ponendo particolare attenzione ai collegamenti con i muri laterali; in alternativa, o in aggiunta, si possono usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato.

Un analogo beneficio può essere conseguito attraverso un controventamento realizzato con tiranti metallici.

Nel caso di solai a semplice orditura, dovrà essere curato il collegamento con le pareti parallele alle travi, realizzandolo, ad esempio, con bandelle fissate al tavolato ed ancorate nella muratura.

Nei casi in cui risulti necessario un consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali, è possibile, con le tecniche legno-legno, limitare la deformabilità flessionale ed aumentare la resistenza con un secondo tavolato, utilizzando, ortogonalmente rispetto al tavolato esistente, dei nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni anche di legno.

Anche mediante la tecnica di **rinforzo con soletta collaborante in calcestruzzo**, eventualmente alleggerito, si può realizzare un irrigidimento nel piano del solaio e flessionale; gli effetti di tale intervento vanno valutati in relazione alle specifiche esigenze di conservazione.

Nel caso in cui gli elementi lignei non siano adeguatamente collegati alle murature, può risultare necessario collegare la soletta alle pareti, tramite elementi puntuali analoghi a quelli già indicati.

Nel caso di solai a travi in legno e pianelle di cotto, se viene dimostrata l'insufficiente resistenza nel piano, possono essere adottati interventi di irrigidimento all'estradosso con sottili caldane armate in calcestruzzo alleggerito, opportunamente collegate alle murature perimetrali ed alle travi in legno.

Nel caso di solai a struttura metallica con interposti elementi in laterizio (putrelle e voltine o tavelloni), può essere necessario collegare tra loro i profili saldando bandelle metalliche trasversali, poste all'intradosso o all'estradosso. Inoltre, in presenza di solai di luce significativa, per meglio vincolare la parete muraria, è opportuno collegarla in mezzeria ai profili di bordo.

B. MANUALE D'USO

B.1. GENERALITA'

SLC è un software di analisi strutturale per il calcolo dei solai misti in legno e calcestruzzo, **completo** di tutte le fasi di **introduzione dati, elaborazioni di calcolo, trattamento dei risultati** anche sotto forma di **post-elaborazioni grafiche**. SLC colloquia con i programmi di CAD per la fase di restituzione dei disegni elaborati, e con i word-processor quali Microsoft Word per la compilazione della relazione di calcolo.

Le principali caratteristiche di SLC sono:

Dal punto di vista ingegneristico:

- * Per il calcolo rapido degli **Interventi di Consolidamento** strutturale consistenti nel recupero statico dei **Solai in legno esistenti**, attraverso il getto, al di sopra dell'orditura delle travi e dei travetti, di una soletta in calcestruzzo. **Connettori realizzati con barre in acciaio** ad aderenza migliorata. **Un intervento realizzabile in ogni cantiere, senza la necessità di particolari dispositivi di ancoraggio!**
 - * **Orditura semplice** (solo travi principali), **doppia** (travi e travetti) **con o senza connessioni** per i travetti. Assito interrotto e carotato. Travi inclinate di copertura.
 - * **Impostazione automatica dei parametri di calcolo** (fra cui: larghezza della soletta collaborante, parametri meccanici dei materiali: legno e calcestruzzo, rigidità e resistenza dei connettori, carichi variabili: entità e coefficienti parziali per verifiche a Stato Limite Ultimo). **Verifiche iniziale** (a tempo zero) **e finale** (a tempo infinito), considerando gli **effetti viscosi** a lungo termine.
 - * **Tipi di legno (conifere, latifoglie, lamellare, e altre tipologie, come riportate in CNR DT 206/2007)** già presenti in archivio, con possibilità di ampliare e/o modificare la tabella dei materiali.
 - * **Dimensionamento ottimale dei connettori**, con possibilità di **diradamento** in mezzera e di **accoppiamento** delle barre. Limiti di riferimento per il passo, in modo da evitare lo "splitting" del legno ma anche di assicurare la continuità del collegamento.
 - * **Risultati** in termini di **Resistenza** (verifiche a flessione e a taglio, con pressoflessione nel caso dei puntoni di copertura), **Deformabilità** (frecce a breve e lungo termine) e **Resistenza al fuoco**.
- Computo metrico** delle quantità dei materiali utilizzati.
- * **Calcolo** della sezione con connessione deformabile conforme alle Normative Tecniche vigenti (D.M. 14.1.2008, Circ. 2.2.2009 n.617, Eurocodice 5) basato sulla definizione della **Rigidità flessionale efficace** della sezione composta. Calcolo valido anche per **Solai di nuova realizzazione** caratterizzati dall'accoppiamento legno-calcestruzzo.

Dal punto di vista informatico e gestionale:

- * **Visualizzazione interattiva dei risultati** del calcolo, in base ai dati: modificando qualsiasi dato, vengono aggiornate in tempo reale tutte le finestre di testo e grafiche sui risultati. *Immediata l'ottimizzazione dell'intervento con la scelta della migliore tipologia!*
- * Tutte le **elaborazioni grafiche: Sezioni, Prospetti, Pianta con distribuzione dei connettori**, sono parametrizzabili ed esportabili su dxf, compatibili con i programmi di CAD, e su bitmap: *semplicissimo corredare di disegni la Relazione di Calcolo!*
- * **Relazione di calcolo** su files rtf, compatibile con word-processor (come Microsoft Word), già formattata e pronta per la stampa. Completa di descrizione dei metodi di calcolo utilizzati.
- * **Guida in linea** completa di **Manuale d'uso** ed **Esempi Applicativi**, con numerose illustrazioni, consultabile con Adobe Acrobat Reader®.
- * Come per tutti i software AEDES, **supporto tecnico su Internet**, al sito: www.aedes.it, dove apposite pagine sono dedicate alle **FAQ** (domande e risposte più frequenti).

B.1.1. AMBIENTE DI LAVORO

SLC opera con una disposizione di finestre ottimizzata (nel seguito: disposizione preimpostata), che l'utente può comunque variare come preferisce. Come ogni altro programma progettato per il sistema operativo Windows, SLC può essere aperto contemporaneamente ad altri software; pertanto l'effettivo aspetto dello schermo, nel corso dell'uso di SLC, dipende dalla configurazione in quel momento determinata dall'utente.

Nella schermata preimpostata di SLC, sotto al titolo e alla barra dei menu sono presenti:

- la **barra degli Strumenti**, che consente l'esecuzione rapida di molti dei comandi principali di SLC;
- la **finestra Grafica e la finestra Risultati**;
- le **finestre di testo** per l'inserimento dei dati. Le finestre di testo sono le seguenti: **Progetto, Solai, Tabella Materiali** di riferimento. Ad esse si aggiunge la finestra **Relazione**, dove si visualizza il testo della relazione elaborata nella fase di Stampa, ed una finestra di testo dedicata dove si visualizzano i risultati in forma estesa. Queste finestre sono ognuna dotata di proprio menu.

Nei **menu**, di tipo grafico, ogni comando reca a lato - se disponibile - il corrispondente pulsante della barra degli strumenti, in modo da facilitare l'apprendimento del significato dei pulsanti grafici delle barre (l'utilizzo dei pulsanti grafici è infatti certamente la via più rapida di accesso ai diversi comandi). I menu sono dinamici, e si aggiornano contestualmente alla finestra corrente: ogni finestra infatti presenta il proprio gruppo di menu, inerenti le particolari funzionalità richieste durante l'attivazione della finestra stessa.

La 'finestra corrente' è la finestra attiva, cioè quella che riceve i comandi: il suo bordo del titolo appare in evidenza, mentre i bordi del titolo di tutte le altre finestre contemporaneamente aperte vengono posti in luminosità ridotta.

La finestra **Navigatore** - che in qualsiasi momento può essere aperta o chiusa, generando corrispondentemente il ridimensionamento delle altre finestre presenti - consente un accesso immediato alle varie sezioni del programma: la sequenza dei vari comandi rispetta l'ordine: "dati - risultati" e quindi costituisce un valido punto di riferimento per l'esplorazione delle varie funzionalità di SLC corrispondenti alle fasi progressive del lavoro.

Nella schermata di SLC è inoltre presente in basso la **barra dei messaggi di stato**, dove vengono riportati i riferimenti alle più significative operazioni svolte durante la sessione di lavoro con SLC.

La **finestra principale è la finestra Progetto**: essa contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di solai, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di SLC inizia con l'attivazione della finestra Progetto*, e termina con la sua chiusura attraverso l'apposito comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

In SLC vengono inoltre utilizzate **finestre di dialogo**, per richiedere l'inserimento dei dati necessari per continuare le operazioni, o per visualizzare informazioni. Questo tipo di finestre non è dotato di specifici menu.

- **Stampa su file rtf**, dove si selezionano i capitoli da stampare nella relazione di calcolo; si ricorda che SLC non invia direttamente il testo di relazione alla stampante, ma crea un file (di tipo rtf) da gestire con word-processor;

- **Messaggi di errore**.

E' infine presente la finestra della **Guida in linea** che richiama files di Adobe Acrobat Reader®.

Una **finestra è 'aperta'** quando è stata chiamata e non è stata ancora chiusa.

La **finestra 'corrente'** è la finestra attiva (si dice anche che ha il fuoco), cioè quella che riceve i comandi: il suo bordo del titolo appare in evidenza, mentre i bordi del titolo di tutte le altre finestre contemporaneamente aperte vengono posti in luminosità ridotta.

I **dati** sono inseriti nelle rispettive finestre, attraverso l'inserimento nei campi (caselle di testo).

Nelle finestre di testo Solai i dati sono organizzati in diverse schede, visualizzabili selezionandone opportunamente il titolo corrispondente. In questo modo, i dati vengono raggruppati in insiemi specifici che consentono agevolmente le operazioni di inserimento e modifica.

Una simile organizzazione è presente nella finestra grafica Risultati per la visualizzazione dei risultati stessi sotto forma di testo.

I **comandi** di SLC vengono generalmente assegnati tramite i menu associati alle finestre. Ogni finestra ha il proprio gruppo di menu, inerenti le particolari funzionalità richieste durante l'attivazione della finestra stessa. Vi sono alcuni menu comuni a più finestre.

B.2. FINESTRA PRINCIPALE

B.2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI

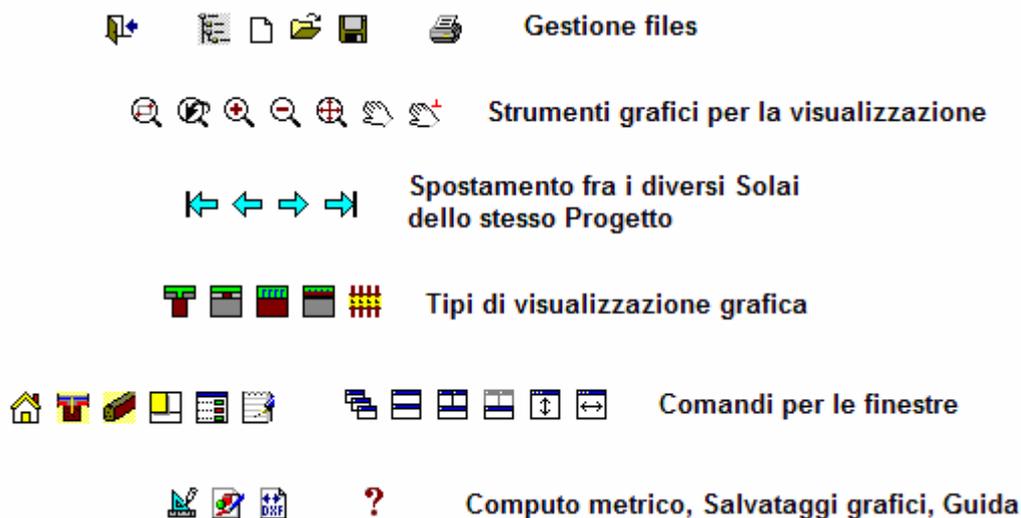


Fig. B.2.1. Barra degli strumenti

I comandi della barra degli strumenti corrispondono in generale ad altrettanti comandi di menu.

Esci = il pulsante (equivalente al corrispondente comando del menu File) costituisce l'unica via per la chiusura della sessione corrente di SLC (i classici pulsanti di chiusura sono disattivati sia nella finestra principale sia nella finestra Progetto).

Apri/Chiudi Navigatore = apre o chiude, alternatamente, la finestra Navigatore contenente l'albero dei comandi. Quando il Navigatore è aperto, il pulsante si presenta premuto. Le operazioni di apertura e chiusura del Navigatore comportano il ridimensionamento delle finestre aperte.

Nuovo progetto, **Apri** progetto, **Salva** progetto = è possibile aprire e salvare files in formato standard di SLC (estensione .slc), in uno dei seguenti percorsi:
Aedes2012\Slc\Progetti = destinato a contenere i progetti dell'Utente;
Aedes2012\Slc\Es-Apprendi = preinstallato da SLC con gli esempi di apprendimento all'uso.
 Per salvare o archiviare progetti in altri percorsi, si potrà gestire i files di ogni singolo progetto (files e sottocartella di \Aedes2012\Slc\Progetti avente il nome del progetto stesso) mediante 'Esplora Risorse' di Windows.

Stampa = apre la finestra di dialogo per le impostazioni di stampa, finalizzata alla creazione della Relazione di Calcolo. SLC non esegue stampe dirette sull'hardware collegato alla macchina, ma opera creando il file .rtf che può poi essere gestito con i normali word-processor (quali Microsoft © Word).

Zoom: **Finestra**, **Precedente**, **+** : **Ingrandisci**, **-** : **Riduci**,

Tutto: Ottimizza = comandi di zoom. Le operazioni di zoom + e zoom - (ingrandimento e riduzione) possono essere eseguite agevolmente anche con la rotellina del mouse.

Pan: **Spostamento**, **Ortagonale** = comandi di pan (panoramica).

Primo, **Precedente**, **Successivo**, **Ultimo** = i pulsanti freccia spostano al primo solaio, al precedente, al successivo o all'ultimo del gruppo di solai definiti per il progetto corrente.

Tipi di visualizzazione grafica del solaio corrente:

 **A-A: Sezione Trave**

 **B-B: Sezione Travetto**

 **C-C: Prospetto Trave** (sviluppo longitudinale della trave contenente la disposizione dei connettori in vista laterale)

 **D-D: Prospetto Travetto** (per solai a doppia orditura: sviluppo longitudinale del travetto contenente la disposizione dei connettori - se presenti - in vista laterale)

 **Pianta**

Finestra:

 **Progetto**,  **Solai**,  **Tabella Materiali**,

 **Grafica**,  **Risultati**,  **Relazione**

= aprono le corrispondenti finestre. Corrispondono ai comandi del menu Finestra. Le finestre possono in alternativa essere aperte direttamente dai pulsanti grafici della finestra Progetto.

Il comando  che restituisce il fuoco alla **finestra Progetto**, è frequentemente utilizzato, dal momento che la finestra Progetto contiene tutti i principali comandi di gestione dei files (apertura, salvataggio, impostazioni varie) e dell'ambiente (ad esempio, la chiusura di SLC).

 **Sovrapponi**,  **Affianca** = ridispongono le finestre secondo i comandi standard di Windows.

 **Disponi tutte le finestre** = ricompone dimensioni e posizioni delle finestre aperte secondo lo schema predefinito di SLC (le due finestre Grafica e Risultati in alto, rispettivamente a sinistra e a destra, le finestre testuali dei dati in basso).

 **Disponi singola finestra** = torna alle dimensioni predefinite della finestra corrente.

 **Cambia altezza finestra**,  **Cambia larghezza finestra** = aumentano o riducono rispettivamente l'altezza e la larghezza della finestra, spostandone anche la posizione. Per ognuno dei due comandi, eseguendolo più volte, i tre assetti della finestra da esso consentiti vengono applicati in modo ciclico.

 **Computo metrico** = mostra il computo metrico (quantità dei materiali riferiti alla superficie in input) per il solaio corrente.

 **Salva su file BMP**,  **Salva su file dxf** = i comandi consentono l'output dell'immagine mostrata nella finestra Grafica su file bitmap o vettoriale.

 **Guida** = Apre il Manuale di SLC. Tutti i documenti riguardanti SLC possono essere direttamente aperti dai corrispondenti comandi dei menu Manuali e Normativa della finestra Progetto.

B.2.2. NAVIGATORE

Il comando  della barra strumenti superiore apre / chiude la finestra Navigatore, consistente nell'**albero dei comandi** del programma. I comandi sono presentati in ordine logico, corrispondente alle diverse fasi successive di analisi di un progetto; i rami principali dell'albero sono i seguenti:

- Dati: Progetto
- Dati: Solai
- Dati: Tabella Materiali (legno)
- Risultati (verifiche e coefficienti di sicurezza)
- Ambiente operativo
- Gestione files
- Gestione finestre
- Grafica

- Guida in linea (Manuali)

I comandi recano a lato, se prevista, l'icona rappresentativa, in coerenza con le icone delle barre degli strumenti e dei menu.

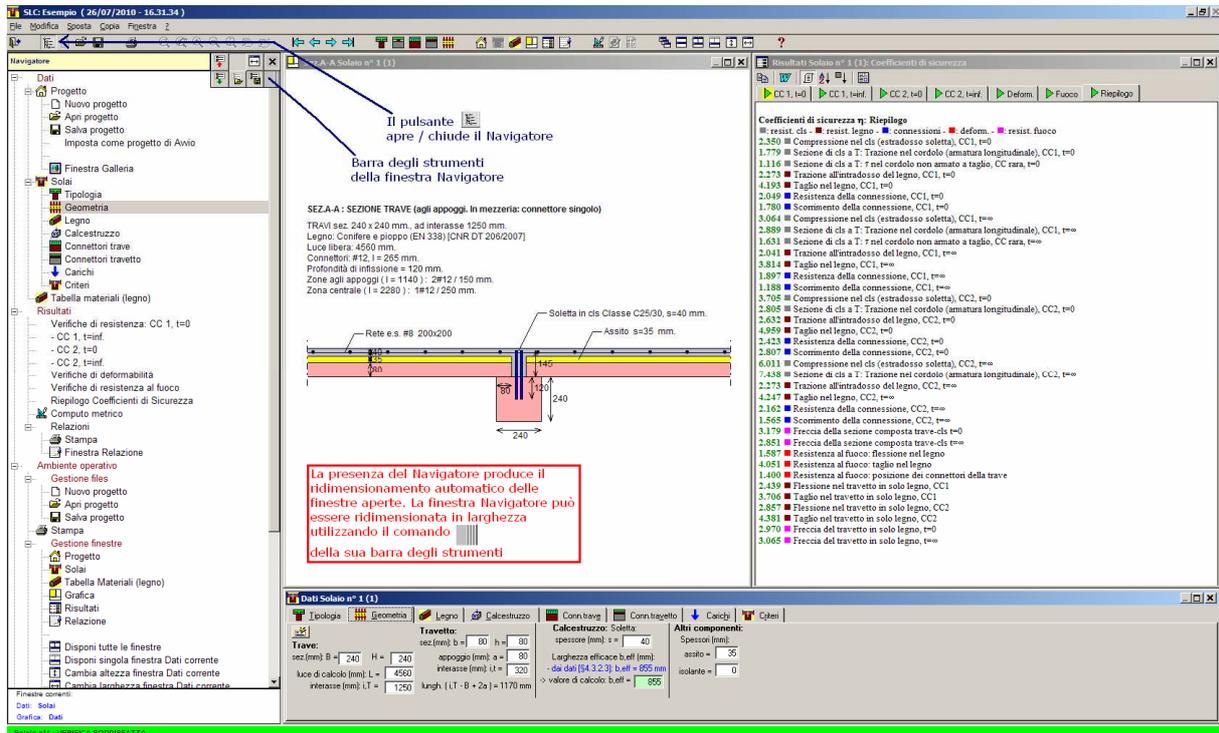


Fig. B.2.2. Finestra Navigatore (albero dei comandi)

La barra degli strumenti del Navigatore appare in modo completo solo quando il mouse si sposta sopra di essa; i suoi comandi sono i seguenti:

Comprimi Navigatore, **Espandi Navigatore** = modificano con un unico comando l'elenco dell'albero: la compressione riduce l'albero ai soli rami principali; l'espansione apre invece tutti i comandi.

Agendo sui tasti , è ovviamente possibile modificare i comandi elencati, aprendo (⊕) e chiudendo (⊖) i diversi rami.

Carica personalizzazione = reimposta il Navigatore caricando l'elenco personalizzato, precedentemente salvato con 'Salva personalizzazione'.

Salva personalizzazione = salva la configurazione corrente dell'elenco del Navigatore, per un eventuale successivo caricamento secondo la reimpostazione dell'albero personalizzata.

Cambia larghezza Navigatore = cambia automaticamente la larghezza del Navigatore, reimpostandola su valori predefiniti. L'Utente può modificare a piacere la larghezza della finestra Navigatore utilizzando il pulsante 'Trascinamento'; l'altezza è invece fissa ed occupa lo spazio destinato alle finestre di SLC.

Chiudi Navigatore

Trascinare per ridimensionare = il pulsante consente l'operazione di ridimensionamento in larghezza.

B.2.3. COMANDI COMUNI

B.2.3.1. Menu FILE

Il menu File si presenta in formato esteso nella finestra Progetto, a cui si rimanda per la descrizione completa dei comandi. Nelle altre finestre, il menu si compone di due comandi:

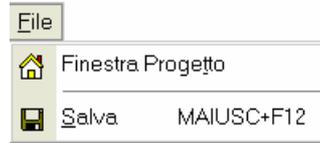


Fig. B.2.3. Menu File

il primo restituisce il fuoco alla finestra Progetto, che contiene i principali comandi di gestione dei files (apertura, salvataggio, impostazioni varie); alla finestra Progetto si accede direttamente anche dal comando  della barra strumenti.

Il secondo comando consente il salvataggio dei dati correnti senza la necessità di tornare alla finestra Progetto; l'operazione di salvataggio viene comunque effettuata in modo diretto tramite il pulsante  della barra strumenti.

B.2.3.2. Menu FINESTRA



Fig. B.2.4. Menu Finestra

I comandi aprono le corrispondenti finestre. I tasti di scelta rapida costituiscono una valida alternativa alla selezione del comando di menu o al clic sul corrispondente pulsante della barra strumenti laterale destra: ad esempio, CTRL+S apre direttamente la finestra Solai.

B.2.3.3. Menu ?

Il menu ? si presenta esteso nella finestra Progetto, cui si rimanda per la descrizione completa dei comandi.

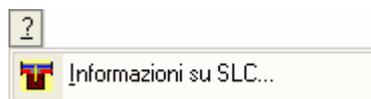


Fig. B.2.5. Menu ?

Il comando 'Informazioni su SLC', comune fra le varie finestre, fornisce il numero di abilitazione hardware o software (tale codice può essere richiesto dalla AEDES per lo svolgimento del servizio di assistenza), mentre il comando 'Informazioni su Windows' (accessibile dalla finestra Progetto) fornisce il riconoscimento del sistema operativo utilizzato.

I manuali della Guida di SLC, forniti su files pdf, vengono aperti attraverso i comandi appositi dei menu Manuali e Normativa della finestra Progetto.

B.3. FINESTRA PROGETTO

La **finestra Progetto** contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di progetti, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di SLC inizia con l'attivazione della finestra Progetto*, e termina con la sua chiusura tramite il comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

SLC è installato nella cartella (obbligatoria) \Aedes2012\Slc, mentre i **Progetti** dell'Utente vengono **archiviati**, in un formato proprio del programma, **nella sottocartella \Aedes2012\Slc\Progetti**

Per un Progetto di nome 'NomeProgetto', SLC crea inoltre due sottocartelle:
 \Aedes2012\Slc\Servizio\NomeProgetto
 all'interno della quale vengono collocati files temporanei ad uso interno di SLC, e
\Aedes2012\Slc\NomeProgetto\Output
contenente i files di testo (rtf) e grafici (dxf e bmp) elaborati da SLC per lo specifico progetto.

Analogamente alla cartella \Progetti, è presente un'altra cartella dedicata agli esempi forniti in dotazione a SLC:

\Es-Apprendi, contenente esempi di apprendimento.

La cartella \Aedes2012\Servizio è normalmente utilizzata soltanto durante la sessione di lavoro con SLC; l'assenza di questa cartella non interferisce con il normale funzionamento del programma: SLC infatti provvede da solo alla sua creazione quando necessario.

Nel seguito, per 'archivio' si intende un Progetto salvato nel formato SLC nel percorso:

\Aedes2012\Slc\Progetti

Il nome dell'archivio (o equivalentemente: del Progetto) è riportato nella barra del titolo, in alto sullo schermo, accanto al nome del programma.

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi archivi, vengono effettuate da SLC attraverso i comandi del menu File della finestra Progetto.

Dai comandi del menu File è possibile, inoltre, elaborare la relazione di calcolo.

B.3.1. Dati PROGETTO

In SLC, per '**Progetto**' si intende la struttura all'interno della quale sono collocati i solai sottoposti a calcolo. **Più solai** (cioè: più maglie di solaio) possono quindi appartenere ad uno stesso progetto, ad esempio nel caso siano collocati sullo stesso piano o su piani diversi del progetto medesimo. Per preimpostazione, almeno un solaio sarà presente nei dati.

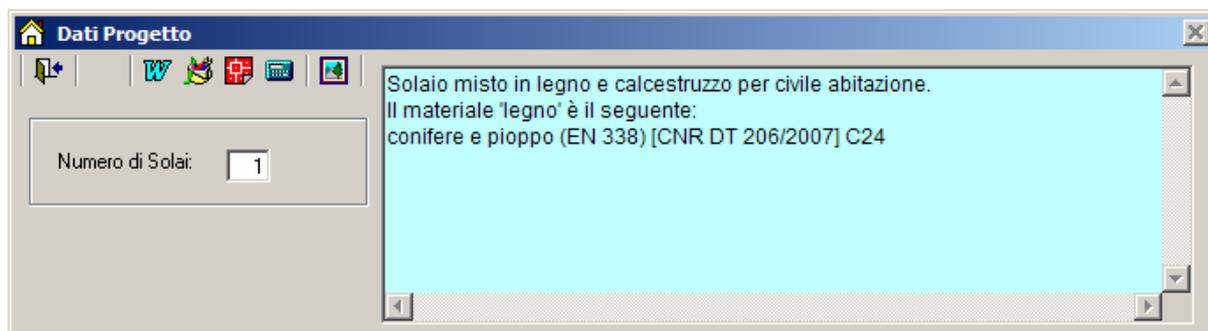


Fig. B.3.1. Finestra Progetto

Numero di Solai = numero di solai misti in legno e calcestruzzo da analizzare presenti nel progetto.

Commento = Testo opzionale associato al progetto, allo scopo di identificarne le caratteristiche.

B.3.2. BARRA DEGLI STRUMENTI DELLA FINESTRA PROGETTO



Esci = il pulsante (equivalente al corrispondente comando del menu File) costituisce l'unica via per la chiusura della sessione corrente di SLC (i classici pulsanti di chiusura sono disattivati sia nella finestra principale sia nella finestra Progetto).

Elaborazione files: **W** rtf, **bmp**, **dxf** = equivalgono ai corrispondenti comandi del menu File.

Calcolatrice = apre la calcolatrice di Windows.

Finestra Galleria = apre la finestra Galleria.

B.3.3. Menu FILE



Fig. B.3.2. Finestra Progetto: menu File

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi Progetti, vengono effettuate da SLC attraverso i comandi del Menu File.

Dai comandi del Menu File è possibile, inoltre, elaborare e stampare la relazione di calcolo.

Nuovo = Reinizializza i dati correnti, impostando la creazione di un nuovo Edificio.

Apri = Apre un archivio esistente, localizzato nella cartella determinata dalla selezione effettuata su uno dei due gruppi di archivi possibili: solai personali dell'Utente, solai di esempio per l'apprendimento (in dotazione di SLC).

Alle due selezioni competono due percorsi di ubicazione degli archivi distinti; rispettivamente:

\\Aedes2012\Slc\Progetti

\\Aedes2012\Slc\Es-Apprendi

Per preimpostazione, viene fatto riferimento agli archivi posti in \\Aedes2012\Slc\Progetti.

Salva = Salva il Progetto corrente, di nome 'NomeProgetto', con nome del file: NomeProgetto.SLC, posto nella cartella del gruppo di archivi selezionato: per default, \\Aedes2012\Slc\Progetti. Il formato SLC del file dati prevede l'archiviazione di tutti i dati collegati al Progetto.

Pur essendo il formato SLC in caratteri ASCII e quindi editabile, non si dovrebbero modificare i dati direttamente con un editor ASCII: le sequenze di formattazione (spazi e ritorni a capo interposti fra i valori dei dati) potrebbero essere alterate con successiva impossibilità di corretta riapertura in SLC.

Il comando Salva del menu File è presente anche in altre finestre di SLC in modo da consentire il salvataggio dei dati correnti direttamente, senza l'obbligo di attivare la finestra Progetto.

Salva con nome = Richiede il nome del Progetto prima di archivarlo. Consente di salvare il Progetto corrente con un altro nome, creando quindi un altro archivio. Effettuato il salvataggio con il nome specificato, questo è il nome che viene assunto come corrente.

Imposta come progetto di Avvio = il progetto corrente verrà aperto automaticamente all'avvio delle successive sessioni di lavoro con SLC. Scegliendo 'Nuovo progetto', e subito dopo 'Imposta come progetto di Avvio', viene ripristinata la configurazione di progetto anonimo all'atto dell'apertura di SLC.

Stampa = Apre la finestra di dialogo dei Parametri di Stampa, dove si selezionano i dati e/o i risultati che saranno utilizzati per comporre la relazione di calcolo attraverso la stampa su file rtf:



Fig. B.3.3. Stampa su file rtf

In SLC il calcolo dei solai viene eseguito interattivamente durante la visualizzazione della corrispondente finestra: occorre quindi aprire tale finestra per rendere disponibili in modo completo i risultati. Inoltre, nel caso di più solai, saranno disponibili per la stampa soltanto i risultati degli elementi che sono stati visualizzati: quindi, per ottenere una stampa completa, è necessario aprire la finestra Solai, e scorrere tutti gli elementi del Progetto corrente (usando i comandi del menu Sposta oppure i pulsanti della Barra degli Strumenti: ← Precedente, → Successivo).

Confermando con OK, verrà proposto il nome del file contenente la relazione (normalmente *Relaz*, modificabile a piacere), che verrà scritto in \Aedes2012\Slc\NomeProgetto\Output). Confermando ancora con OK, avrà inizio la fase di scrittura del file, terminata la quale sarà possibile visualizzarne il contenuto attraverso la finestra Relazione (attivabile dal comando del menu Finestra).

Il testo di un file rtf contiene già le formattazioni atte alla efficace presentazione del documento: ad esempio, grassetti e sottolineature, tipi di carattere, ecc. ed è quindi particolarmente orientato ad una rapida gestione della visualizzazione e della stampa dei dati e dei risultati. Ovviamente, l'utente può effettuare sul testo, all'interno del word-processor, tutte le variazioni di stili e proprietà che desidera.

Mostra Relazione di Calcolo = Se attivato, consentirà - al termine dell'operazione di stampa - di visualizzare automaticamente la finestra Relazione senza necessità di invocarla dal menu Finestra.

Elaborazione files = propone l'apertura diretta del word-processor, di Paint o del programma di CAD a cui sono automaticamente associate le estensioni *.rtf*, *.bmp*, *.dxf* (rispettivamente) sul file compatibile presente nella cartella di output del progetto corrente (\Aedes2012\Slc\Progetti\NomeProgetto\Output). Il comando può non avere effetto qualora l'associazione dell'estensione dei files a Windows non sia stata eseguita, oppure non sia attivabile a causa di protezioni o impostazioni interne del sistema operativo. In tal caso, i files potranno essere comunque gestiti direttamente nella cartella di output del progetto.

In fondo ai comandi del menu File è riportata la **lista dei files recenti**, in numero non superiore a 4 (l'ordine, da 1 a 4, va dal più recente al più vecchio: i più vecchi scalano verso il basso). Viene invocata ad ogni apertura valida di files, ed anche ad ogni salvataggio con nuovo nome.

Il comando di menu: **Esci** (o equivalentemente il pulsante  della barra degli strumenti della finestra Progetto) costituisce l'unica via per la chiusura della sessione corrente di SLC (i classici pulsanti di chiusura sono disattivati sia nella finestra principale sia nella finestra Progetto). L'uscita attraverso il comando di menu richiede sempre la conferma; l'uscita attraverso il pulsante grafico  è invece immediata, qualora ovviamente non vi siano modifiche in corso che richiedano il salvataggio della struttura corrente.

B.3.4. Menu OPZIONI



Fig. B.3.4. Finestra Progetto: menu Opzioni

Il menu Opzioni della finestra Progetto consente l'attivazione o meno della **barra degli Strumenti**, nella sua forma completa o ridotta (completa se è attivato il corrispondente comando di menu).

Calcolatrice = apre la calcolatrice di Windows.

Finestra Galleria = apre la finestra Galleria.

Avvio rapido = imposta o rimuove l'Avvio rapido all'inizio della sessione successiva. In caso di Avvio rapido, viene saltata la fase di visualizzazione estesa del logo e dei messaggi iniziali di avvio sessione.

B.4. ESECUZIONE DEI CALCOLI

In SLC, i calcoli vengono **eseguiti interattivamente in tempo reale**: ogni modifica dei dati produce un immediato aggiornamento del disegno dei dati stessi (finestra Grafica) e dei risultati mostrati nella finestra Risultati sotto forma di testo.

Non sono quindi presenti comandi specifici di menu atti all'avvio dell'esecuzione dei calcoli. SLC è autocorrettivo, nel senso che dati numerici non coerenti fra loro oppure fuori dai limiti significativi vengono automaticamente scartati.

Tuttavia, nel caso che alcune combinazioni non possano produrre risultati significativi, questi vengono posti uguali a zero o comunque, attraverso opportuni messaggi, ne viene evidenziata l'erroneità.

La scelta di adeguati **parametri di calcolo**, ad esempio per definire i limiti di deformabilità della freccia, viene effettuata attraverso le schede dati dei Solai.

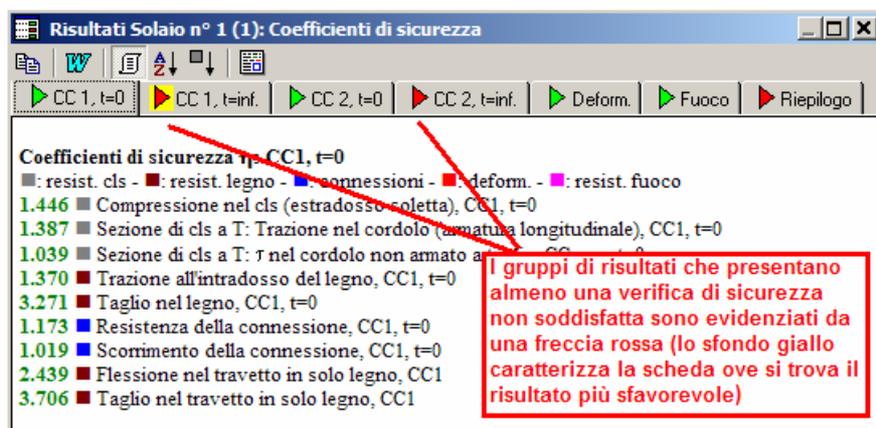


Fig. B.4.1. Esecuzione dei calcoli: finestra Risultati

Una **verifica soddisfatta** viene evidenziata in verde sia nella barra dei messaggi (in fondo alla schermata), sia nelle icone delle schede riportate nella finestra Risultati; nel caso di verifica non soddisfatta, il colore verde è sostituito dal rosso: nella finestra Risultati, le icone rosse evidenziano quale gruppo di risultati presenta almeno una verifica non soddisfatta, ossia almeno un coefficiente di sicurezza minore di 1.000. La colorazione in rosso dei coefficienti di sicurezza corrispondenti alle verifiche non soddisfatte caratterizza anche i risultati in forma estesa, visualizzabili attraverso il comando  (Risultati in forma estesa) della barra degli strumenti della finestra Risultati.

B.5. FINESTRA SOLAI

B.5.1. Dati SOLAI

I dati Solai si possono riferire, per un progetto, a uno o più Solai analizzati per il Progetto stesso. Nel titolo della finestra viene indicato il **soffitto corrente**, del quale vengono mostrati i dati.

Attraverso i comandi del menu Sposta (oppure i pulsanti della Barra degli Strumenti:  Primo,  Precedente,  Successivo,  Ultimo), è possibile visualizzare gli altri Solai presenti nel Progetto corrente; i comandi del menu Modifica consentono invece l'aggiunta o l'eliminazione di altri Solai. I dati Solai comprendono **sia solai ad orditura semplice (solo travi principali), sia solai ad orditura doppia (travi principali e travetti secondari)**: tali configurazioni vengono riconosciute dalla selezione dell'apposita opzione presente nella scheda 'Tipologia'.

In alcune schede è presente il pulsante di comando  (**Reimpostazione automatica parametri dipendenti**): facendo clic su tale pulsante, i parametri che dipendono da altri (ad esempio, le resistenze in dipendenza del tipo di materiale) vengono reimpostati ai valori corrispondenti. Quando i parametri dipendenti assumono il valore che SLC predispone per essi automaticamente, lo sfondo è in colore verde; il colore giallo indica invece un dato che è stato volutamente modificato rispetto al valore predefinito.

Utilizzando il pulsante di Reimpostazione automatica dei parametri dipendenti, f_{ck} viene ridefinita pari a 25 N/mm²



Il calcestruzzo è stato definito di classe di resistenza C25/30: normalmente, il corrispondente valore di f_{ck} è pari a 25 N/mm²

Il valore di f_{ck} è stato però modificato dall'Utente (specificando 30 N/mm² anziché 25)

Su altri parametri non è stata effettuata alcuna modifica rispetto al valore predefinito: in tal caso, lo sfondo del dato è in colore verde

Fig. B.5.1. Finestra Solai

B.5.1.1. Scheda TIPOLOGIA

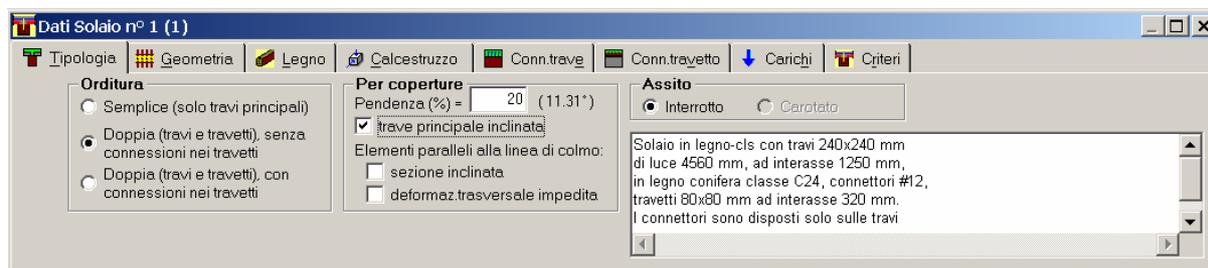


Fig. B.5.2. Finestra Solai: scheda Tipologia

Orditura = tipo di orditura del solaio. Può essere: **Semplice**, se il solaio è costituito dalle sole travi principali; **doppia**, nel caso di presenza di un'orditura secondaria di travetti. Mentre le travi si considerano sempre collegate alla soletta in calcestruzzo sovrastante mediante i connettori, i travetti possono o meno essere anch'essi solidarizzati alla soletta.

Nel caso di orditura doppia, la sezione del calcestruzzo è sempre a T, formata dall'anima interposta fra i travetti e dalla soletta sovrastante. L'altezza dell'anima è pari all'altezza della sezione del travetto più lo spessore dell'assito e dell'eventuale isolante.

Nel caso del travetto, si considera sempre una soletta rettangolare; la distanza tra l'estradosso del travetto e l'intradosso della soletta è pari allo spessore dell'assito e dell'isolante.

Per coperture:

- **Pendenza** = inclinazione del solaio rispetto al piano orizzontale, in % (a lato, viene automaticamente indicato il valore in gradi sessagesimali).

- **Trave principale inclinata** = nel caso di solaio in pendenza, le travi principali possono essere inclinate od orizzontali (parallele alla linea di gronda). Se il solaio ha doppia orditura, i travetti, ad esse ortogonali, si trovano nella situazione opposta. Gli elementi inclinati, in quanto puntoni, sono soggetti a uno sforzo normale, il cui valore nella mezzeria viene utilizzato nella verifica a pressoflessione della sezione. Nelle verifiche dei puntoni si prescinde dal carico di punta, dati il basso valore generalmente assunto dallo sforzo normale e la configurazione vincolare interna del solaio, dove si può ipotizzare che i collegamenti fra gli elementi ostacolino lo sbandamento delle travi compresse.

- **Elementi paralleli alla linea di colmo: sezione inclinata, deformazione trasversale impedita** = nel solaio di copertura, travi o travetti, a seconda dell'orditura semplice o doppia e di quale sia l'orditura inclinata, possono trovarsi orientati con asse longitudinale orizzontale, cioè parallelo alla linea di colmo, in posizione non spingente. Se la sezione è inclinata (cfr. p. A.3.7), l'elemento strutturale è sottoposto a flessione deviata, altrimenti a flessione retta. In caso di flessione deviata, la deformazione trasversale può essere impedita dalla natura stessa del solaio: in tal caso, la verifica sulla freccia riguarda la sola deformazione in direzione ortogonale al piano inclinato di copertura.

In SLC non si considerano instabilità di tipo flessio-torsionale, a causa della configurazione stessa del solaio misto, con soletta sovrastante le travi in legno.

Attenzione Per i solai di copertura, le luci e gli interassi che definiscono la geometria del solaio (vd. p. B.5.1.2, scheda Geometria) devono essere specificati in proiezione orizzontale. ■

Assito = può essere **Interrotto** o **Carotato**. Nel caso di assito interrotto, si ha contatto diretto fra legno e calcestruzzo; se l'assito è carotato, il contatto fra le due parti (legno e calcestruzzo) costituenti la sezione composta è impedito dalla presenza dell'assito stesso. Nel caso di orditura doppia, il contatto fra calcestruzzo e legno viene assunto a priori: infatti, la trave è sicuramente a contatto con il calcestruzzo (il suo estradosso coincide con l'intradosso dell'anima della sezione a T di calcestruzzo che si viene a formare, essendo l'anima la parte racchiusa fra gli appoggi dei travetti), mentre la carotatura non viene in genere predisposta per i travetti: se questi hanno i connettori, l'assito viene interposto tra un travetto e l'altro lasciando lo spazio necessario al contatto fra calcestruzzo e estradosso (superficie superiore) del travetto.

In SLC 2012 la tipologia dell'assito determina la rappresentazione grafica del solaio ma non modifica il comportamento statico del connettore, per il quale viene comunque fatto riferimento ad un elemento reagente a taglio.

Commento = Testo opzionale associato al solaio corrente, allo scopo di identificarne le caratteristiche.

B.5.1.2. Scheda GEOMETRIA

Fig. B.5.3. Finestra Solai: scheda Geometria

Trave:

- **B, H** = dimensioni della sezione trasversale della trave principale.
- **Luce di calcolo L** = luce della trave, pari alla luce effettivamente libera della trave, o in alternativa alla distanza 'convenzionale' fra gli appoggi: si può definire - a favore di sicurezza - 'distanza tra gli appoggi' la distanza tra i punti di mezzo delle zone di appoggio su murature o calcestruzzo. La scelta di una luce maggiore comporta certamente una diminuzione del coefficiente di sicurezza relativo alla freccia.
- **Interasse i,T** = interasse delle travi principali. Nel caso di trave principale laterale (senza cioè altre travi accanto) si può assumere come interasse la distanza ad esempio dalla muratura perimetrale parallela all'asse della trave.

Travetto:

- **b, h** = dimensioni della sezione trasversale del travetto (trave secondaria).
- **Appoggio a** = lunghezza di appoggio del travetto sulla trave. La lunghezza totale del travetto risulta pari a: (interasse tra le travi principali - base sezione trave + 2 * lunghezza d'appoggio di travetto su trave).
- **Interasse i,t** = interasse dei travetti.

Calcestruzzo: Soletta:

- **Spessore s** = spessore della soletta di calcestruzzo, superficie continua posta sopra lo strato di assito (e di eventuale isolante).
- **Larghezza efficace b,eff** = larghezza di soletta inclusa nella sezione composta (larghezza collaborante).
Per la trave principale viene assunta, come riferimento, la formulazione della larghezza efficace indicata in §4.3.2.3:
$$b_{eff} = 2 * \beta b_e$$
dove: $b_e = \min \{i/2, l/8\}$
$$\beta = (0.55 + 0.025 l/b_e)$$
SLC controlla comunque che la larghezza di soletta collaborante non sia superiore all'interasse delle travi principali.
Per il travetto, SLC procede automaticamente, assumendo che la soletta collaborante sia pari all'interasse dei travetti (che è sempre molto limitato, p.es. 30 cm.).

Altri componenti: Spessori:

- **Assito** = spessore dell'assito (tavolato ligneo, pannello o tavelle in laterizio).
- **Isolante** = spessore dello strato di isolante, posto sopra l'assito.

B.5.1.3. Scheda LEGNO

The screenshot shows the 'Dati Solai n° 1 (1)' window with the 'Legno' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Specie e Classe di resistenza:** Shows 'Conifere e pino (EN 338) [CNR DT 206/2007] C24' and 'Classe di servizio (1, 2 o 3) [§4.4.5] = 1'.
- Resistenze - Mod.elasticità (N/mm²):**
 - fm,k = 24
 - ft0,k = 14.0
 - fc0,k = 21.0
 - fv,k = 2.5
 - E0,mean = 11000
 - G,mean = 690
 - Massa volumica rho,k (kg/m³) = 350
- Classi di durata del carico:**
 - k.mod [§4.4.6] = 0.60 (Perm.) / 0.80 (Media)
 - gamma,m [§4.4.6] = 1.50
 - k.def [§4.4.7] = 0.60
 - [1/(1+k.def)] = 0.63

Fig. B.5.4. Finestra Solai: scheda Legno

Specie e Classe di resistenza = descrizione del tipo di legno costituente travi e travetti. La casella a discesa mostra le tipologie di legno presenti nella Tabella Materiali. La tabella materiali predefinita di SLC è conforme al documento CNR DT 206/2007 (§18). Per consultare il testo normativo: finestra Progetto, menu Normativa, Istruzioni CNR DT 206/2007.

La scelta di una tipologia determina i corrispondenti valori dei **parametri rappresentativi del materiale**: resistenze meccaniche, moduli di elasticità iniziali (a breve termine) e massa volumica. Tali valori sono comunque singolarmente modificabili nelle caselle di testo corrispondenti (lo sfondo verde indica la conformità ai valori normalmente previsti nei documenti di riferimento).

Selezionando dalla casella a discesa un particolare tipo di legno, **i risultati non vengono automaticamente aggiornati**, in quanto i parametri corrispondenti conservano il valore corrente, evidenziando tuttavia - con lo sfondo giallo o verde - la corrispondenza ai valori predefiniti. Effettuando la Reimpostazione automatica dei parametri dipendenti (facendo clic sul corrispondente pulsante di comando  della scheda corrente), i risultati del calcolo vengono immediatamente aggiornati.

Resistenza, Moduli di elasticità, massa volumica = parametri che definiscono il materiale ligneo utilizzato (cfr. p. A.2.2). Se conformi ai valori predefiniti nei documenti di riferimento (CNR DT 206/2007), lo sfondo dei dati è in colore verde, giallo altrimenti.

f_{mk} = resistenza caratteristica a flessione

f_{t0k} = resistenza caratteristica a trazione parallela alla fibratura

f_{c0k} = resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura

f_{vk} = resistenza caratteristica a taglio

Classi di durata del carico = le classi di durata del carico da considerare sono due:

1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti);

2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili).

Per ognuna delle due classi Permanente e Media si definisce k_{mod} , coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura (cfr. p. A.2.2).

Gamma,m = coefficiente parziale per le proprietà dei materiali γ_M il cui valore è normalmente pari a 1.5.

k_{def} = la deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore moltiplicativo $1/(1+k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti. Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale (cfr. p. A.2.6.1).

B.5.1.4. Scheda CALCESTRUZZO

Fig. B.5.5. Finestra Solai: scheda Calcestruzzo

Classe di resistenza, Parametri meccanici del calcestruzzo = la classe di resistenza del calcestruzzo (§4.1, Tab. 4.1.I; cfr. p. A.2.3) è espressa nella forma: f_{ck}/R_{ck}
 La resistenza di calcolo a compressione (§4.1.2.1.1.1) è data da:

$$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

La resistenza caratteristica a trazione (§11.2.10.2) vale: $f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$

dove: $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$

La resistenza di calcolo a trazione (§4.1.2.1.1.2) è data da:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.80 / 1.5 = 1.19 \text{ N/mm}^2$$

(f_{cd} e f_{ctd} sono ridotte con il fattore 0.80 se la soletta ha spessore < 50 mm).

Il valore medio della resistenza cilindrica (§11.2.2) è:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

ed il modulo elastico (§11.2.10.3) vale:

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm} / 10]^{0.3}$$

Queste relazioni definiscono quindi parametri dipendenti dalla classe di resistenza del calcestruzzo; se i loro valori sono confermati coerentemente a tali dipendenze, lo sfondo dei dati è in colore verde, diversamente lo sfondo è in giallo. Per reimpostare i parametri dipendenti, si utilizza il pulsante di

comando **R**.

Peso specifico = peso specifico (per unità di volume) del calcestruzzo; normalmente assunto pari a 25.00 kN/m^3 , può assumere valori minori in caso di calcestruzzo alleggerito.

Viscosità = si specificano: il tempo di messa in carico t_0 e l'umidità relativa; da essi deriva il coefficiente di viscosità ϕ (\equiv phi) a tempo ∞ del calcestruzzo, valutato secondo §11.2.10.7.

Il fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t=\infty$) è pari a: $1 / (1+\phi)$.

Armature = si considera per predefinitone acciaio B450C. Le armature che possono essere disposte nel calcestruzzo sono le seguenti:

- rete elettrosaldata, sempre presente e posta nella soletta;
- nel caso di sezione di calcestruzzo a T (orditura doppia, con anima - o: cordolo - formata dai travetti che appoggiano sulla trave principale), vengono normalmente disposte barre longitudinali, in intradosso al cordolo (cioè sopra l'estradosso della trave di legno), atte ad assorbire lo sforzo di trazione che interessa il calcestruzzo;
- nel caso di sezione a T con cordolo 'importante' è anche possibile disporre armatura a taglio, particolarmente nel caso di strutture sottoposte a carichi elevati o di geometria particolare (luci notevoli, sezioni di travetti più grandi rispetto ad esempio ad un valore standard di $80 \times 80 \text{ mm}$). Se l'armatura a taglio non è presente, l'anima della sezione di calcestruzzo viene verificata a taglio in assenza di armatura (cfr. p. A.3.3).

B.5.1.5. Scheda CONNETTORI TRAVE

Fig. B.5.6. Finestra Solai: scheda Connettori Trave

Mentre le travi principali sono sempre dotate di connettori, i travetti - presenti solo nel caso di solaio ad orditura doppia - possono o meno essere collegati alla soletta tramite i connettori. Pertanto, la scheda 'Connettori Trave' è sempre abilitata, mentre la scheda 'Connettori Travetto' lo è solo nel caso di tipologia ad orditura doppia con connettori nei travetti (come specificato nella scheda Tipologia).

I connettori si considerano per predefinitone in acciaio B450C. In ogni caso, rigidità e resistenza utilizzate nel calcolo possono essere liberamente definite negli appositi campi (modificando i valori preimpostati che SLC calcola in base alle relazioni illustrate nel p. A.2.4): pertanto, è possibile di fatto considerare altri tipi di connettori, specificandone i parametri corrispondenti (forniti, ad esempio, dal produttore).

d = diametro dei connettori (in SLC il simbolo utilizzato per il diametro, ad esempio nelle relazioni di calcolo, è anche: #). Il diametro è ipotizzato costante per tutta la trave. Valori normali per le travi principali sono ϕ 10,12,14 mm.

La profondità di infissione nel legno e nella soletta possono essere specificate liberamente; alcuni parametri di confronto (6d per il legno e 2.5d per la soletta) indicano tuttavia i valori minimi di infissione affinché il connettore possa svolgere in modo efficace la funzione di collegamento (CNR DT 206/2007, §7.12.2, (7.68); cfr. p. A.2.1)

Accoppiamento delle barre = per le sole travi principali, è possibile considerare barre accoppiate agli appoggi e/o in mezzeria. Fisicamente, l'impegno statico dei connettori è direttamente legato al Taglio: quindi, un loro raffittimento è normalmente utilizzato nelle zone di appoggio.

SLC considera come 'zone agli appoggi' i tratti estremi di trave aventi lunghezza L/4; la 'zona centrale', o 'mezzeria', ha ovviamente lunghezza L/2. La diversificazione fra disposizione dei connettori agli appoggi e in mezzeria, sia come accoppiamento sia come interasse, corrisponde ad un criterio di ottimizzazione strutturale.

Per i travetti viene sempre adottata una disposizione uniforme dei connettori.

Interasse dei connettori = viene richiesto l'interasse agli appoggi, ed è possibile specificare anche l'interasse in mezzeria, che può essere diverso rispetto agli appoggi. SLC suggerisce i limiti di riferimento, pari a 8d (inferiore) e 30d (superiore). L'interasse tra i collegamenti deve infatti essere non troppo piccolo per evitare lo "splitting" nel legno, né troppo grande per ottenere una sufficiente continuità della connessione [6].

Rigidità = si specificano i valori relativi allo stato limite di esercizio (K_{ser}) e allo stato limite ultimo (K_u) (cfr. p. A.2.4).

Nel caso di accoppiamento lungo tutta la trave, il valore preimpostato della rigidità relativo ad un singolo connettore si raddoppia; ovviamente, se l'utente conosce altre formule più precise (per es. tenendo conto che l'accoppiamento può non essere equivalente proprio a due connettori assieme a causa dell'interferenza reciproca dei due connettori nella sezione trasversale della trave di legno) potrà utilizzarle specificando un valore diverso da quello preimpostato.

Resistenza a taglio = resistenza caratteristica del connettore a taglio.

Sia per la rigidità, sia per la resistenza a taglio i valori preimpostati possono essere modificati per tenere conto di particolari tipi di connettori.

In caso di accoppiamento agli appoggi e in mezzeria, la rigidità K e la forza resistente in input si riferiscono a due connettori (il valore preimpostato è infatti doppio).

Scorrimento max = lo scorrimento, dato dal rapporto fra resistenza e rigidità (cfr. A.3.4), deve essere inferiore ad un limite massimo (cfr. A.3.4).

B.5.1.6. Scheda CONNETTORI TRAVETTO

The screenshot shows the 'Connettori travetto' tab in the 'Dati Solai n° 1 (1)' software. The interface includes a toolbar with icons for 'Tipologia', 'Geometria', 'Legno', 'Calcestruzzo', 'Conn.trave', 'Conn.travetto', 'Carichi', and 'Criteri'. The main area contains the following data:

Barre (acciaio B450C): d (mm) = <input type="text" value="12"/>	Interasse i.ct (mm) = <input type="text" value="150"/>
Profondità di infissione (mm): - nel legno = <input type="text" value="50"/> >= 6 d = 72 mm - nella soletta = <input type="text" value="30"/> >= 2.5 d = 30 mm	limiti per i.ct >=(8d)=96 mm , <=(30d)=360 mm
	Rigidezza (N/mm): K.ser (SLE) = <input type="text" value="7857"/> K.u (SLU) = <input type="text" value="5238"/>
	Resistenza a taglio (N): Fv,Rk = <input type="text" value="9031"/> Scorrimento max (SLU) (mm) = <input type="text" value="1.00"/>

Fig. B.5.7. Finestra Solai: scheda Connettori Travetto

Mentre le travi principali sono sempre dotate di connettori, i travetti - presenti solo nel caso di solaio ad orditura doppia - possono o meno essere collegati alla soletta tramite i connettori. Pertanto, la scheda 'Connettori trave' è sempre abilitata, mentre la scheda 'Connettori travetto' lo è solo nel caso di tipologia ad orditura doppia con connettori nei travetti (come specificato nella scheda Tipologia).

I parametri in input nella scheda 'Connettori travetto' sono del tutto analoghi alla scheda 'Connettori trave', con alcune specificità.

Il diametro è ipotizzato costante per tutto il travetto. Data la sezione di piccole dimensioni che generalmente caratterizza il travetto, anche i diametri delle barre saranno in genere inferiori ai corrispondenti delle travi principali: per i travetti, quindi, si possono utilizzare ad esempio ϕ 6,8,10 mm. Per quanto riguarda la disposizione geometrica delle barre, l'interasse resta costante lungo lo sviluppo longitudinale; non è cioè prevista la possibilità di diradamento in mezzera. Inoltre, nel travetto non si prevede la possibilità di accoppiare le barre.

B.5.1.7. Scheda CARICHI

The screenshot shows the 'Dati Solai n° 1 (1)' window with the 'Carichi' tab selected. The interface includes several input fields and dropdown menus:

- Permanenti:**
 - P.pr. assito (kN/m³) = 18.00
 - G₁ (kN/m²) Dai dati: G₁ = 2.04 → valore di calcolo: G₁ = 2.04
 - Perm. non strutturali G₂ (kN/m²) = 1.70
- Variabili:** [§3.1.4]
 - A. Ambienti ad uso residenziale (dropdown)
 - da Tab. 2.5.I: (psi)₂ = 0.3 → valore di calcolo: (psi)₂ = 0.3
 - Q_k (kN/m²) Dai dati: Q_k = 2.00 → valore di calcolo: Q_k = 2.00
- Coeff. parz. per SLU:** [§2.6.1]
 - (gamma)_{G1} = 1.30
 - (gamma)_{G2} = 1.50
 - (gamma)_Q = 1.50

Fig. B.5.8. Finestra Solai: scheda Carichi

Nella scheda Carichi vengono definiti i carichi agenti sul solaio, distinti in Permanenti (G_1 e G_2) e Variabili (Q_k). Da tali carichi di superficie derivano i valori di riferimento dei carichi distribuiti lineari applicati sulle travi e sui travetti, per le combinazioni di carico esaminate.

Maggiori dettagli sulle modalità di definizione dei carichi ai fini delle verifiche di sicurezza in SLC sono descritte nel p. A.2.5.

Permanenti:

- **P.pr. assito** = può essere costituito da tavolato ligneo (conifere o latifoglie), piastrelle o tavole in laterizio. Corrispondentemente, si ha un valore del suo peso specifico (peso per unità di volume); moltiplicandolo per lo spessore (definito nella scheda Geometria), si ottiene il carico di superficie dell'assito. Per l'eventuale strato di isolante, non è previsto un carico corrispondente; eventualmente, si conglomberà tale contributo nel peso proprio dell'assito modificandone opportunamente il peso specifico.

- **G₁** = carico permanente. Questo carico si compone del peso proprio della struttura (legno, calcestruzzo, assito), e viene proposto da SLC con un valore comunque modificabile a piacere (ma che può in ogni momento essere reimpostato al valore predefinito da SLC utilizzando il pulsante di comando



- **G₂** = carico permanente non strutturale. Questo carico comprende: sottofondo, pavimentazione, tramezzi; viene direttamente definito dall'Utente (non c'è un valore predefinito da SLC).

Variabili:

- **Q_k** = il carico variabile si riferisce alle diverse categorie di edifici (destinazioni d'uso) previste dalla Normativa vigente (D.M. 14.1.2008, §3.1.4, Tab. 3.1.II). Selezionando dalla casella a discesa un particolare tipo di categoria, è possibile reimpostare il valore del carico Q_k e del coefficiente di combinazione ψ_2 , relativo al valore quasi permanente (§2.5.3, Tab. 2.5.I). Come per altri dati, questi valori possono essere comunque modificati a piacere dall'Utente.

Coefficienti parziali per SLU (§2.6.1, Tab. 2.6.I) = γ_{G1} , γ_{G2} , γ_Q amplificano i valori dei carichi per le verifiche di resistenza allo Stato Limite Ultimo.

B.5.1.8. Scheda CRITERI

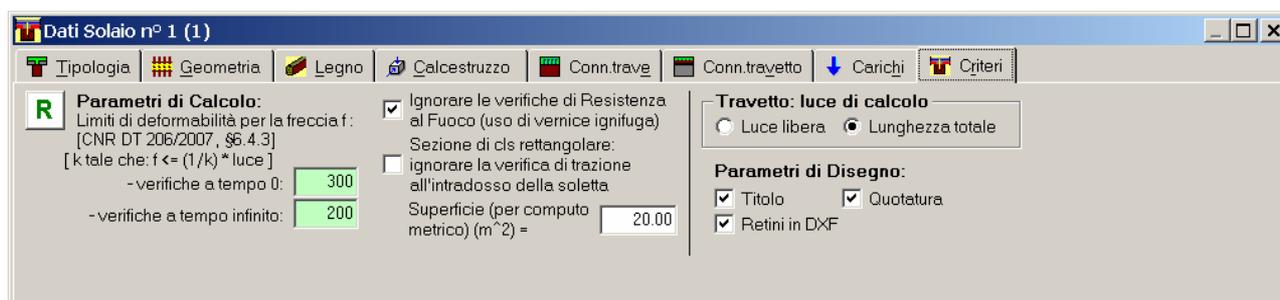


Fig. B.5.9. Finestra Solai: scheda Criteri

Nella scheda Criteri vengono selezionati parametri di calcolo e di rappresentazione grafica.

I **Parametri di Calcolo** sono i seguenti:

Limiti di deformabilità per la freccia = valori limite con cui confrontare la freccia di calcolo per stabilire se la verifica di deformabilità del solaio è soddisfatta o meno.

Ignorare le verifiche di Resistenza al Fuoco (uso di vernice ignifuga) = è possibile ignorare le verifiche di resistenza al fuoco. Questa opzione può ad esempio essere scelta se si prevede l'utilizzo di idonea vernice ignifuga. In casi di piccole sezioni di travi in legno, la verifica di resistenza al fuoco senza vernice ignifuga può essere impossibile da soddisfare, a causa della scarsa o nulla sezione resistente residua dopo la carbonizzazione: d'altra parte, la sezione del legno può essere soggetta a esigenze conservative inderogabili (ad esempio, nel caso di interventi su solai esistenti in edifici monumentali). In casi di questo tipo, nei confronti del fuoco è possibile prescindere dalle verifiche di resistenza usando vernici ignifughe.

Sezione di cls rettangolare: ignorare la verifica di trazione all'intradosso della soletta = questa verifica viene eseguita quando la parte di calcestruzzo della sezione composta legno-cls ha forma rettangolare: ciò avviene per la trave nel caso di orditura semplice, e per il travetto con connettori nel caso di orditura doppia. La sezione di calcestruzzo rettangolare è soggetta a compressione nel lembo superiore, e a trazione in intradosso. In casi sfavorevoli, come quelli di solai esistenti con travi in legno di piccole dimensioni, la tensione di trazione supera il limite consentito, e può accadere che a causa delle condizioni al contorno (ad esempio, i vincoli imposti negli edifici monumentali, come l'impossibilità di aumentare la sezione della trave) non si riesca in alcun modo a soddisfare questa verifica. Tuttavia, riflettendo sul problema, è opportuno considerare che nel solaio composto il calcestruzzo lavora prevalentemente a compressione mentre gli sforzi di trazione sono sostenuti principalmente dal legno; inoltre, la trazione nella soletta può essere assorbita dalla rete elettrosaldata, la cui presenza è sempre prevista (ai fini di ripartizione dei carichi). In considerazione di ciò, si può decidere di ignorare la verifica a trazione in intradosso della soletta (ciò equivale a ritenere questa verifica non significativa).

Superficie per computo metrico = SLC calcola, a partire dai dati specificati, le quantità dei materiali ed il numero dei connettori per ogni singola trave e per ogni singolo travetto; viene quindi eseguita una proporzione per ottenere un valore di riferimento a metro quadrato. Moltiplicando tale valore per la superficie qui specificata, si ottiene un computo indicativo dell'intera maglia di solaio.

Travetto: luce di calcolo = è possibile attribuire al travetto una luce di calcolo pari alla luce libera (luce netta) oppure alla lunghezza totale comprensiva degli appoggi sulle travi principali.

Per i **Parametri di Disegno**, la selezione dei comandi ha effetto immediato nei disegni rappresentati nelle finestre grafiche. Poiché l'**output su file dxf** riproduce fedelmente quanto visualizzato nella finestra grafica corrente, selezionare preventivamente questi parametri per determinare le caratteristiche del disegno in output (ad esempio, per ottenere un disegno su dxf quotato occorre che l'opzione 'Quotatura' sia attivata).

B.5.2. Menu MODIFICA

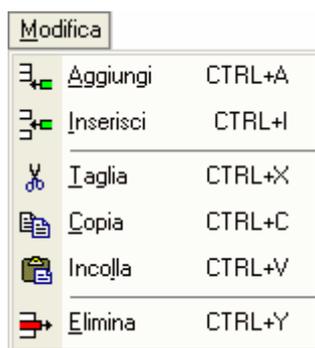


Fig. B.5.10. Finestra Solai: menu Modifica

I comandi di aggiunta o inserimento pongono in linea un nuovo solaio, i cui dati vengono preimpostati da SLC: essi ovviamente verranno modificati dall'Utente in base al caso analizzato.

Aggiungi = Aggiunge un solaio per il Progetto analizzato, facendolo divenire il solaio corrente.

Inserisci = Inserisce un solaio nella posizione corrente, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutti i Solai ad esso successivi.

Taglia = Elimina il solaio corrente, ponendolo in memoria.

Copia = Pone in memoria il solaio corrente.

Incolla = Incolla il solaio presente in memoria. Utilizzando Copia e Incolla, associati a Inserisci o Aggiungi, è possibile spostare dati di Solai, anche fra edifici diversi.

Elimina = Elimina il solaio corrente, senza porlo in memoria.

B.5.3. Menu SPOSTA

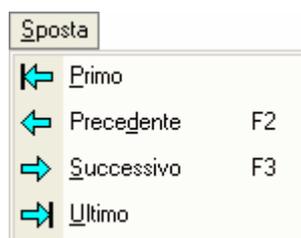


Fig. B.5.11. Finestra Solai: menu Sposta

Il menu Sposta consente lo spostamento al solaio successivo o precedente rispetto a quello visualizzato, cambiando quindi il solaio corrente. Se nel Progetto è presente un solo solaio, ovviamente questo menu risulta ininfluente.

E' possibile scorrere i diversi Solai utilizzando i tasti di scelta rapida F2, F3.

In alternativa, possono essere utilizzati i pulsanti della Barra degli Strumenti:

← Primo, ← Precedente, → Successivo, → Ultimo.

B.5.4. Menu COPIA

Il menu Copia consente di copiare il solaio successivo o precedente in quella corrente. Se nel Progetto è presente un solo solaio, ovviamente questo menu risulta ininfluente.

B.6. FINESTRA TABELLA MATERIALI

SLC gestisce una libreria di materiali (tipologie di legno), 'Tabella Materiali', a cui fare riferimento durante l'inserimento dei Dati Solai.

La Tabella Materiali è un archivio presente in ogni Progetto, quindi può differire da un progetto all'altro a seconda delle modifiche effettuate dall'Utente.

SLC fornisce una tabella materiali contenente i parametri descritti dai riferimenti normativi vigenti (CNR DT 206/2007), inserita nella struttura preimpostata che viene posta in linea ogni qual volta si crea un nuovo progetto. Editando la tabella, l'Utente potrà apportare le opportune modifiche, anche aggiungendo nuove tipologie. I materiali disponibili per preimpostazione sono elencati nelle figg. B.6.2, B.6.3.

B.6.1. Dati TABELLA MATERIALI

N° = numero di identificazione del tipo di materiale.

Col. = Colore rappresentativo del materiale. Facendo doppio clic sulla casella colorata, si apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Il doppio clic sul campo 'Col.' equivale al comando 'Colore' del menu Modifica.

Descrizione = descrizione del materiale.

I parametri rappresentativi del materiale (f_{mk} , f_{t0k} , f_{c0k} , f_{vk} , E_{0mean} , G_{mean} , ρ_k), tratti dal riferimento normativo (CNR DT 206/2007) possono comunque essere variati a piacere dall'Utente.



Suggerimento

Invece di modificare la tabella preimpostata, i materiali definiti dall'Utente possono essere direttamente aggiunti all'elenco. In tal modo, mentre permangono in tabella i dati così come previsti dal documento normativo, è comunque possibile fare riferimento a materiali diversi. ■

B.6.2. Menu MODIFICA



Fig. B.6.1. Finestra Tabella Materiali: menu Modifica

Aggiungi = Aggiunge un tipo di materiale al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

Inserisci = Inserisce un tipo di materiale nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutti i tipi ad esso successivi. La cella corrente resta nella posizione attuale.

Elimina = Elimina il tipo di materiale corrente.

Colore... = Apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Questo comando equivale al doppio clic sul campo 'Col.'.

Tabella Materiali (44)										
N°	Col.	Descrizione	Classe di resist.	f _{m,k} (MPa)	f _{t,0,k} (MPa)	f _{c,0,k} (MPa)	f _{v,k} (MPa)	E _{0,mean} (MPa)	G _{mean} (MPa)	rho _k (kg/m ³)
1		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C14	14	8.0	16.0	1.7	7000	440	290
2		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C16	16	10.0	17.0	1.8	8000	500	310
3		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C18	18	11.0	18.0	2.0	9000	560	320
4		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C20	20	12.0	19.0	2.2	9500	590	330
5		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C22	22	13.0	20.0	2.4	10000	630	340
6		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C24	24	14.0	21.0	2.5	11000	690	350
7		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C27	27	16.0	22.0	2.8	11500	720	370
8		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C30	30	18.0	23.0	3.0	12000	750	380
9		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C35	35	21.0	25.0	3.4	13000	810	400
10		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C40	40	24.0	26.0	3.8	14000	880	420
11		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C45	45	27.0	27.0	3.8	15000	940	440
12		Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]	C50	50	30.0	29.0	3.8	16000	1000	460
13		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D30	30	18.0	23.0	3.0	10000	600	530
14		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D35	35	21.0	25.0	3.4	10000	650	560
15		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D40	40	24.0	26.0	3.8	11000	700	590
16		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D50	50	30.0	29.0	4.6	14000	880	650
17		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D60	60	36.0	32.0	5.3	17000	1060	700
18		Latifoglie (escluso pioppo) (EN 338) [CNR DT 206/2007]	D70	70	42.0	34.0	6.0	20000	1250	900
19		Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S1	29	17.0	23.0	3.0	12000	750	380
20		Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S2	23	14.0	20.0	2.5	10500	660	380
21		Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S3	17	10.0	18.0	1.9	9500	590	380
22		Abete (Centro-Sud Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S1	32	19.0	24.0	3.2	11000	690	280

Fig. B.6.2. Finestra Tabella Materiali: elenco materiali predefiniti (da 1 a 22)

23		Abete (Centro-Sud Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S2	28	17.0	22.0	2.9	10000	630	280
24		Abete (Centro-Sud Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S3	21	13.0	20.0	2.3	9500	590	280
25		Larice (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S1	42	25.0	27.0	4.0	13000	810	550
26		Larice (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S2	32	19.0	24.0	3.2	12000	750	550
27		Larice (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S3	26	16.0	22.0	2.7	11500	720	550
28		Douglasia (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S1	40	24.0	26.0	4.0	14000	880	400
29		Douglasia (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S2/S3	23	14.0	20.0	3.4	12500	780	420
30		Altre conifere (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S1	33	20.0	24.0	3.3	12300	770	530
31		Altre conifere (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S2	26	16.0	22.0	2.7	11400	710	530
32		Altre conifere (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S3	22	13.0	20.0	2.4	10500	660	530
33		Castagno (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S	28	17.0	22.0	2.0	11000	950	465
34		Querce caducifoglie (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S	42	25.0	27.0	4.0	12000	750	760
35		Pioppo e Ontano (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S	26	16.0	22.0	2.7	11500	500	420
36		Altre latifoglie (Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]	S	27	16.0	22.0	2.0	8000	720	515
37		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL24h	24	16.5	24.0	2.7	11600	720	380
38		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL24c	24	14.0	21.0	2.2	11600	590	350
39		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL28h	28	19.5	26.5	3.2	12600	780	410
40		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL28c	28	16.5	24.0	2.7	12600	720	380
41		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL32h	32	22.5	29.0	3.8	13700	850	430
42		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL32c	32	19.5	26.5	3.2	13700	780	410
43		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL36h	36	26.0	31.0	4.3	14700	910	450
44		Legno lamellare di conifera omogeneo e combinato (EN 1194) [CNR DT 206/2007]	GL36c	36	22.5	29.0	3.8	14700	850	430

Fig. B.6.3. Finestra Tabella Materiali: elenco materiali predefiniti (da 23 a 44)

B.6.3. Menu OPZIONI

Salva come Tabella Utente = Salva la corrente Tabella Materiali come tabella Utente nel file Mat.tab contenuto in \Aedes2012\SLC\Files

Carica Tabella Utente = Recupera la Tabella Materiali Utente (Mat.tab, in \Aedes2012\SLC\Files) e la utilizza per reimpostare la tabella materiali del solaio corrente.

Carica Tabella Standard = Recupera i valori standard predisposti da SLC per la Tabella Materiali, utilizzandoli per reimpostare la tabella materiali del solaio corrente.

B.7. FINESTRA RISULTATI

Per ogni verifica di resistenza della sezione di legno-calcestruzzo composta dalle trave principale accoppiata alla soletta, viene definito il corrispondente coefficiente di sicurezza η (da non confondere con l'efficienza della connessione, parametro caratteristico della sezione composta): η è pari al rapporto fra resistenza di progetto e sollecitazione di progetto (per le varie verifiche, i coefficienti di sicurezza vengono progressivamente numerati: η_1 , η_2 , ecc.). Se $\eta \geq 1.000$, la corrispondente verifica è soddisfatta.

Risultati Solaio n° 1 (1): Coefficienti di sicurezza

Questo pulsante visualizza i Risultati in forma estesa

CC 1, t=0 | CC 1, t=inf. | CC 2, t=0 | CC 2, t=inf. | Deform. | Fuoco | Riepilogo

Coefficienti di sicurezza η : Riepilogo

■: resist. cls - ■: resist. legno - ■: connessioni - ■: deform. - ■: resist. fuoco

2.350 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC1, t=0

1.779 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC1, t=0

1.116 ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio, CC rara, t=0

2.273 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC1, t=0

4.193 ■ Taglio nel legno, CC1, t=0

2.049 ■ Resistenza della connessione, CC1, t=0

1.780 ■ Scorrimento della connessione, CC1, t=0

3.064 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC1, t=∞

2.889 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC1, t=∞

1.631 ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio, CC rara, t=∞

2.041 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC1, t=∞

3.814 ■ Taglio nel legno, CC1, t=∞

1.897 ■ Resistenza della connessione, CC1, t=∞

1.188 ■ Scorrimento della connessione, CC1, t=∞

3.705 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC2, t=0

2.805 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale)

2.632 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC2, t=0

4.959 ■ Taglio nel legno, CC2, t=0

2.423 ■ Resistenza della connessione, CC2, t=0

2.807 ■ Scorrimento della connessione, CC2, t=0

6.011 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC2, t=∞

7.438 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale)

2.273 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC2, t=∞

4.247 ■ Taglio nel legno, CC2, t=∞

2.162 ■ Resistenza della connessione, CC2, t=∞

1.565 ■ Scorrimento della connessione, CC2, t=∞

3.179 ■ Freccia della sezione composta trave-cls t=0

2.851 ■ Freccia della sezione composta trave-cls t=∞

1.587 ■ Resistenza al fuoco: flessione nel legno

4.051 ■ Resistenza al fuoco: taglio nel legno

1.400 ■ Resistenza al fuoco: posizione dei connettori della trave

2.439 ■ Flessione nel travetto in solo legno, CC1

3.706 ■ Taglio nel travetto in solo legno, CC1

2.857 ■ Flessione nel travetto in solo legno, CC2

4.381 ■ Taglio nel travetto in solo legno, CC2

2.970 ■ Freccia del travetto in solo legno, t=0

3.065 ■ Freccia del travetto in solo legno, t=∞

■: resist. cls - ■: resist. legno - ■: connessioni
■: deform. - ■: resist. fuoco

Una freccia verde o rossa indica se tutte le verifiche del gruppo considerato dalla scheda sono soddisfatte o meno

I coefficienti di sicurezza della scheda possono essere elencati secondo uno dei seguenti criteri:

- elenco standard
- elenco per valori crescenti
- elenco per gruppi

Elenco standard: in sequenza, i coefficienti delle verifiche progressivamente eseguite

Elenco per valori crescenti: ordinamento dei coefficienti dai valori minori a quelli maggiori (si evidenziano in tal modo le verifiche non soddisfatte)

Elenco per gruppi: i coefficienti vengono riordinati e suddivisi fra i seguenti gruppi:

Fig. B.7.1. Finestra Risultati

Il solaio è conforme alle richieste di Normativa qualora tutti i coefficienti di sicurezza siano ≥ 1.000 ; i coefficienti di sicurezza sono relativi a: verifiche di resistenza e di deformabilità della sezione in legno-calcestruzzo composta dalla trave principale (cfr. p. A.5), di resistenza e deformabilità dei travetti (cfr. p.A.6) e di resistenza al fuoco della trave principale (cfr. p.A.7).

Nella finestra Risultati possono essere consultati i risultati dell'elaborazione, in termini di Coefficienti di Sicurezza, organizzati nelle seguenti schede:

CC1, t=0: verifiche di resistenza per la combinazione di carico 1, a tempo t=0

CC1, t=inf.: verifiche di resistenza per la combinazione di carico 1, a tempo t=infinito

CC2, t=0: verifiche di resistenza per la combinazione di carico 2, a tempo t=0

CC2, t=inf.: verifiche di resistenza per la combinazione di carico 2, a tempo t=infinito
 Deform.: verifiche di deformabilità
 Fuoco: verifiche di resistenza al fuoco
 Riepilogo: tutti i coefficienti di sicurezza

Per la descrizione dettagliata del significato dei vari risultati si rinvia ai capitoli della Teoria dedicati (A.4, A.5, A.6, A.7).

I coefficienti ≥ 1.000 sono colorati in verde, i coefficienti < 1.000 (corrispondenti a verifiche non soddisfatte) in rosso. I coefficienti di sicurezza della scheda possono essere elencati secondo uno dei seguenti criteri, corrispondenti ognuno ad un pulsante della barra degli strumenti della finestra Risultati:

- elenco standard = in sequenza, i coefficienti delle verifiche progressivamente eseguite;
- elenco per valori crescenti = ordinamento dei coefficienti dai valori minori a quelli maggiori (si evidenziano in tal modo le verifiche non soddisfatte);
- elenco per gruppi: i coefficienti vengono suddivisi per gruppi omogenei (ad esempio: tutti i coefficienti delle verifiche di resistenza del calcestruzzo, tutti quelli della resistenza del legno, ecc.)

La finestra Risultati presenta quindi una **sintesi** efficace e completa di tutte le verifiche di sicurezza riguardanti il solaio corrente. Per consultare le **verifiche in forma estesa**, evidenziando i passi di svolgimento dei calcoli, è possibile utilizzare il pulsante di comando (Risultati in forma estesa) della barra degli strumenti della finestra, che provvede ad aprire (se non già aperta) una finestra di testo apposita dove viene mostrato il testo esteso, corredato di opportune immagini esplicative.

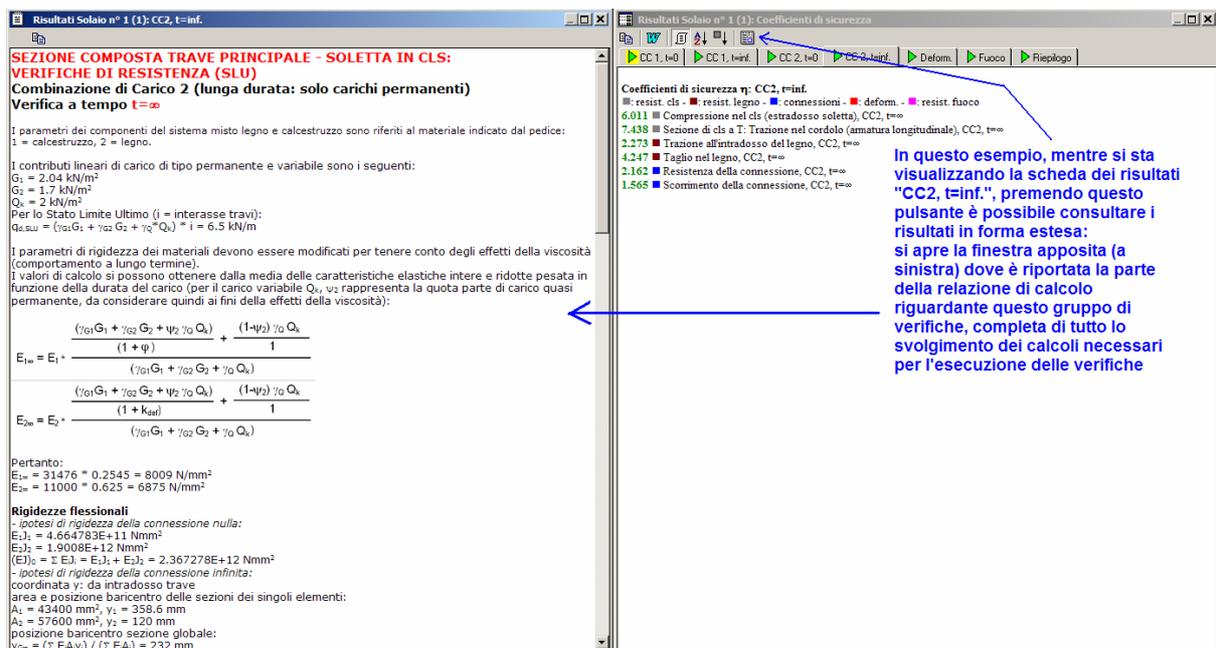


Fig. B.7.2. Risultati in forma estesa

Nota bene La scheda Riepilogo, cui corrisponde ad un elenco completo dei calcoli svolti, non apre un file di verifica esteso, ma rimanda alla creazione della Relazione di Calcolo completa (finestra Progetto, menu File, Stampa). I risultati in forma estesa sono quindi corrispondenti ai vari singoli gruppi (cioè a tutte le altre schede della finestra Risultati). ■

Nella barra degli strumenti della finestra Risultati è disponibile il pulsante di comando: (elaborazione files rtf) avente lo stesso significato dell'analogo comando della finestra Progetto: esso apre cioè direttamente il file di relazione avente estensione rtf posto nella cartella di output del progetto corrente (\Aedes2012\Slc\Progetti\NomeProgetto\Output). Il comando può non avere effetto qualora l'associazione dell'estensione dei files a Windows non sia stata eseguita, oppure non sia attivabile a causa di protezioni o impostazioni interne del sistema operativo. In tal caso, i files potranno essere comunque gestiti direttamente nella cartella di output del progetto.

B.8. GRAFICA

Le opzioni grafiche di SLC consentono la rappresentazione dei dati relativi al solaio corrente, aggiornati interattivamente con le modifiche effettuate in input. I tipi di disegno che possono essere eseguiti sono illustrati nelle immagini seguenti.

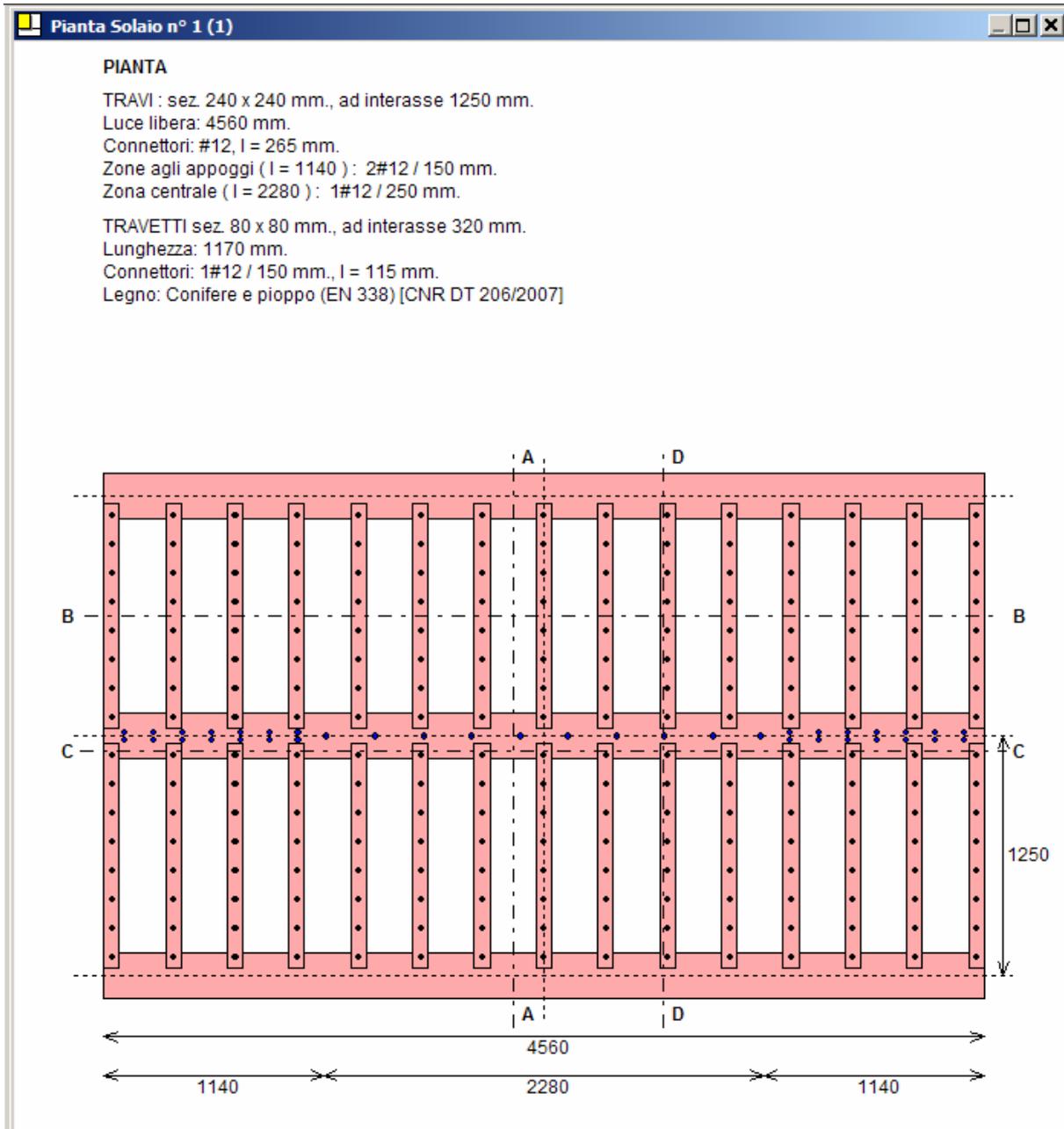


Fig. B.8.1. Grafica: Pianta del solaio

- **Pianta** (fig. B.8.1). Questo disegno rappresenta tre 'travi' principali, di cui: la centrale è la trave principale analizzata; le due laterali sono disegnate per rappresentare l'interasse delle travi principali. Se non presenti (ad esempio perché la trave considerata è di bordo o è unica nella maglia di solaio analizzata), possono idealmente pensarsi coincidenti con elementi portanti perimetrali (ad es. pareti in muratura parallele alla trave principale, sulle quali si innestano i travetti secondari).

La Pianta contiene la disposizione dei connettori in pianta, rappresentati sulla trave principale centrale e su tutti i travetti che si appoggiano sulla trave principale medesima.

Nella pianta sono simbolicamente riportate le linee di sezione che generano le altre quattro rappresentazioni grafiche disponibili.

- **Sezione A-A** (fig. B.8.2): effettuata ortogonalmente alla trave principale in corrispondenza di uno spazio tra due travetti successivi, rappresenta la **Sezione della Trave** principale:

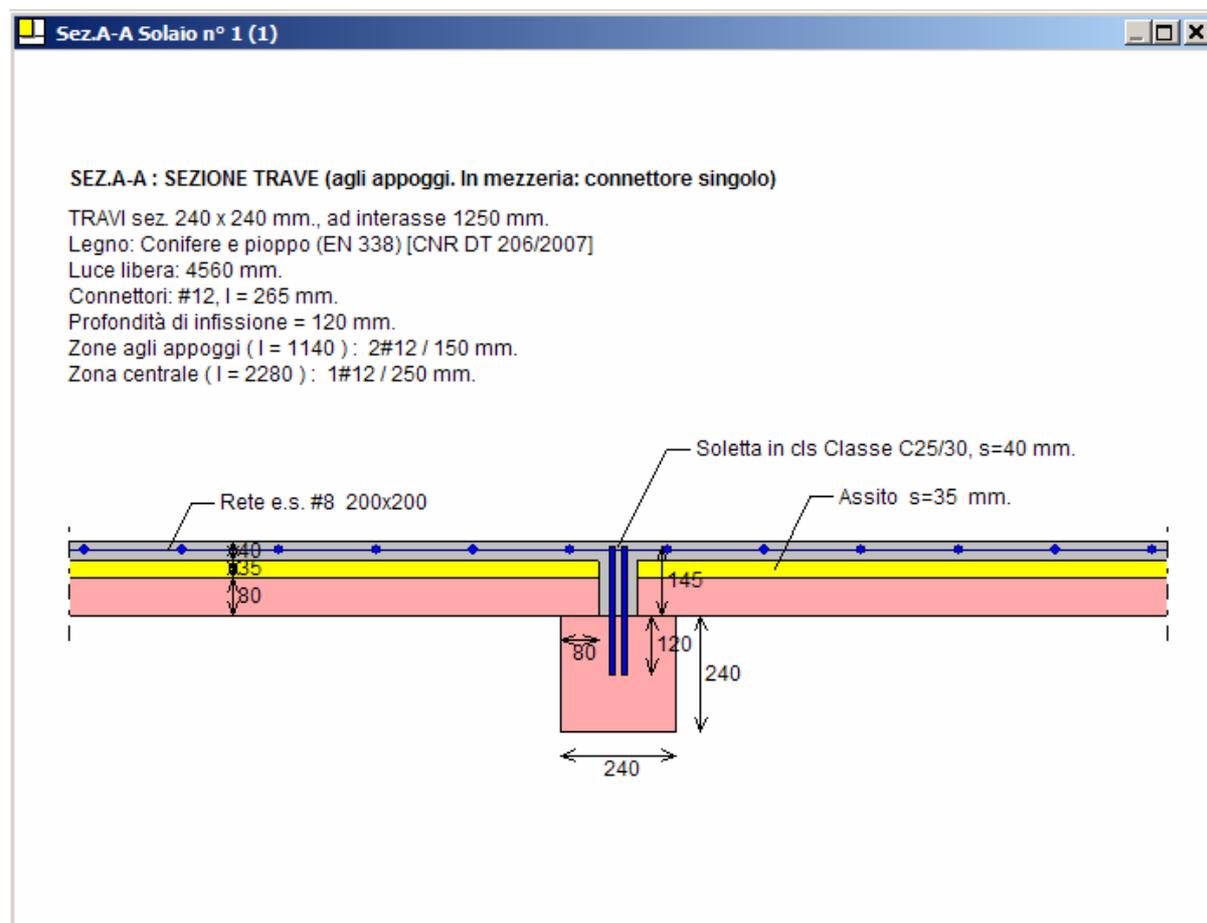


Fig. B.8.2. Grafica: Sezione A-A (sezione della trave principale)

- **Sezione B-B** (fig. B.8.3): effettuata ortogonalmente ai travetti in corrispondenza di uno spazio tra due travi principali successive, è utilizzata per rappresentare la **Sezione del Travetto**:

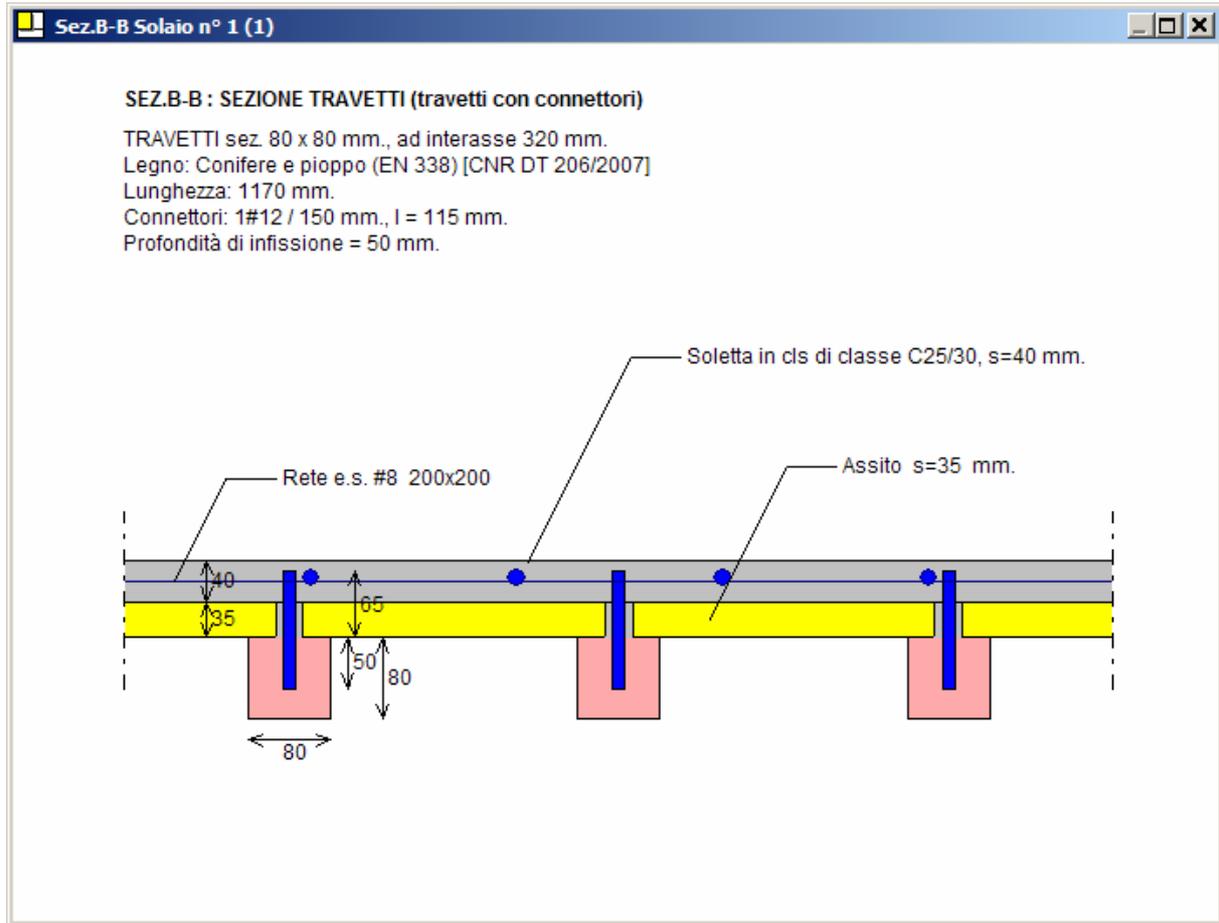


Fig. B.8.3. Grafica: Sezione B-B (sezione del travetto)

- **Sezione C-C** (fig. B.8.4): effettuata ortogonalmente ai travetti in corrispondenza della trave principale, rappresenta lo sviluppo longitudinale della trave contenente la disposizione dei connettori in vista laterale (**Prospetto della Trave**):

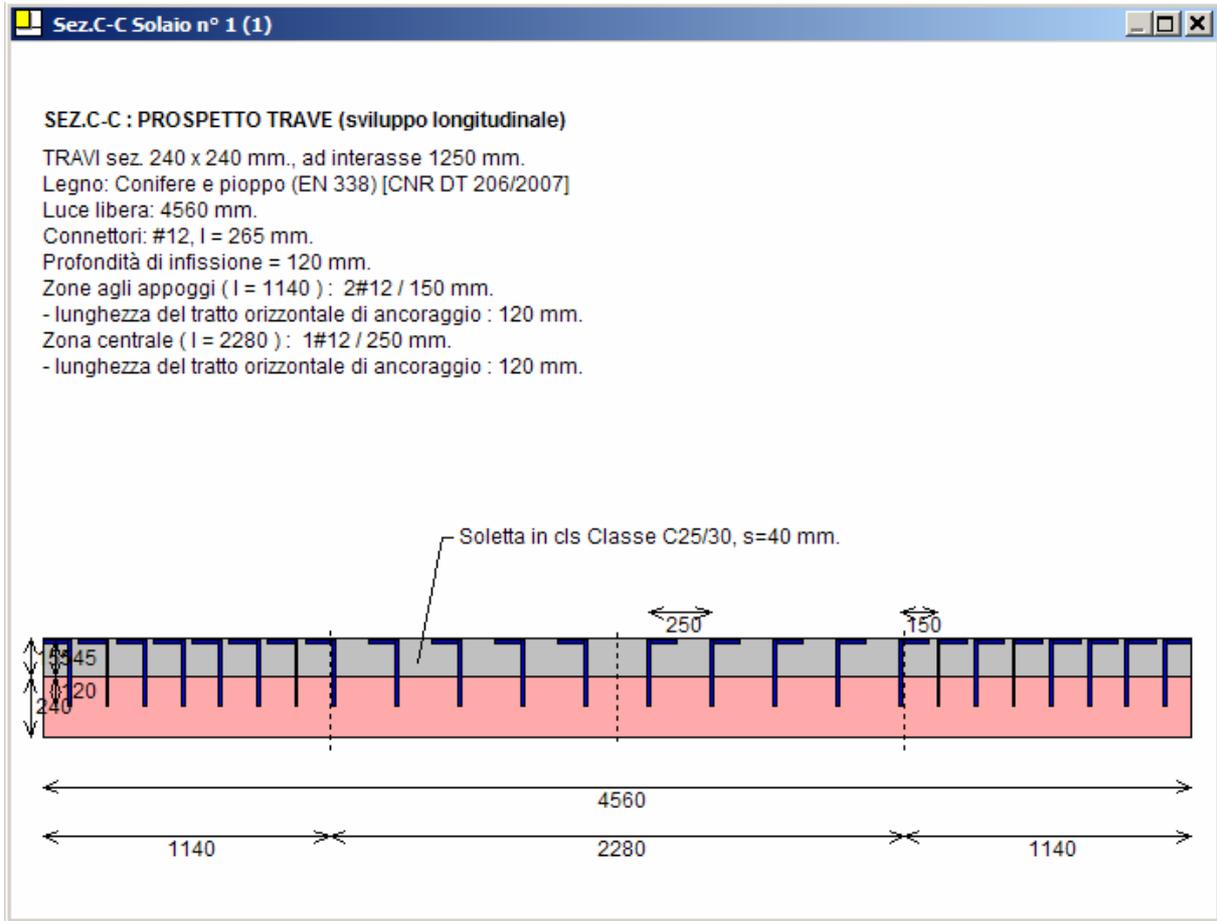


Fig. B.8.4. Grafica: Sezione C-C: Prospetto Trave

- **Sezione D-D** (fig. B.8.5): effettuata ortogonalmente alla trave principale in corrispondenza di un travetto, è utilizzata per rappresentare lo sviluppo longitudinale del travetto contenente la disposizione dei connettori in vista laterale (**Prospetto del Travetto**):

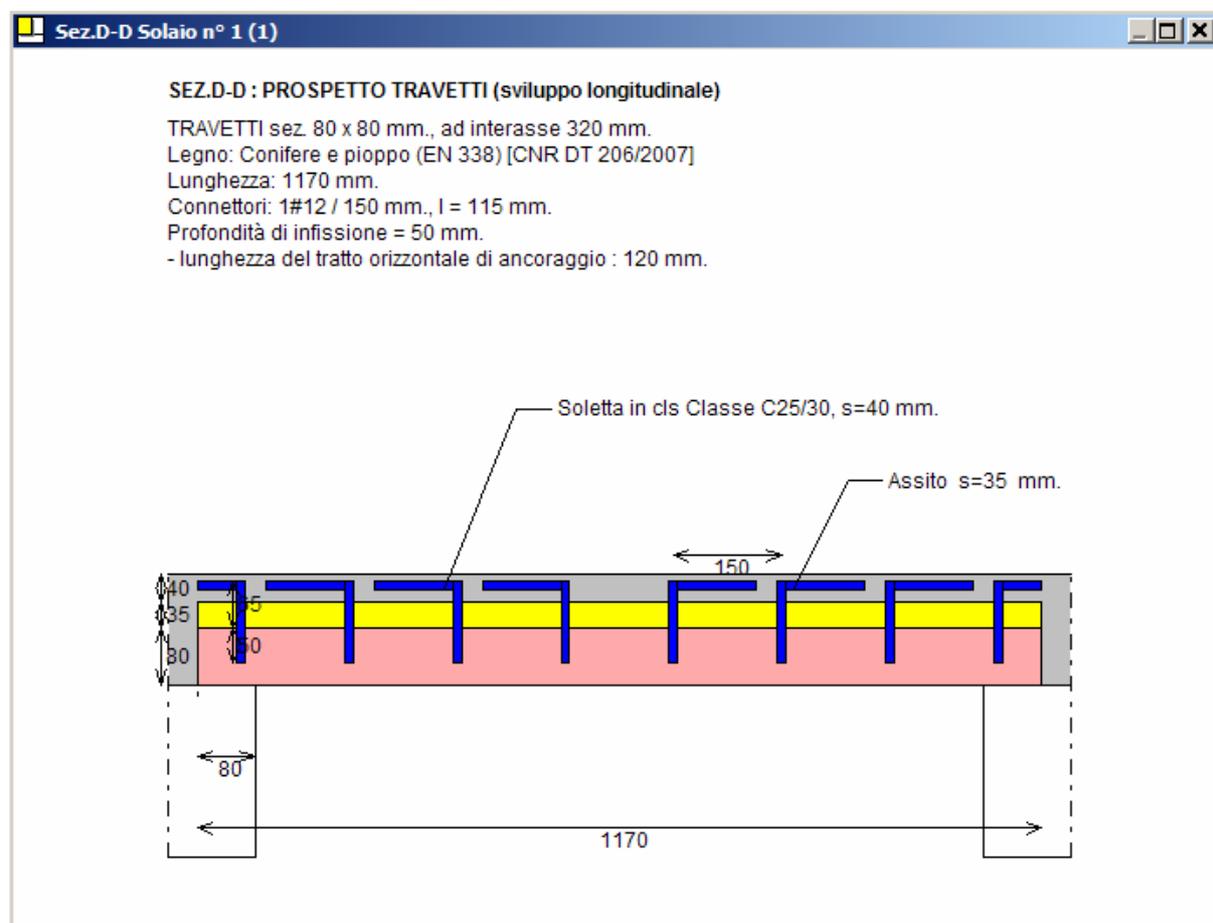


Fig. B.8.5. Grafica: Sezione D-D: Prospetto Travetto

Sezione e prospetto relativi ai travetti (B-B, fig. B.8.3, e D-D, fig. B.8.5) sono disponibili solo se l'orditura del solaio è doppia; in tali disegni, inoltre, i connettori saranno presenti ovviamente solo se l'orditura del solaio corrente è doppia e con travetti muniti di connettori.

B.8.1. Menu OPZIONI

I comandi del menu Opzioni consentono la selezione della rappresentazione grafica desiderata, in alternativa all'uso dei pulsanti grafici della barra degli strumenti.

A-A: Sezione Trave [Barra degli Strumenti: ] = Determina la rappresentazione grafica della Sezione della Trave, di cui un esempio è riportato in fig. B.8.2.

B-B: Sezione Travetto [Barra degli Strumenti: ] = Determina la rappresentazione grafica della Sezione del Travetto, di cui un esempio è riportato in fig. B.8.3.

C-C: Prospetto Trave [Barra degli Strumenti: ] = Determina la rappresentazione grafica del Prospetto della Trave (sviluppo longitudinale della trave contenente la disposizione dei connettori in vista laterale; un esempio è riportato in fig. B.8.4).

D-D: Prospetto Travetto [Barra degli Strumenti: ] = Determina la rappresentazione grafica del Prospetto del Travetto (sviluppo longitudinale del travetto contenente la disposizione dei connettori in vista laterale; un esempio è riportato in fig. B.8.5).

Pianta [Barra degli Strumenti: ] = Determina la rappresentazione grafica della Pianta del solaio corrente, di cui un esempio è riportato in fig. B.8.1.

B.8.2. Menu IMMAGINE

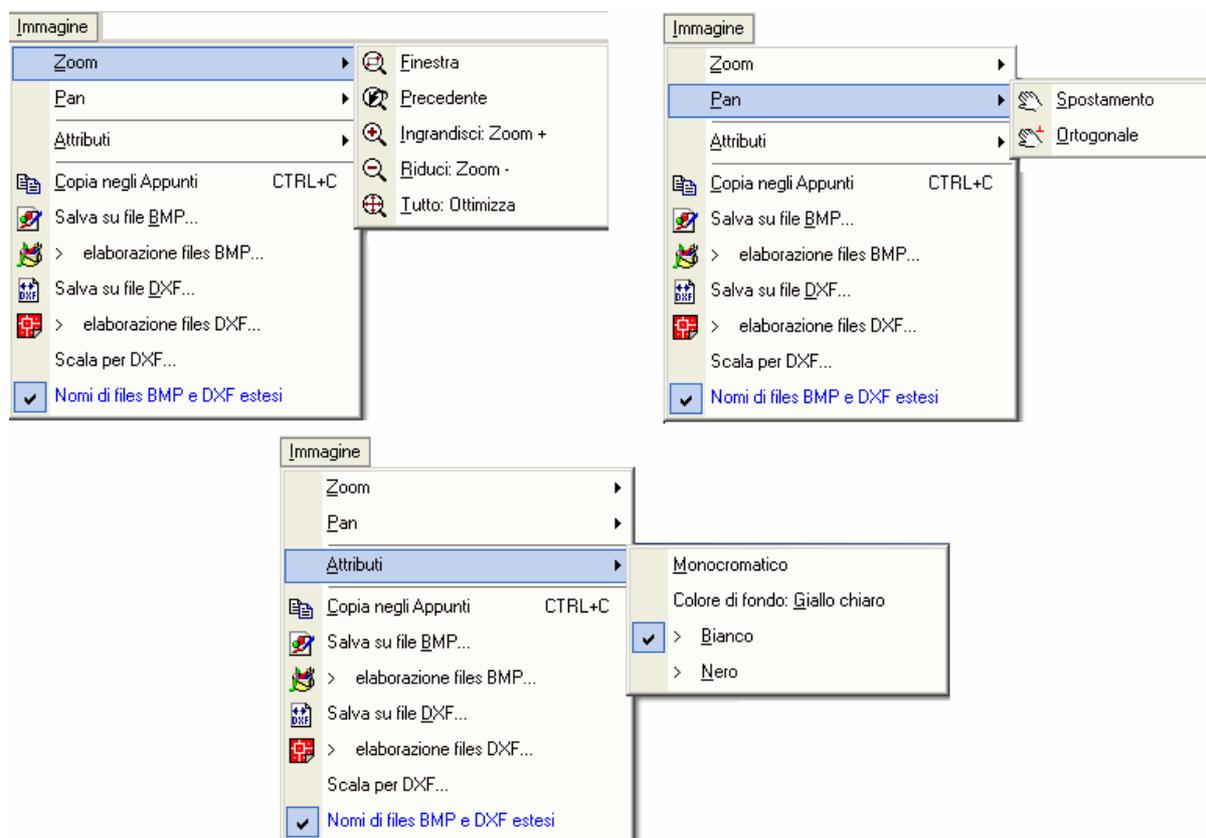


Fig. B.8.6. Finestra Grafica: menu Immagine

I comandi del menu Immagine provvedono alla **gestione dell'immagine** (Zoom, Pan, ecc.).

Tutti i disegni (dati e risultati) caratterizzati dai parametri correnti, **sono esportabili su file dxf** per una successiva rielaborazione da programmi di CAD. E' inoltre possibile specificare la scala dei files dxf in output.

Zoom Finestra = Consente l'ingrandimento del disegno visualizzato nell'Immagine del Progetto, attraverso la definizione di una finestra rettangolare. Per eseguire tale operazione:

- scegliere questo comando,
- posizionare il puntatore del mouse all'interno della cornice dell'Immagine del Progetto nel punto che costituirà il vertice superiore sinistro della finestra di zoom,
- premere il pulsante sinistro del mouse
- e tenendolo premuto trascinare il mouse costruendo la finestra di zoom,
- rilasciare il pulsante sinistro del mouse quando la finestra ha assunto le dimensioni desiderate.

Zoom Precedente = Ritorna alla visualizzazione precedente.

Ingrandisci (Zoom +), Riduci (Zoom -) = Ingrandisce o riduce le dimensioni del disegno visualizzato, secondo la percentuale del 10%, considerando come punto fisso il punto centrale della visualizzazione corrente.

Zoom Tutto: Ottimizza = Mostra la visualizzazione ottimale del disegno, adattandolo nel modo migliore possibile alle dimensioni della finestra grafica.

Pan = Consente la visualizzazione di diverse porzioni del disegno, senza cambiarne l'ingrandimento. In questo modo si possono vedere quei dettagli che non rientravano nello schermo prima di dare il comando

Pan, e più in generale si può spostare il disegno all'interno dell'Immagine del Progetto. Questo comando richiede la definizione di un vettore di spostamento. Per eseguire tale operazione:

- scegliere questo comando,
- posizionare il puntatore del mouse all'interno della cornice dell'Immagine del Progetto nel punto di inizio del vettore di spostamento,
- premere il pulsante sinistro del mouse
- e tenendolo premuto trascinare il mouse costruendo il vettore,
- rilasciare il pulsante sinistro del mouse quando il vettore corrisponde allo spostamento desiderato.

Il vettore di spostamento specifica come il disegno deve spostarsi rispetto allo schermo.

Nel caso che '**ortogonale**' sia attivato, lo spostamento avverrà in direzione orizzontale o verticale.

Attributi = Apre un sottomenu, nel quale vari comandi di visualizzazione permettono la gestione degli attributi dell'immagine:

Monocromatico, Colore di fondo = Significato evidente. Per semplificare la stampa, si consiglia di utilizzare il colore di fondo Bianco per il salvataggio dell'immagine su file bitmap ai fini dell'importazione dell'immagine stessa nella Relazione di Calcolo.

Copia negli Appunti = Pone nella memoria grafica di Windows l'immagine della finestra grafica corrente. Questo comando è utile per rapide operazioni di Copia e Incolla volte ad esportare immagini in altri programmi (ad es. Word, Paint), senza l'obbligo di salvare l'immagine preventivamente su file BMP.

Salva su file BMP... = Crea un file grafico, di estensione BMP, nella sottocartella:

\Aedes2012\SLc\NomeProgetto\Output

che può essere aperto, visualizzato e modificato in un qualunque programma di disegno in grado di importare files nel formato bitmap (es. Paint). Il disegno bitmap è un particolare tipo di immagine composta da una serie di punti e non da vettori; esso, pertanto, non può essere ridimensionato in scala. Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file (sigla identificativa del disegno) che comunque l'utente può variare a piacere.

Salva su file dxf... = Crea un file grafico, di estensione dxf, nella sottocartella:

\Aedes2012\SLc\NomeProgetto\Output

che può essere aperto da un qualunque programma di CAD in grado di importare files nel formato dxf (es. AutoCAD). Il disegno importato si presenta, all'interno del programma di CAD, in formato vettoriale, ovvero composto da entità geometriche (linee, cerchi, archi, testi, ecc.) che lo rendono ridimensionabile in scala. Con questo metodo vengono normalmente editati i disegni tecnici.

Il file dxf prodotto si riferisce al disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva.

Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file che comunque l'utente può variare a piacere (ad esempio, per i dati della Sezione A-A del solaio i-esimo, SLC propone: Sez-AAi.dxf).

I files dxf in output possono essere richiamati per visualizzazione ed eventuali modifiche e/o integrazioni dai programmi di CAD tramite gli opportuni comandi; ad esempio, in AutoCAD il comando DXFIN consente l'importazione dei disegni archiviati sotto forma di file dxf.

Tutte le rappresentazioni grafiche di SLC sono esportabili su CAD via files dxf di output.

Nei vari disegni prodotti, SLC utilizza i seguenti layers:

GEOMETRIA = entità di disegno inerenti la geometria del solaio;

QUOTE = quotature a corredo del disegno;

RETINI = retinature a corredo del disegno;

TESTI = testi a corredo del disegno;

VARIE = entità varie a corredo del disegno.

Per quanto riguarda i **colori su file dxf in output**, questi sono predisposti in modo da corrispondere a quelli visualizzati da SLC. Comunque, le corrispondenze possono essere corrette all'interno del file ColorCad.txt, utilizzando i codici numerici per i colori convenzionali idonei al particolare programma di CAD utilizzato. Alcune possibili combinazioni sono quelle di ColorCad.001 (uguale a ColorCad.txt per preimpostazione) e ColorCad.002.

Scala per dxf... = Richiede la scala per generare il file dxf di output.

B.9. FINESTRA RELAZIONE

La finestra Relazione consente la visualizzazione della Relazione di calcolo precedentemente elaborata usando il comando Stampa del menu File della finestra Progetto.

In questo modo la Relazione può essere gestita come finestra interna di SLC senza necessità di lanciare un software esterno, tipo Word. In ogni caso, per stamparne il contenuto o arricchirne il testo ad esempio inserendo figure, occorre utilizzare un word-processor, ad esempio Word.

La relazione di calcolo visualizzabile deve essere un file rtf posto nella sottocartella:

\Aedes2012\Slc\NomeProgetto\Output

dove vengono collocati tutti i files grafici (bmp, dxf) e di testo (rtf) prodotti da SLC per il Progetto corrente.

B.9.1. Menu FILE

Apri relazione... = Apre una finestra di dialogo dove è possibile specificare quale relazione visualizzare nella finestra Relazione. Le relazioni devono essere files rtf posti in \Aedes2012\Slc\NomeProgetto\Output Poiché quindi la relazione è selezionabile, possono essere state elaborate - per il Progetto corrente - più relazioni, in modo da confrontarne il contenuto attraverso la loro visualizzazione.

Salva relazione = Salva la relazione corrente. Questo comando può essere eseguito dopo aver modificato il testo della Relazione visualizzata nella finestra.

Salva relazione con nome... = Apre una finestra di dialogo, dove, dopo modifiche del testo, la relazione correntemente visualizzata può essere salvata con altro nome, in modo da conservare il testo precedente.

B.10. FINESTRA GALLERIA

La finestra Galleria (fig. B.10.1) viene aperta dal pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra Progetto, o equivalentemente dall'apposito comando del menu Opzioni della finestra Progetto. La finestra consente la comoda visualizzazione di tutte le immagini associate al Progetto; esse vengono caricate da i files bitmap (estensione *.bmp*) presenti nella cartella: `\Aedes2012\Slc\Progetti\NomeProgetto\Output` dove NomeProgetto indica il progetto di cui si visualizzano le immagini.

Le immagini possono essere scorse a piacere, attraverso gli opportuni tasti di comando descritti nel seguito, oppure automaticamente, tramite il comando di Sequenza Automatica che anima la finestra, mostrando i disegni uno dopo l'altro secondo l'intervallo di tempo desiderato. Con un solo comando è così possibile visualizzare tutte le rappresentazioni grafiche fino a quel momento salvate per il Progetto corrente.

La finestra Galleria ha in realtà una funzione più ampia rispetto alla semplice visualizzazione delle immagini associate al progetto corrente: in essa infatti possono essere aperte le immagini (precedentemente elaborate) di qualunque progetto, anche distinto dal progetto corrente. Questa opportunità permette ad esempio il confronto diretto fra due strutture distinte, quella attualmente in linea come progetto corrente di SLC, e quella le cui immagini sono mostrate nella finestra Galleria. Da opportune caselle di riepilogo può essere scelto sia il nome del Progetto di cui si vogliono visualizzare le immagini, sia la particolare immagine (fra quelle disponibili) che si vuole effettivamente visualizzare nella Galleria.

Le immagini della finestra Galleria, diversamente dalla finestra Grafica, sono immagini bitmap e quindi 'fisse': esse non possono essere ridimensionate; anche se la finestra Galleria viene ingrandita, sono sempre mostrate con le loro dimensioni reali. Per visualizzare immagini a scale diverse, magari ingrandite al fine di visualizzare un maggior numero di dettagli nel disegno, occorre ridimensionare adeguatamente le rappresentazioni grafiche nella finestra Grafica prima di generare le bitmap. Quando la bitmap eccede le dimensioni fisiche della finestra Galleria, opportune barre di scorrimento consentono comunque la visualizzazione di ogni parte dell'immagine corrente.

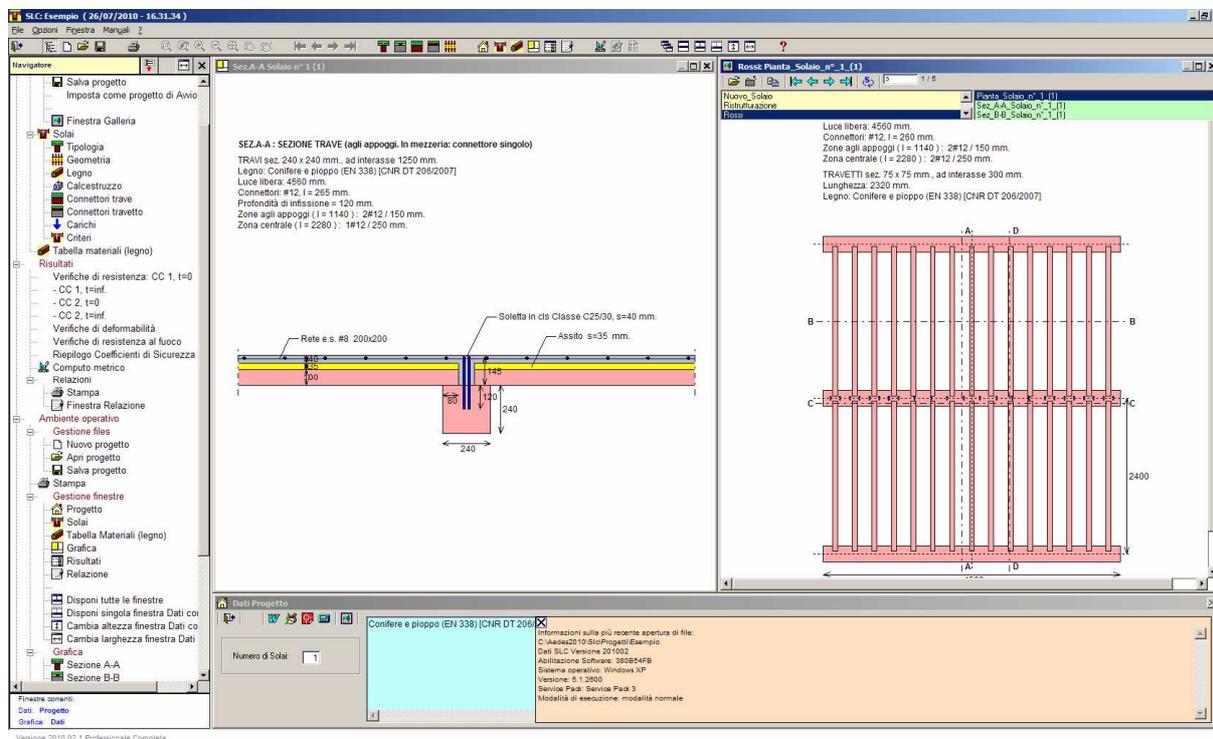


Fig. B.10.1. Finestra Galleria in ambiente SLC

Barra degli strumenti



 **Apri Elenchi Progetti e Immagini** = visualizza le caselle di riepilogo dove sono mostrati in elenco a sinistra i Progetti disponibili, ed in elenco a destra le immagini disponibili per il Progetto selezionato. E' sufficiente fare clic sul nome del progetto e sul nome del file bitmap dell'immagine, per visualizzarla immediatamente. Un esempio è riportato in fig. B.10.1, dove la finestra Galleria è visualizzata, in ambiente SLC, insieme alla finestra Grafica, alla finestra Progetto e al Navigatore. Si comprende quindi come l'accesso ad una qualunque immagine salvata di un qualunque progetto elaborato con SLC, è un'operazione immediata. Si osservi inoltre che nell'elenco delle immagini compaiono tutti i files bmp presenti in:

Aedes2012\Slc\Progetti\ NomeEdificioSelezionato\Output,
quindi anche gli eventuali files elaborati dall'Utente esternamente a SLC (per esempio, possono essere state generate e modificate altre bitmap contenenti commenti o annotazioni: fotografie, immagini architettoniche, particolari costruttivi, ecc.).

Qualora per un dato Progetto nessuna bitmap sia disponibile, nella finestra Galleria viene mostrato il messaggio riportato in fig. B.10.2:



Non è stata rilevata alcuna immagine associata al Progetto selezionato.

Se si desidera visualizzare nella Galleria immagini associate al Progetto selezionato, si devono salvare le elaborazioni grafiche di tale Progetto su bitmap (file BMP)

Fig. B.10.2. Assenza di immagini per il progetto correntemente selezionato

 **Chiudi Elenchi** = nasconde le caselle di riepilogo contenente i nomi dei Progetti e delle corrispondenti bitmap disponibili. Chiusi gli elenchi, non è possibile variare il progetto di cui sono mostrate le immagini nella Galleria, tuttavia è possibile scorrerne a piacere le immagini disponibili attraverso gli appositi pulsanti, descritti qui di seguito.

 **Copia negli Appunti** = copia l'immagine corrente negli Appunti, ad esempio al fine di incollarla in un documento di Word contenente una relazione.

 **Prima Immagine**,  **Immagine Precedente**,  **Immagine Successiva**,  **Ultima Immagine** = tasti per lo scorrimento delle immagini. E' così possibile visualizzare le diverse immagini disponibili per il progetto correntemente selezionato. Un indicatore sulla destra della barra degli strumenti mostra il numero attuale dell'immagine nell'elenco rilevato; per esempio, in fig. B.10.1, l'immagine mostrata è la prima su un totale di 5 disponibili: 1/5.

 **Sequenza automatica** = questo comando ha l'effetto di iniziare la visualizzazione automatica delle immagini, mostrate in sequenza una dopo l'altra (dopo l'ultima, la sequenza riprende dalla prima immagine). Il tempo di visualizzazione di ogni singola immagine (intervallo) è specificato, in secondi, nella casella di testo immediatamente a lato, sulla destra; l'intervallo è modificabile a piacere. Un tempo più lungo consente una comoda visualizzazione di tutta la sequenza, rendendo possibile la consultazione approfondita dell'immagine. Attivando per esempio la sequenza automatica nella configurazione di fig. B.10.1, le 5 immagini disponibili saranno mostrare in successione ad intervalli di 3 secondi. Per disattivare la sequenza automatica, premere nuovamente il pulsante.

B.11. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO

Per apprendere l'utilizzo di SLC: la migliore modalità di apprendimento all'uso del programma avviene leggendo e ripercorrendo con attenzione l'esempio guidato illustrato nella Teoria (parte A del Manuale) e consultando la parte C del Manuale (Esempi applicativi).

La seguente sezione (Come fare per...) intende dare una serie di risposte alle più frequenti domande inoltrate dagli Utenti. La AEDES Software, con il proprio Servizio di Supporto per gli Utenti - svolto nell'ambito del Servizio di Assistenza - aggiorna periodicamente la pagina FAQ (=domande e risposte più frequenti) nel proprio sito Internet **www.aedes.it**

B.11.1. COME FARE PER...

B.11.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA

Qualunque schermata di Windows, relativa a qualsiasi programma utilizzato, può essere salvata come immagine bitmap per poi essere riutilizzata, ad esempio, per relazioni (ad es. in Word) o modifiche delle figure (ad es. in Paint).

Per salvare in una bitmap la schermata, si utilizzano i comandi del sistema operativo Windows:

ALT+STAMP pone in memoria solo la finestra attiva (quella correntemente in evidenza);

STAMP pone in memoria tutta la schermata di Windows.

Subito dopo è possibile incollare l'immagine ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

CTRL+V o **SHIFT+INS**

B.11.1.2. INTRODURRE NUOVI MATERIALI E ASSEGNARLI AI SOLAI

I nuovi materiali possono essere introdotti nella tabella materiali. Si tenga presente che pur cambiando i parametri nella **Tabella Materiali**, non cambiano i parametri corrispondenti nei Dati Solai: il collegamento interattivo fra le due finestre, infatti, non esiste.

La Tabella Materiali serve solo per definire i materiali; una volta che questi sono richiamati dai dati sui materiali dei Dati Solai, nel seguito sono i valori dei Dati Solai stessi che comandano, e che quindi vanno modificati direttamente; in alternativa, si richiami nuovamente un altro materiale.

Inserito un nuovo materiale, chiudere la finestra Tabella Materiali, archiviare (Salva) e riaprire la finestra Solai: a questo punto il nuovo materiale può essere letto dalla Tabella Materiali per richiamarlo nei Dati Solai.

B.11.1.3. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLE FINESTRE GRAFICHE

Per inserire nella Relazione di calcolo le figure, occorre: aver precedentemente creato la relazione su file rtf, ed averla aperta ad esempio con Word (Word è quindi aperto insieme a SLC).

In SLC, facendo clic sulla finestra grafica Dati (l'unica contenente disegni; la finestra grafica Risultati infatti gestisce solo testo), la si attiva (bordo evidenziato). Scegliere il comando 'Copia negli Appunti' (CTRL+C) dal menu Immagine; il comando pone nella memoria grafica di Windows l'immagine al momento visualizzata.

Per incollarla nella relazione: all'interno di Word, scorrere il testo fino alla posizione desiderata, e quindi eseguire il comando Incolla del menu Modifica di Word.

In alternativa, le immagini di SLC possono essere salvate su bitmap, generando files di archivio grafico bmp in \Aedes2012\Slc\NomeProgetto\Output, e quindi, magari in un secondo tempo, richiamate da Word per l'inserimento nella relazione.

B.11.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

B.11.2.1. NELLA STAMPA NON COMPAIONO TUTTI I SOLAI

Quando si apre un progetto già archiviato, si attiva automaticamente la finestra Solai, mostrando il primo solaio, del quale vengono subito aggiornati i risultati interattivamente.

Se nell'archivio sono presenti più Solai (ad esempio: 3), qualora si esegua subito la seguente operazione:

- comando Stampa (o uso del pulsante grafico della Barra degli Strumenti: ) ,

viene evidenziato un messaggio di avviso col seguente contenuto:

"Risultano non calcolati i seguenti Solai: 2 3

Per questi elementi non sono disponibili i Risultati dell'Analisi:

occorre prima visualizzarli nella finestra Solai

(il calcolo viene svolto interattivamente con la visualizzazione)."

Il significato è evidente: infatti, **in SLC il calcolo dei solai viene eseguito interattivamente** durante la visualizzazione della finestra Dati Solai. Nel caso di più solai, saranno disponibili per la stampa soltanto i risultati degli elementi visualizzati: quindi, per ottenere una stampa completa, è necessario aprire la finestra Solai, e scorrere tutti gli elementi del Progetto corrente (usando i comandi del menu Sposta oppure i pulsanti della Barra degli Strumenti:  Precedente,  Successivo).

B.11.2.2. FINESTRE SOVRAPPOSTE

Spostando le finestre di SLC sul video, con operazioni tipiche di Windows, è possibile creare schermate caotiche. In tal caso, si consiglia di utilizzare il comando 'Disponi' del menu Finestra, che ottimizza la disposizione delle finestre di SLC, secondo le modalità preimpostate più convenienti per la gestione del programma.

In alto, vengono affiancate le due finestre Grafica (a sinistra) e Risultati (a destra); in basso la finestra di testo corrente (le altre eventualmente aperte restano sotto la finestra attiva). In pratica, si ripristina la disposizione di finestre presentata all'avvio da SLC.

In ogni momento, quindi, anche dopo aver spostato e/o ridimensionato alcune finestre, è possibile richiamare la disposizione ottimale.

B.11.2.3. IMPOSSIBILE INSTALLARE SLC IN ALTRE CARTELLE

SLC richiede la cartella obbligatoria: \Aedes2012\Slc.

Installazioni diverse produrranno incompatibilità di utilizzo e impossibilità di archiviazione dei files.

B.11.2.4. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI SLC

SLC non prevede tale possibilità. Quindi, per esaminare più strutture non si può contemporaneamente aprire più di un SLC. Occorre cambiare la struttura all'interno del programma, richiamando via via il Progetto desiderato.

B.12. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO

B.12.1. COME FARE PER...

B.12.1.1. ANALIZZARE MAGLIE DI SOLAIO IRREGOLARI

Nel caso di irregolarità della maglia di solaio (determinata ad esempio da murature perimetrali non ortogonali tra loro), le travi principali e l'eventuale orditura secondaria possono magari avere interasse costante, ma luci diverse. Poiché in SLC, per uno stesso edificio, si possono inserire tanti solai quanti si vuole, è possibile procedere in più modi:

- limitarsi ad analizzare le travi a luce maggiore o più cariche, predisponendo poi anche per le altre lo stesso tipo di soluzione progettuale di struttura composta in legno e calcestruzzo;
- analizzare tutte le travi di luce o carico significativamente diversi, come se appartenessero ad altrettante distinte maglie di solaio (quindi, si avrà un 'progetto' con un numero di solai maggiore delle maglie effettivamente presenti).

L'output su file dxf della pianta prevede uno schema preimpostato di pianta 'regolare'; utilizzando i comandi tipici dei programmi di CAD è possibile adattare rapidamente l'elaborato grafico ottenuto alla reale pianta del solaio considerato.

B.12.1.2. ANALIZZARE MAGLIE DI SOLAIO CON UNA SOLA TRAVE PRINCIPALE

Fra i dati in input, per tutti i tipi di orditura vi è l'interasse delle travi principali. Nel caso di trave principale laterale (senza cioè altre travi accanto) si può assumere come interasse la distanza ad esempio dalla muratura perimetrale parallela all'asse della trave.

Il disegno dxf prodotto in output da SLC per la Pianta (vd. fig. B.8.1) rappresenta tre 'travi' principali, di cui: la centrale è la trave principale analizzata; le due laterali sono disegnate per rappresentare l'interasse delle travi principali. Se non presenti (ad esempio, appunto, perché la trave considerata è di bordo o è unica nella maglia di solaio analizzata), possono idealmente pensarsi coincidenti con elementi portanti perimetrali (ad es. pareti in muratura parallele alla trave principale, sulle quali si innestano i travetti secondari).

In ogni caso, è immediato - utilizzando i comandi tipici del programma di CAD - 'adattare' alla reale maglia di solaio considerata l'elaborato grafico prodotto da SLC.

C. ESEMPI APPLICATIVI e PROCEDURE DI VALIDAZIONE

C.1. ESEMPIO DI RIFERIMENTO: VALIDAZIONE DI SLC

SLC viene applicato all'esempio svolto nella parte A (Teoria), dove è stato già processato con calcoli svolti manualmente. Il confronto fra i parametri lì calcolati e i risultati dell'elaborazione informatica con SLC viene svolto definendo, per ogni coefficiente di sicurezza, lo scarto in %.

La non coincidenza esatta dei risultati dipende dagli arrotondamenti, che nei calcoli manuali vengono operati in varie fasi dell'elaborazione. Ad esempio, nella Teoria si è posto, per il coefficiente di viscosità del calcestruzzo:

$$\varphi = 2.93 \approx 3.00$$

mentre nell'elaborazione automatica di SLC viene utilizzato il valore preciso 2.93: ciò può comportare differenze (di ordine tuttavia trascurabile) sui risultati delle verifiche a lungo termine.

Come illustrato da quanto di seguito riportato, la validazione di SLC risulta confermata.

Peraltro, si tenga presente che in SLC non sono applicati algoritmi di calcolo soggetti a possibili errori di origine numerica: tutte le relazioni sono di tipo diretto, e quindi la discordanza con eventuali calcoli svolti manualmente è completamente dipendente dagli arrotondamenti considerati.

Il testo illustrato è stato ottenuto da SLC richiamando il solaio del progetto 'Esempio_1' (coincidente con il progetto Anonimo che per default viene aperto dalla sessione iniziale di SLC), e componendo la Relazione di calcolo con Dati e Risultati; al termine della Relazione è accluso il testo della scheda Riepilogo della finestra Risultati che contiene l'elenco di tutti i coefficienti di sicurezza considerati (qui riportati in ordine progressivo di elaborazione): è in corrispondenza di questo elenco che si indicano gli scarti percentuali.

Dati Solaio n° 1

Tipologia

Tipo di orditura: Doppia (travi e travetti), senza connessioni nei travetti

Assito: Interrotto

Geometria

Trave principale in legno:

Base della sezione: $b = 240$ mm

Altezza della sezione: $h = 240$ mm

Interasse tra le travi principali: $i = 1250$ mm

Luce di calcolo delle travi: $l = 4560$ mm

Travetti in legno (travi secondarie):

Base della sezione: $b = 80$ mm

Altezza della sezione: $h = 80$ mm

Lunghezza di appoggio sulla trave (per ognuno dei due estremi): $a = 80$ mm

Interasse tra i travetti: $i = 320$ mm

Luce di calcolo: $l = 1170$ mm

Soletta in calcestruzzo:

Spessore: $s = 40$ mm

Distanza tra soletta e trave (travetti + assito): $t = 115$ mm

Larghezza efficace della soletta: $b_{\text{eff}} = 855$ mm

Altri componenti:

- spessore: $s_a = 35$ mm

Isolante: spessore: $s_i = 0$ mm

Legno

Specie e classe di resistenza: Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007] C24

Classe di servizio: 1

Resistenza a flessione $f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t0k} = 14 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c0k} = 21 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a taglio $f_{vk} = 2.5 \text{ N/mm}^2$

Massa volumica $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ (Peso specifico = 3.5 kN/m^3)

Coefficiente parziale per le proprietà dei materiali: $\gamma_M = 1.5$

Le **classi di durata del carico** considerate sono due:

1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti): $k_{mod} = 0.6$

2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili): $k_{mod} = 0.8$

Le **resistenze di progetto** si distinguono fra i due casi di classi di durata del carico:

(trazione e compressione: parallele alla fibratura)

1) permanente: $k_{mod} / \gamma_M = 0.6/1.5 = 0.400$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{md} = 9.60 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 5.60 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 8.40 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 1.00 \text{ N/mm}^2$

2) media durata: $k_{mod} / \gamma_M = 0.8/1.5 = 0.533$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{md} = 12.80 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 7.47 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 11.20 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 1.33 \text{ N/mm}^2$

Moduli elastici:

Modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di taglio medio:

$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$

Viscosità:

$k_{def} = 0.6$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del legno per tenere conto degli effetti a lunga durata ($t=\infty$):

$1/(1+k_{def}) = 0.625$

Questo fattore di riduzione si applica anche alla rigidità della connessione per le verifiche a lungo termine.

Calcestruzzo

Peso specifico (=peso volumico) del calcestruzzo: 25 kN/m^3

Classe di resistenza: C25/30

Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$\alpha_{cc} = 0.85$

Coefficiente parziale di sicurezza: $\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione:

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$f_{cd} = 0.80 * 14.17 = 11.33 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{ctd} = 0.80 * 1.20 = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

$$\text{Modulo elastico } E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$$

Viscosità:

Tempo di messa in carico (termine della maturazione): 28 giorni

Umidità relativa dell'atmosfera: 55%

$$A_c = 40 * 855 \text{ mm}^2$$

$u = 855 \text{ mm}$, da cui: $h_0 = 80 \text{ mm}$

Coefficiente di viscosità: $\varphi = 2.93$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t = \infty$):

$$1 / (1 + \varphi) = 0.254$$

Connessione

Barre di armatura ad aderenza migliorata di tipo B450C (§11.3.2.1):

resistenza caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a rottura: $f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Travi principali

Diametro dei connettori: $\Phi = 12 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s_{min} = 150 \text{ mm}$ (agli appoggi), $s_{max} = 250 \text{ mm}$ in mezzzeria

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 120 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30 \text{ mm}$

Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 265 \text{ mm}$

Rigidezze:

K_{ser} (SLE) = 7857 N/mm

K_u (SLU) = 5238 N/mm

Resistenza:

$F_{v,Rk} = 12889 \text{ N}$

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1.14 \text{ mm}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 12889 / 1.5$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

permanente: $k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 5156 \text{ N}$

media durata: $k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 6874 \text{ N}$

Carichi

Carichi permanenti G_1

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G1} = 1.3$

Carichi permanenti non strutturali G_2

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G2} = 1.5$

Carichi variabili Q_k :

Ambiente ad uso residenziale

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\psi_2 = 0.3$$

Per SLU: $\gamma_Q = 1.5$

Limiti di deformabilità

Per la verifica della freccia f si considerano le seguenti limitazioni (l = luce della trave o del travetto):

- verifica a tempo 0: $f \leq (1/300) l$
- verifica a tempo ∞ : $f \leq (1/200) l$

Risultati Solaio n° 1

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi)

Verifica a tempo $t=0$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q * Q_k) * i = 10.25 \text{ kN/m}$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 1.83326E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 3.04128E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 4.874539E+12 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 358.6 \text{ mm}$$

$$A_2 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 283 \text{ mm}$$

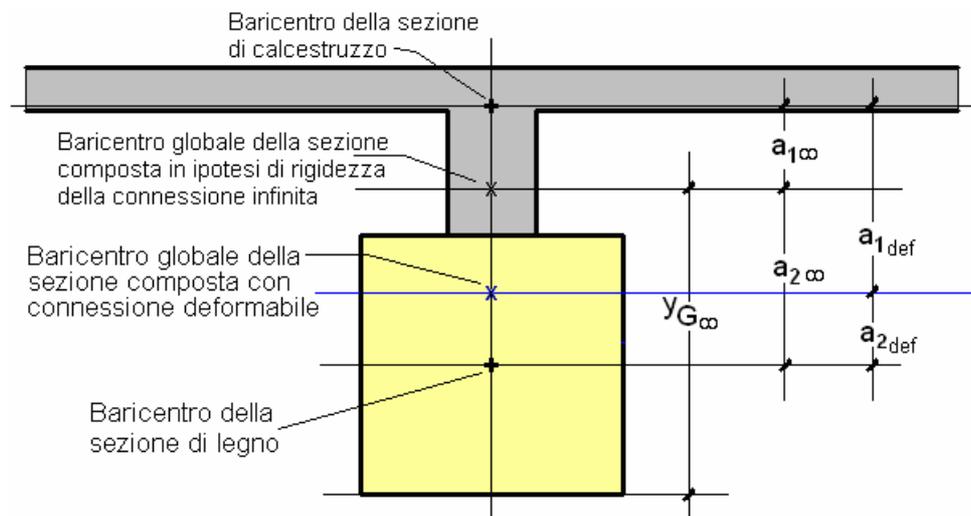
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 76 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 163 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 239 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.951027E+13 \text{ Nmm}^2$$

- *determinazione della rigidità efficace:*

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K = K_u = 5238 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.044$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 21 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 218 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 8.0073E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.13$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzzeria:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 2.66483E+07 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 23376 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] * M_d = 43701 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * M_d = 6101088 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 4.82 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{01} = 11.33/4.82 = \mathbf{2.350}$$

[η_{01} :CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -11.41 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}| / \sigma_{max,1}) = 46 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima (cioè il cordolo).

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

(caso di asse neutro che taglia il cordolo)

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{min,1}| * (h - x_c) / 2] * b = 49745 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 127 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale $2\Phi 12$ ($A_s=226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_{03} = 226/127 = \mathbf{1.779}$$

[η_{03} :CC 1, $t=0$, trazione armatura nel cordolo di cls]

Verifica a taglio

Nel cordolo della sezione di calcestruzzo non sono predisposte armature a taglio.

La verifica di resistenza a taglio deve essere condotta per combinazione rara, relativamente a calcestruzzo debolmente armato (§4.1.11.1):

$$q_d = (G_1 + G_2 + Q_k) * i = 7.17 \text{ kN/m}$$

$$V_d = q_d * l / 2 = 16359 \text{ N}$$

La tensione tangenziale resistente di progetto è pari a:

$$\tau_c = 0.25 f_{ctk} = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Il taglio di progetto per la sezione di calcestruzzo è pari a:

$$V_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * V_d = 3745 \text{ N}$$

Il braccio della coppia interna in condizioni fessurate vale:

$z \cong 0.9 d$, essendo d la distanza fra estradosso della soletta e baricentro delle armature longitudinali in intradosso al cordolo: $d = h - 20 - \Phi_{long}/2$ mm (avendo supposto copriferro netto 20 mm)

$$z = 116 \text{ mm}$$

La tensione tangenziale dovuta alla sollecitazione di progetto vale:

$$\tau_1 = V_{1,d} / (z b_{cor}) = 0.4 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{04} = 0.45/0.4 = \mathbf{1.116}$$

[η_{04} : CC rara, $t=0$, taglio nel cordolo di cls non armato a taglio].

N.B.: nel caso in esame non viene definito il coefficiente di sicurezza η_{05} , corrispondente alla verifica di resistenza della staffatura a taglio, in questo caso assente]

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 43701 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 1.012138E+07 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 2304000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.76 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 4.39 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.44 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{06} = 1/0.44 = \mathbf{2.273}$$

[η_{06} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 141 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.32 \text{ N/mm}^2 < 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{07} = 1.33/0.32 = \mathbf{4.193}$$

[η_{07} : trave principale, CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE

Verifica di resistenza

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{\text{eq}}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 6708 \text{ N}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 3354 \text{ N}$

$$F_{v,Sd} = 3354 < F_{v,Rd} = 6874 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{08} = 6874/3354 = \mathbf{2.049}$$

[η_{08} : trave principale, CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,\text{lim}} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,\text{lim}}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 3354 / 5238 = 0.64 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{09} = 1.14/0.64 = \mathbf{1.780}$$

[η_{09} : trave principale, CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

TRAVETTO (solo LEGNO): VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

I travetti, costituenti l'orditura secondaria del solaio misto in legno e calcestruzzo, vengono verificati come elementi in legno semplice, in quanto il progetto non prevede connettori disposti lungo i travetti. Lo schema di calcolo è quello di trave appoggiata. Le verifiche di resistenza (SLU) si conducono per la combinazione di carico più gravosa: la (1), comprendente carichi permanenti e variabili, cui corrisponde il coefficiente $k_{\text{mod}}=0.8$ (classe di durata del carico: media); le verifiche sono invariate tra tempo 0 e tempo ∞ in quanto le caratteristiche elastiche ridotte (a tempo ∞) non influiscono sulle sollecitazioni e sulle resistenze di progetto, ma soltanto sulla deformazione (SLE).

Carichi

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Poiché si tratta di trave avente inclinazione α (definita dalla pendenza della copertura), nel seguito i carichi G_1 e G_2 sono da intendersi riferiti alla proiezione orizzontale, e quindi con valori ridefiniti dividendoli per $(\cos \alpha)$.

Combinazione di carico (1) (media durata: tutti i carichi)

Carico agente sul travetto:

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q*Q_k) * i = 2.62464 \text{ kN/m}$$

Flessione semplice retta

Parametri statici:

- area $A = 6400 \text{ mm}^2$

- modulo di resistenza $W = 85333 \text{ mm}^3$

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 449109 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 1535 \text{ N}$$

Resistenze di progetto:

$$f_{md} = 12.8 \text{ N/mm}^2, f_{vd} = 1.33 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione

$$\sigma_m = (M_d / W) = 5.26 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_m / f_{md}) = 0.41 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{80} = 1/0.41 = \mathbf{2.439}$$

[η_{80} : flessione nel travetto in solo legno, CC1]

Verifica di resistenza a taglio

$$\tau = (3/2) * V_d / A = 0.36 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{81} = 1.33/0.36 = \mathbf{3.706}$$

[η_{81} : taglio nel travetto in solo legno, CC1]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi)

Verifica a tempo $t = \infty$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:

1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo ($i =$ interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q*Q_k) * i = 10.25 \text{ kN/m}$$

I parametri di rigidità dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine).

I valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \varphi)} + \frac{(1 - \psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{2\infty} = E_2 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1 - \psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

Pertanto:

$$E_{1\infty} = 31476 * 0.4453 = 14017 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = 11000 * 0.721 = 7931 \text{ N/mm}^2$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 8.164223E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 2.192803E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 3.009225E+12 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y: da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 358.6 \text{ mm}$$

$$A_2 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 256 \text{ mm}$$

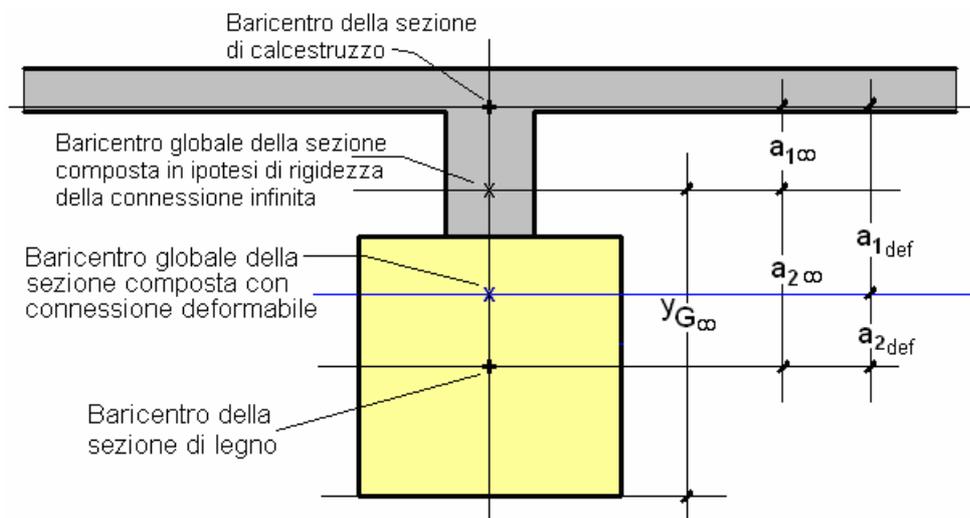
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 102 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 136 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 239 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 1.785924E+13 \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidezza efficace:

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno (0.721), viene applicato anche alla rigidezza della connessione:

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.721 * K_u = 3777 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.07$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 20 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 218 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 5.213021E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.15$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 2.66483E+07 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 23376 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 47221 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 4173446 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{\text{max},1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 3.7 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{10} = 11.33/3.7 = \mathbf{3.064}$$

[η_{10} :CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{\text{min},1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -7.41 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{\text{min},1}| / \sigma_{\text{max},1}) = 52 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima (cioè il cordolo).

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

(caso di asse neutro che taglia il cordolo)

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{\text{min},1}| * (h - x_c) / 2] * b = 30637 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 78 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale $2\Phi 12$ ($A_s = 226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_{12} = 226/78 = \mathbf{2.889}$$

[η_{12} :CC 1, $t=0$, trazione armatura nel cordolo di cls]

Verifica a taglio

Nel cordolo della sezione di calcestruzzo non sono predisposte armature a taglio.

La verifica di resistenza a taglio deve essere condotta per combinazione rara, relativamente a calcestruzzo debolmente armato (§4.1.11.1):

$$q_d = (G_1 + G_2 + Q_k) * i = 7.17 \text{ kN/m}$$

$$V_d = q_d * l / 2 = 16359 \text{ N}$$

La tensione tangenziale resistente di progetto è pari a:

$$\tau_c = 0.25 f_{ctk} = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Il taglio di progetto per la sezione di calcestruzzo è pari a:

$$V_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 2562 \text{ N}$$

Il braccio della coppia interna in condizioni fessurate vale:

$z \cong 0.9 d$, essendo d la distanza fra estradosso della soletta e baricentro delle armature longitudinali in intradosso al cordolo: $d = h - 20 - \Phi_{\text{long}}/2$ mm (avendo supposto copriferro netto 20 mm)

$$z = 116 \text{ mm}$$

La tensione tangenziale dovuta alla sollecitazione di progetto vale:

$$\tau_1 = V_{1,d} / (z b_{\text{cor}}) = 0.28 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{13} = 0.45/0.28 = \mathbf{1.631}$$

[η_{13} :CC rara, $t=0$, taglio nel cordolo di cls non armato a taglio].

N.B.: nel caso in esame non viene definito il coefficiente di sicurezza η_{14} , corrispondente alla verifica di resistenza della staffatura a taglio, in questo caso assente]

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 47221 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 1.120933E+07 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 2304000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.82 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 4.87 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.49 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{15} = 1/0.49 = \mathbf{2.041}$$

[η_{15} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_l = h_2/2 + a_2 = 140 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_l^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.35 \text{ N/mm}^2 < 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{16} = 1.33/0.35 = \mathbf{3.814}$$

[η_{16} : trave principale, CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE**Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{\text{eq}}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 7248 \text{ N}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 3624 \text{ N}$

$$F_{v,Sd} = 3624 < F_{v,Rd} = 6874 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{17} = 6874/3624 = \mathbf{1.897}$$

[η_{17} : trave principale, CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,\text{lim}} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,\text{lim}}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 3624 / 3777 = 0.96 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{18} = 1.14/0.96 = \mathbf{1.188}$$

[η_{18} : trave principale, CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 2 (lunga durata: solo carichi permanenti)

Verifica a tempo $t=0$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q * Q_k) * i = 6.5 \text{ kN/m}$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 1.83326E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 3.04128E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \Sigma E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 4.874539E+12 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 358.6 \text{ mm}$$

$$A_2 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\Sigma E_i A_i y_i) / (\Sigma E_i A_i) = 283 \text{ mm}$$

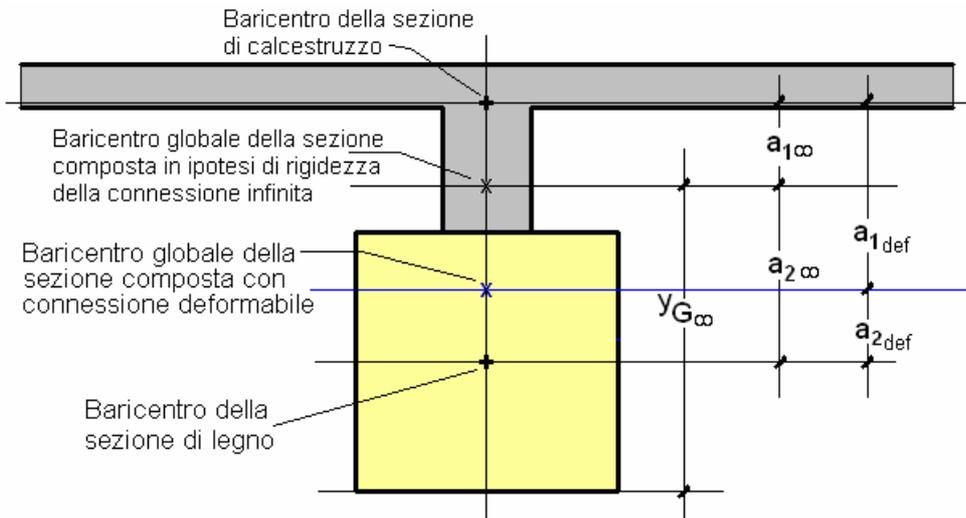
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G_\infty} = 76 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G_\infty} - h_2/2 = 163 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 239 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.951027E+13 \text{ Nmm}^2$$

- *determinazione della rigidità efficace:*

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K = K_u = 5238 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.044$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 21 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 218 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 8.0073E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_\infty - (EJ)_0] = 0.13$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 1.69013E+07 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 14826 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] * M_d = 27717 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * M_d = 3869528 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 3.06 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{19} = 11.33/3.06 = \mathbf{3.705}$$

[η_{19} : CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -7.24 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}| / \sigma_{max,1}) = 46 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima (cioè il cordolo).

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

(caso di asse neutro che taglia il cordolo)

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{\min,1}| * (h - x_c) / 2] * b = 31550 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 81 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale 2Φ12 ($A_s=226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_{21} = 226/81 = \mathbf{2.805}$$

[η_{21} : CC 1, $t=0$, trazione armatura nel cordolo di cls]**VERIFICA DEL LEGNO**

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 27717 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 6419340 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 2304000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 2.79 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.38 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{24} = 1/0.38 = \mathbf{2.632}$$

[η_{24} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]**Verifica a taglio**

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 141 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.2 \text{ N/mm}^2 < 1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{25} = 1/0.2 = \mathbf{4.959}$$

[η_{25} : trave principale, CC 1, $t=0$, taglio nel legno]**VERIFICA DELLA CONNESSIONE****Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 4254 \text{ N}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 2127 \text{ N}$

$$F_{v,Sd} = 2127 < F_{v,Rd} = 6874 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{26} = 6874/2127 = \mathbf{2.423}$$

[η_{26} : trave principale, CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]**Verifica di scorrimento**

$$\delta_{c,\text{lim}} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,\text{lim}}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 2127 / 5238 = 0.41 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{27} = 1.14/0.41 = \mathbf{2.807}$$

[η_{27} : trave principale, CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]**TRAVETTO (solo LEGNO):
VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)**

I travetti, costituenti l'orditura secondaria del solaio misto in legno e calcestruzzo, vengono verificati come elementi in legno semplice, in quanto il progetto non prevede connettori disposti lungo i travetti. Lo schema di calcolo è quello di trave appoggiata. Le verifiche di resistenza (SLU) si conducono per la combinazione di carico più gravosa: la (1), comprendente carichi permanenti e variabili, cui corrisponde il coefficiente $k_{\text{mod}}=0.8$ (classe di durata del carico: media); le verifiche sono invariate tra tempo 0 e tempo ∞ in quanto le caratteristiche elastiche ridotte (a tempo ∞) non influiscono sulle sollecitazioni e sulle resistenze di progetto, ma soltanto sulla deformazione (SLE).

Carichi

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Poiché si tratta di trave avente inclinazione α (definita dalla pendenza della copertura), nel seguito i carichi G_1 e G_2 sono da intendersi riferiti alla proiezione orizzontale, e quindi con valori ridefiniti dividendoli per $(\cos \alpha)$.

**Combinazione di carico (2)
(lunga durata: soli carichi permanenti)**

Carico agente sul travetto:

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2) * i = 1.66464 \text{ kN/m}$$

Flessione semplice retta

Parametri statici:

$$- \text{ area } A = 6400 \text{ mm}^2$$

$$- \text{ modulo di resistenza } W = 85333 \text{ mm}^3$$

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 284841 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 974 \text{ N}$$

Resistenze di progetto:

$$f_{md} = 9.6 \text{ N/mm}^2, f_{vd} = 1 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione

$$\sigma_m = (M_d / W) = 3.34 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_m / f_{md}) = 0.35 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{82} = 1/0.35 = \mathbf{2.857}$$

[η_{82} : flessione nel travetto in solo legno, CC1]

Verifica di resistenza a taglio

$$\tau = (3/2) * V_d / A = 0.23 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{83} = 1/0.23 = \mathbf{4.381}$$

[η_{83} : taglio nel travetto in solo legno, CC1]

**SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS:
VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)****Combinazione di Carico 2 (lunga durata: solo carichi permanenti)****Verifica a tempo $t=\infty$**

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q * Q_k) * i = 6.5 \text{ kN/m}$$

I parametri di rigidità dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine).

I valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \varphi)} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{2\infty} = E_2 * \frac{\frac{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

Pertanto:

$$E_{1\infty} = 31476 * 0.2545 = 8009 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = 11000 * 0.625 = 6875 \text{ N/mm}^2$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 4.664783E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 1.9008E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 2.367278E+12 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y: da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 43400 \text{ mm}^2, y_1 = 358.6 \text{ mm}$$

$$A_2 = 57600 \text{ mm}^2, y_2 = 120 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 232 \text{ mm}$$

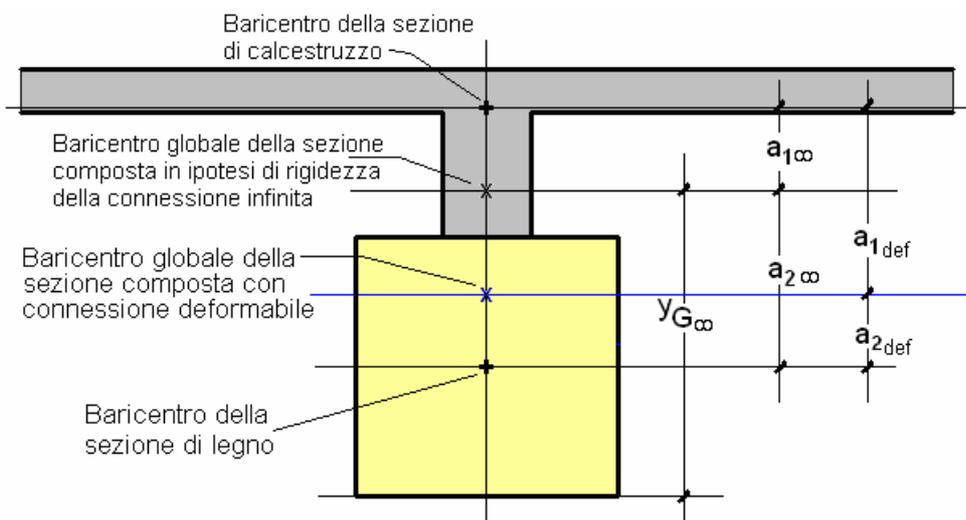
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 127 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 112 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 239 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 1.290316E+13 \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidezza efficace:

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno (0.625), viene applicato anche alla rigidezza della connessione:

$$s_{eq} = 175 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.625 * K_u = 3274 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K I^2)]^{-1} = 0.102$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 20 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 219 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:
 $(EJ)_{\text{eff}} = \Sigma E_i J_i + (\Sigma \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 4.216736E+12 \text{ Nmm}^2$
 efficienza della connessione:
 $\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.18$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 1.69013E+07 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 14826 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 31072 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 1869714 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{\text{max},1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 1.89 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{28} = 11.33/1.89 = \mathbf{6.011}$$

[η_{28} :CC 1, t=0, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Tensione all'intradosso della sezione di calcestruzzo (intradosso del cordolo):

$$\sigma_{\text{min},1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -3.09 \text{ N/mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{\text{min},1}| / \sigma_{\text{max},1}) = 59 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

l'asse neutro della sezione di calcestruzzo taglia l'anima (cioè il cordolo).

Verifica di trazione nell'anima (cordolo) della sezione di calcestruzzo

(caso di asse neutro che taglia il cordolo)

Lo sforzo di trazione complessivo nel cordolo in calcestruzzo è dato da:

$$[|\sigma_{\text{min},1}| * (h - x_c) / 2] * b = 11900 \text{ N}$$

Con acciaio B450C ($f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$), si ha:

$$\text{Area minima di acciaio: } A_s = 30 \text{ mm}^2$$

Si adotta come armatura longitudinale 2 Φ 12 ($A_s=226 \text{ mm}^2$)

$$\Rightarrow \eta_{30} = 226/30 = \mathbf{7.438}$$

[η_{30} :CC 1, t=0, trazione armatura nel cordolo di cls]

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 31072 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 7618686 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 2304000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 3.31 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.44 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{33} = 1/0.44 = \mathbf{2.273}$$

[η_{33} :CC 1, t=0, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_l = h_2/2 + a_2 = 140 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_l^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.24 \text{ N/mm}^2 < 1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{34} = 1/0.24 = \mathbf{4.247}$$

[η_{34} : trave principale, CC 1, t=0, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE**Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{eff}] * V_d = 4770 \text{ N}$$

Disponendo connettori accoppiati nelle zone di appoggio, la sollecitazione di progetto si può assumere pari a: $F/2 = 2385 \text{ N}$

$$F_{v,Sd} = 2385 < F_{v,Rd} = 6874 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{35} = 6874/2385 = \mathbf{2.162}$$

[η_{35} : trave principale, CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1.14 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,lim}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 2385 / 3274 = 0.73 \text{ mm} < 1.14 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{36} = 1.14/0.73 = \mathbf{1.565}$$

[η_{36} : trave principale, CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

**SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS:
VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)****VERIFICA A TEMPO $t=0$**

Determinazione della rigidità efficace:

$$K = K_{ser} = 7857 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.065$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 29 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 209 \text{ mm}$$

rigidità efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 9.292763E+12 \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidità efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo 0, e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{eff,ser,t=0} = 9.292763E+12 \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.18$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

La freccia viene calcolata suddivisa nei singoli contributi dei carichi permanenti e dei carichi variabili; per tenere conto della deformabilità a taglio si applica, a favore di sicurezza, un fattore moltiplicativo pari a 1.10 (incremento del 10%).

I singoli contributi di carico, utilizzati per la combinazione rara, sono i seguenti:

$$g_1 = 2.04 * 1250 = 2.55 \text{ kN/m (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 1.7 * 1250 = 2.125 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 * 1250 = 2.5 \text{ kN/m}$$

Per il calcolo della freccia istantanea viene utilizzata la rigidità efficace in condizioni iniziali $(EJ)_{eff,ser,t=0}$:

$$f_{G1,rist} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.55 * 4560^4 / (9.292763E+12) = 1.7 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rist} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.125 * 4560^4 / (9.292763E+12) = 1.42 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) q_k * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2.5 * 4560^4 / (9.292763E+12) = 1.67 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4560 \text{ mm}$:

$$f_{ist} = 1.7+1.42+1.67 = 4.78 \text{ mm} = (1/954) l < (1/300) l = 15.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{37} = 15.2/4.78 = \mathbf{3.179}$$

[η_{37} : trave, $t=0$, freccia]

VERIFICA A TEMPO $t=\infty$

La deformazione finale è data dalla somma di due contributi:

- (i) la deformazione a lungo termine dovuta al carico quasi permanente, utilizzando valori ridotti dei moduli di elasticità;
- (ii) la deformazione istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile: $Q_k \cdot (1-\psi_2)$, utilizzando valori non ridotti dei moduli di elasticità.

Per quanto riguarda il contributo (ii), la rigidezza efficace è già stata calcolata e vale:

$$(EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 9.292763E+12 \text{ Nmm}^2$$

Per (i) si deve ricalcolare la rigidezza efficace, tenendo conto della riduzione dovuta alla viscosità.

I moduli di elasticità del calcestruzzo e del legno, ridotti per tenere conto della deformazione a lungo termine, sono i seguenti:

$$E_{1\infty} = E_1 / (1+\varphi) = 8009 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = E_2 / (1+k_{\text{def}}) = 6875 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 J_1 = 4.664783E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 1.9008E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 2.367278E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 1.290316E+13 \text{ Nmm}^2$$

Il coefficiente correttivo per la viscosità del legno: $1/(1+k_{\text{def}})=0.625$ viene applicato, come già noto, anche alla rigidezza della connessione:

$$K = K_{\text{ser}} = 4911 \text{ N/mm}$$

Si ha:

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{\text{eq}} / (K I^2)]^{-1} = 0.145$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 27 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 212 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 4.917622E+12 \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidezza efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo ∞ , e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 4.917622E+12 \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_\infty - (EJ)_0] = 0.24$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

La freccia a lungo termine assume la seguente espressione:

$$\alpha (g_1 + g_2 + \psi_2 q_k) / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t=0}})$$

$$\text{dove } \alpha = 1.10 * (5/384) * l^4$$

I singoli contributi di carico, utilizzati per la combinazione rara, sono i seguenti:

$$g_1 = 2.04 * 1250 = 2.55 \text{ kN/m (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 1.7 * 1250 = 2.125 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 * 1250 = 2.5 \text{ kN/m}$$

La freccia finale è dunque espressa dalle seguenti relazioni:

(i) freccia a lungo termine dovuta al carico quasi permanente:

$$f_{G1,fin} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 2.55 * 4560^4 / (4.917622E+12) = 3.21 \text{ mm}$$

$$f_{G2,fin} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 2.125 * 4560^4 / (4.917622E+12) = 2.68 \text{ mm}$$

$$f_{Q,fin} = 1.10 * (5/384) * l^4 * \psi_2 q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t}=\infty} = 1.10 * (5/384) * 4560^4 * 0.3 * 2.5 / (4.917622E+12) = 0.94 \text{ mm}$$

(ii) freccia istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile:

$$f_{Q,ist} = 1.10 * (5/384) * l^4 * (1 - \psi_2) q_k / (EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 1.10 * (5/384) * 4560^4 * 0.7 * 2.5 / (9.292763E+12) = 1.17 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4560$ mm:

$$f_{fin} = 3.21+2.68+0.94+1.17 = 8 \text{ mm} = (1/570) l < (1/200) l = 22.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{38} = 22.8/8 = \mathbf{2.851}$$

[η_{38} : trave, $t=\infty$, freccia]

TRAVETTO (solo LEGNO): VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

I travetti, costituenti l'orditura secondaria del solaio misto in legno e calcestruzzo, vengono verificati come elementi in legno semplice, in quanto il progetto non prevede connettori disposti lungo i travetti. Lo schema di calcolo è quello di trave appoggiata. Le verifiche di deformabilità (SLE) si distinguono tra tempo 0 e tempo ∞ in quanto le caratteristiche elastiche ridotte (a tempo ∞) influiscono sulla freccia, che viene calcolata con riferimento alla combinazione di carico più gravosa.

Carichi

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

La freccia viene calcolata suddivisa nei singoli contributi dei carichi permanenti e dei carichi variabili; per tenere conto della deformabilità a taglio si applica, a favore di sicurezza, un fattore moltiplicativo pari a 1.10 (incremento del 10%).

Momento d'inerzia della sezione: $J = 3413333 \text{ mm}^4$

Verifica a tempo $t=0$

Per il calcolo della freccia istantanea viene utilizzata la rigidità in condizioni iniziali:

$$(EJ)_{ser,t=0} = 11000 * 3413333 = 3.754666E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$f_{G1,rist} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.6528 * 1170^4 / (3.754666E+10) = 0.47 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rist} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.544 * 1170^4 / (3.754666E+10) = 0.39 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) q_k * l^4 / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0.64 * 1170^4 / (3.754666E+10) = 0.46 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=1170$ mm:

$$f_{ist} = 0.47+0.39+0.46 = 1.31 \text{ mm} = (1/891) l < (1/300) l = 3.9 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{84} = 3.9/1.31 = \mathbf{2.970}$$

[η_{84} : travetto, $t=0$, freccia]

Verifica a tempo $t=\infty$

Il modulo di elasticità a lungo termine vale: $E_\infty = 6875 \text{ N/mm}^2$

Pertanto, la rigidità a lungo termine vale:

$$(EJ)_{ser,t=\infty} = 2.346667E+10 \text{ Nmm}^2$$

La freccia a lungo termine assume la seguente espressione:

$$\alpha (g_1 + g_2 + \psi_2 q_k) / (EJ)_{ser,t=\infty} + \alpha (1 - \psi_2) (q_k / (EJ)_{ser,t=0})$$

$$\text{dove } \alpha = 1.10 * (5/384) * l^4$$

La freccia finale è dunque espressa dalle seguenti relazioni:

(i) freccia a lungo termine dovuta al carico quasi permanente:

$$f_{G1,rfin} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 0.6528 * 1170^4 / (2.346667E+10) = 0.75 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rfin} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 0.544 * 1170^4 / (2.346667E+10) = 0.62 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rfin} = 1.10 * (5/384) * l^4 * \psi_2 q_k / (EJ)_{ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 1170^4 * 0.3 * 0.64 / (2.346667E+10) = 0.22 \text{ mm}$$

(ii) freccia istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile:

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) * l^4 * (1 - \psi_2) q_k / (EJ)_{ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 1170^4 * 0.7 * 0.64 / (3.754666E+10) =$$

$$= 0.32 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=1170$ mm:

$$f_{fin} = 0.75+0.62+0.22+0.32 = 1.91 \text{ mm} = (1/613) l < (1/200) l = 5.85 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{85} = 5.85/1.91 = \mathbf{3.065}$$

[η_{85} : travetto, $t=\infty$, freccia]

TRAVE PRINCIPALE IN LEGNO: VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Per la verifica di resistenza al fuoco si considera la combinazione eccezionale (§2.5.3), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto: i carichi permanenti g vengono considerati nella loro totalità, mentre al carico variabile q_k si applica il proprio coefficiente ψ_2 :

$$G_1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 0.3 * 2 = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

Il calcolo della resistenza al fuoco viene condotto attribuendo la totalità del carico alla sezione residua della trave di legno:

$$q_{d,fi} = (2.04+1.7+0.6) * 1250 = 5.43 \text{ kN/m},$$

cui corrispondono le seguenti sollecitazioni di progetto:

Momento in mezzeria:

$$M_d = q_{d,fi} * l^2 / 8 = 1.410066E+07 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,fi} * l / 2 = 12369 \text{ N}$$

Sezione efficace

La velocità di carbonizzazione è assunta pari a $\beta_n = 0.8$ mm/min (cfr. [5]EN 1995-1-2:2004 (E), Tab.3.1).

Dopo 60 minuti di esposizione al fuoco, la profondità di carbonizzazione è pari a:

$d_{ef} = 0.8 * 60 + 7 = 55$ mm, e di conseguenza, essendo la trave in legno del solaio esposta su 3 lati, la sezione diventa:

$$b_{ef} * h_{ef} = (240 - 55*2) * (240 - 55) = 130 * 185 \text{ mm}^2$$

L'area resistente si riduce quindi da: $240*240 = 57600 \text{ mm}^2$ a: $130*185 = 24050 \text{ mm}^2$

Il modulo di resistenza della sezione ridotta vale: $W = 130*185^2/6 = 741542 \text{ mm}^3$

Verifica di resistenza a flessione

Resistenza di progetto:

$$f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{mk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (24 * 1.25) / 1.00 = 30 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\sigma_{mfi} = 19.02 \text{ N/mm}^2 < f_{m,fi,d} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{39} = 30/19.02 = \mathbf{1.587}$$

[η_{39} : trave, resistenza al fuoco, flessione]

Verifica di resistenza a taglio

Resistenza di progetto:

$$f_{v,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{vk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (2.5 * 1.25) / 1.00 = 3.12 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\tau_{fi} = (3/2) * V_d / A = 0.77 \text{ N/mm}^2 < f_{v,fi,d} = 3.12 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{40} = 3.12/0.77 = \mathbf{4.051}$$

[η_{40} : trave, resistenza al fuoco, taglio]

Posizione dei connettori

Sul piano della sezione trasversale della trave, la distanza minima dal lato esterno della trave a cui i connettori devono essere posti è pari a:

$$d_{ef} + 2.5 = 55 + 25 = 80 \text{ mm}$$

Nel caso di un solo connettore, questo viene posto in mezzeria e quindi dista $240/2=120$ mm = 80 mm dal lato esterno della trave

(posizione non ammessa)

Nel caso di connettori $\Phi 12$ accoppiati posti nello stesso piano della sezione trasversale della trave, la distanza netta tra i due connettori non può superare:

$$(240-80-80-2*12)/2 = 28 \text{ mm}$$

(interfero non ammissibile in confronto ad un valore minimo che può essere assunto pari a 20 mm.)

Per il caso in esame, l'accoppiamento dei connettori è previsto solo agli appoggi; per definire il coefficiente di sicurezza relativo alla posizione dei connettori si considera quindi il minimo coefficiente corrispondente ai due casi di connettori singoli ed accoppiati:

$$\Rightarrow \eta_{41} = \text{minimo} \{120/80, 28/20\} = \mathbf{1.400}$$

[η_{41} : trave, resistenza al fuoco, posizione dei connettori]

Coefficienti di sicurezza η : Riepilogo

In colore verde grassetto: il coefficiente calcolato automaticamente da SLC; alla riga sottostante, in colore nero grassetto: il corrispondente coefficiente calcolato manualmente nella Teoria (parte A).
Fra parentesi, lo scarto percentuale fra i due coefficienti:

η_T = coefficiente da calcolo manuale teorico

η_A = coefficiente da calcolo automatico applicativo con SLC

Scarto percentuale: $[(\eta_A - \eta_T) / \eta_T]$ (%)

■: resist. cls - ■: resist. legno - ■: connessioni - ■: deform. - ■: resist. fuoco

- 2.350** ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC1, t=0
2.380 (-1.2%)
- 1.779** ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC1, t=0
1.738 (+2.4%)
- 1.116** ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio, CC rara, t=0
1.125 (-0.8%)
- 2.273** ■ Trazione all'intradosso del legno, CC1, t=0
2.273 (0 %)
- 4.193** ■ Taglio nel legno, CC1, t=0
4.156 (+0.9%)
- 2.049** ■ Resistenza della connessione, CC1, t=0
2.058 (-0.4%)
- 1.780** ■ Scorrimento della connessione, CC1, t=0
1.782 (-0.1%)
- 3.064** ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC1, t= ∞
3.113 (-1.6%)
- 2.889** ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC1, t= ∞
2.897 (-2.8%)
- 1.631** ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio, CC rara, t= ∞
1.667 (-2.2%)
- 2.041** ■ Trazione all'intradosso del legno, CC1, t= ∞
2.041 (0 %)
- 3.814** ■ Taglio nel legno, CC1, t= ∞
3.800 (+0.4%)
- 1.897** ■ Resistenza della connessione, CC1, t= ∞
1.899 (-0.1%)
- 1.188** ■ Scorrimento della connessione, CC1, t= ∞
1.188 (0 %)
- 3.705** ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC2, t=0
- 2.805** ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC2, t=0
- 2.632** ■ Trazione all'intradosso del legno, CC2, t=0
2.703 (-2.6%)
- 4.959** ■ Taglio nel legno, CC2, t=0
5.000 (-0.8%)

- 2.423** ■ Resistenza della connessione, CC2, $t=0$
2.807 ■ Scorrimento della connessione, CC2, $t=0$
6.011 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC2, $t=\infty$
7.438 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC2, $t=\infty$
2.273 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC2, $t=\infty$
2.222 (+2.3%)
4.247 ■ Taglio nel legno, CC2, $t=\infty$
4.167 (+1.9%)
2.162 ■ Resistenza della connessione, CC2, $t=\infty$
1.565 ■ Scorrimento della connessione, CC2, $t=\infty$
3.179 ■ Freccia della sezione composta trave-cls $t=0$
3.193 (-0.4%)
2.851 ■ Freccia della sezione composta trave-cls $t=\infty$
2.854 (-0.1%)
1.587 ■ Resistenza al fuoco: flessione nel legno
1.578 (+0.6%)
4.051 ■ Resistenza al fuoco: taglio nel legno
4.058 (-0.2%)
1.400 ■ Resistenza al fuoco: posizione dei connettori della trave
1.400 (0 %)
2.439 ■ Flessione nel travetto in solo legno, CC1
2.427 (+0.5%)
3.706 ■ Taglio nel travetto in solo legno, CC1
3.694 (+0.3%)
2.857 ■ Flessione nel travetto in solo legno, CC2
2.927 (-2.4%)
4.381 ■ Taglio nel travetto in solo legno, CC2
4.348 (+0.8%)
2.970 ■ Freccia del travetto in solo legno, $t=0$
3.000 (-1%)
3.065 ■ Freccia del travetto in solo legno, $t=\infty$
3.095 (-1%)

C.2. ESEMPIO GUIDATO

L'esempio guidato è un esempio reale di progettazione. Si tratta di un edificio in muratura di pietrame squadrato in buone condizioni, ma con solai in legno non più in grado di garantire le caratteristiche prestazionali necessarie (resistenza, deformabilità), in seguito ad una prevista ristrutturazione del fabbricato con conseguente incremento del carico di esercizio.

Si supponga, infatti, di cambiare l'attuale destinazione del solaio (civile abitazione, categoria A) in negozio (categoria D1: il carico variabile aumenta da 2.00 a 4.00 kN/m²). L'edificio sia un fabbricato di pregio, magari sottoposto a vincolo architettonico inerente il mantenimento delle caratteristiche originarie e posto in zona sismica.

Si ponga attenzione sui due vani a piano primo: (A) e (B).

Il vano (1), di grandi dimensioni (7.80 x 9.50 m), presenta un solaio in legno notevolmente deteriorato e con una freccia permanente che ne sconsiglia il consolidamento. Si prevede quindi di rimuoverlo, sostituendolo con un nuovo solaio, ancora in legno in modo da rispettare le caratteristiche originarie dell'edificio, e con sovrastante soletta in calcestruzzo in grado di garantire la richiesta rigidità d'impalcato, sia nei confronti delle azioni orizzontali di natura sismica, sia anche per la deformabilità corrispondente ai carichi verticali.

Sarà ovviamente previsto anche un intervento perimetrale di cordolatura o comunque di legatura diffusa alle pareti murarie portanti (aspetto su cui, in questa sede, non ci soffermeremo oltre).

Le nuove travi, nel rispetto delle sezioni preesistenti, sono previste di sezione 350x400 mm, ad interasse di 1600 mm., e avranno luce libera di 7800 mm.

Nel vano adiacente (2) la situazione è un po' diversa: il solaio esistente, date anche le più ridotte dimensioni del vano stesso, presenta travi ancora accettabili, addirittura in buone condizioni, e quindi appare appropriato, in questo caso, utilizzare le travi medesime per il consolidamento, collegandole - attraverso i connettori - ad un getto di calcestruzzo sovrastante (anche in questo caso si dovrà garantire l'efficacia della giunzione perimetrale alle murature portanti, eventualmente intervenendo su questo aspetto, e comunque certamente predisponendo i ferri di collegamento fra la nuova soletta in calcestruzzo e le pareti stesse).

Le travi in legno esistenti sono di sezione 250x300 mm, ad interasse 1300 mm., e di luce libera 4700 mm.

Sia per (1) che per (2) ci troviamo quindi ad analizzare un solaio misto in legno e calcestruzzo.

E' disponibile il file Esempio_2.dwg fornito in dotazione a SLC e installato in \Aedes2012\Slc\Es-Apprendi.

 **Nota bene** Nella cartella di apprendimento (\Aedes2012\Slc\Es-Apprendi) e nella cartella dei progetti (\Aedes2012\Slc\Progetti) è fornito anche il file: Esempio_2.slc già completo di tutti i dati di questo progetto, dati che comunque, seguendo le indicazioni, verranno rigenerati in un analogo file, che al momento del salvataggio sarà denominato: Solai_Negoziio.slc. ■

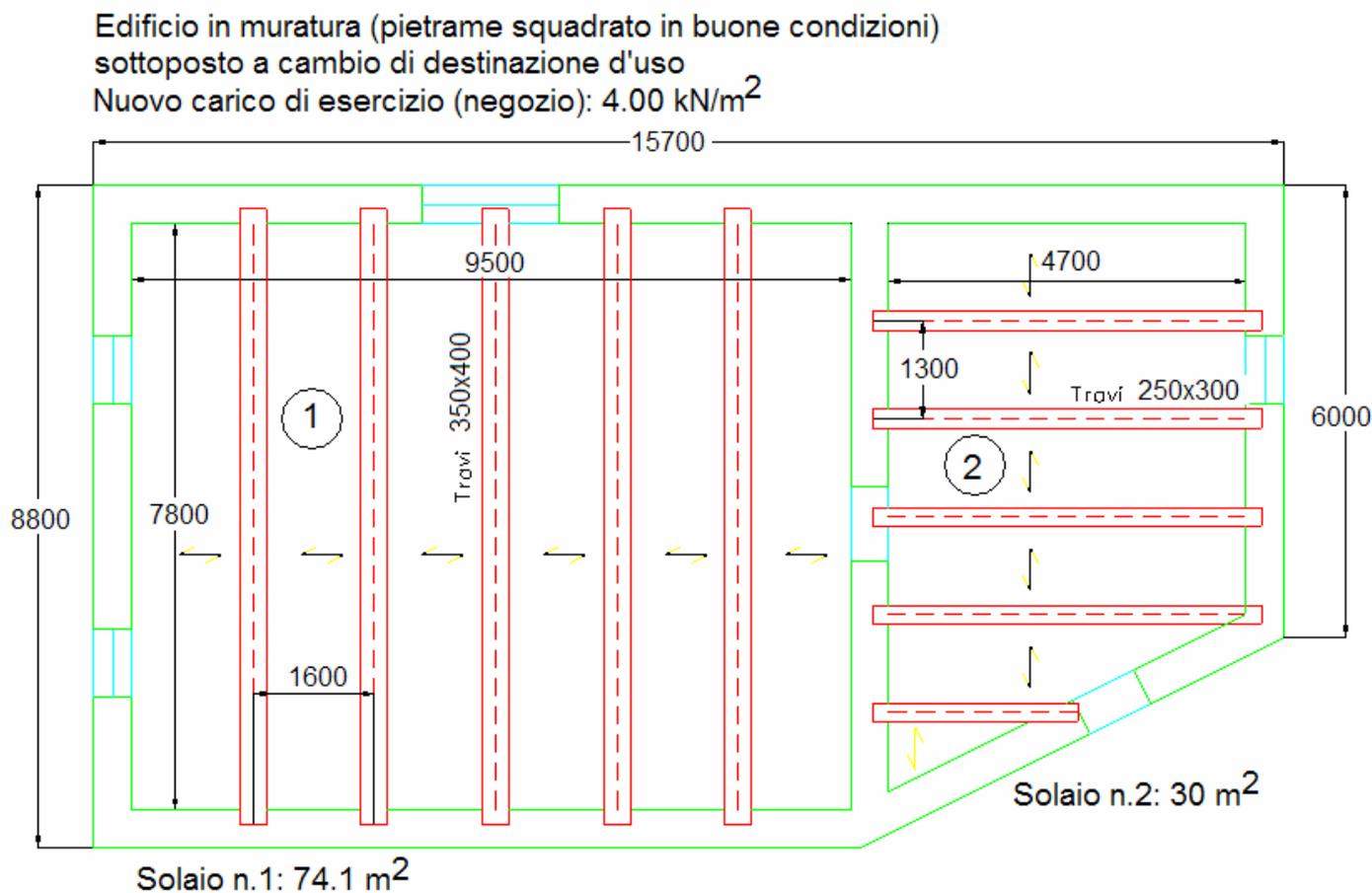


Fig. C.2.1. Pianta dell'edificio oggetto di intervento

In sintesi, quindi, si ha:

(1) un solaio nuovo, con travi di sezione 350×400 , luce libera 7800 mm ., interasse 1600 mm .;

(2) un solaio esistente, con travi di sezione 250×300 , luce libera 4700 mm , interasse 1300 mm .

Essendo inclusi nello stesso edificio, le due maglie di solaio avranno alcune caratteristiche comuni:

- la soletta, di spessore 40 mm , è in calcestruzzo classe C25/30;
- l'assito, in piastrelle di cotto, ha spessore 30 mm ;
- i carichi di esercizio corrispondono, seconda la destinazione d'uso, a 4.00 kN/m^2 .

Per la trave principale del solaio (1) si usano connettori $\phi 16$ accoppiati lungo tutta la trave, ma diradati in mezzeria; per la trave principale del solaio (2) si usano connettori $\phi 12$ a interasse costante, ma accoppiati agli appoggi e non in mezzeria.

Lanciato SLC, il programma si predispone da solo per i dati di un nuovo progetto.

I dati presentati sono quelli preimpostati per il progetto Anonimo: dovranno essere modificati in base al progetto da analizzare. Nella finestra Grafica è visualizzata una sezione predefinita della trave del solaio; nella finestra Risultati sono riportati valori corrispondenti al calcolo del solaio predefinito.

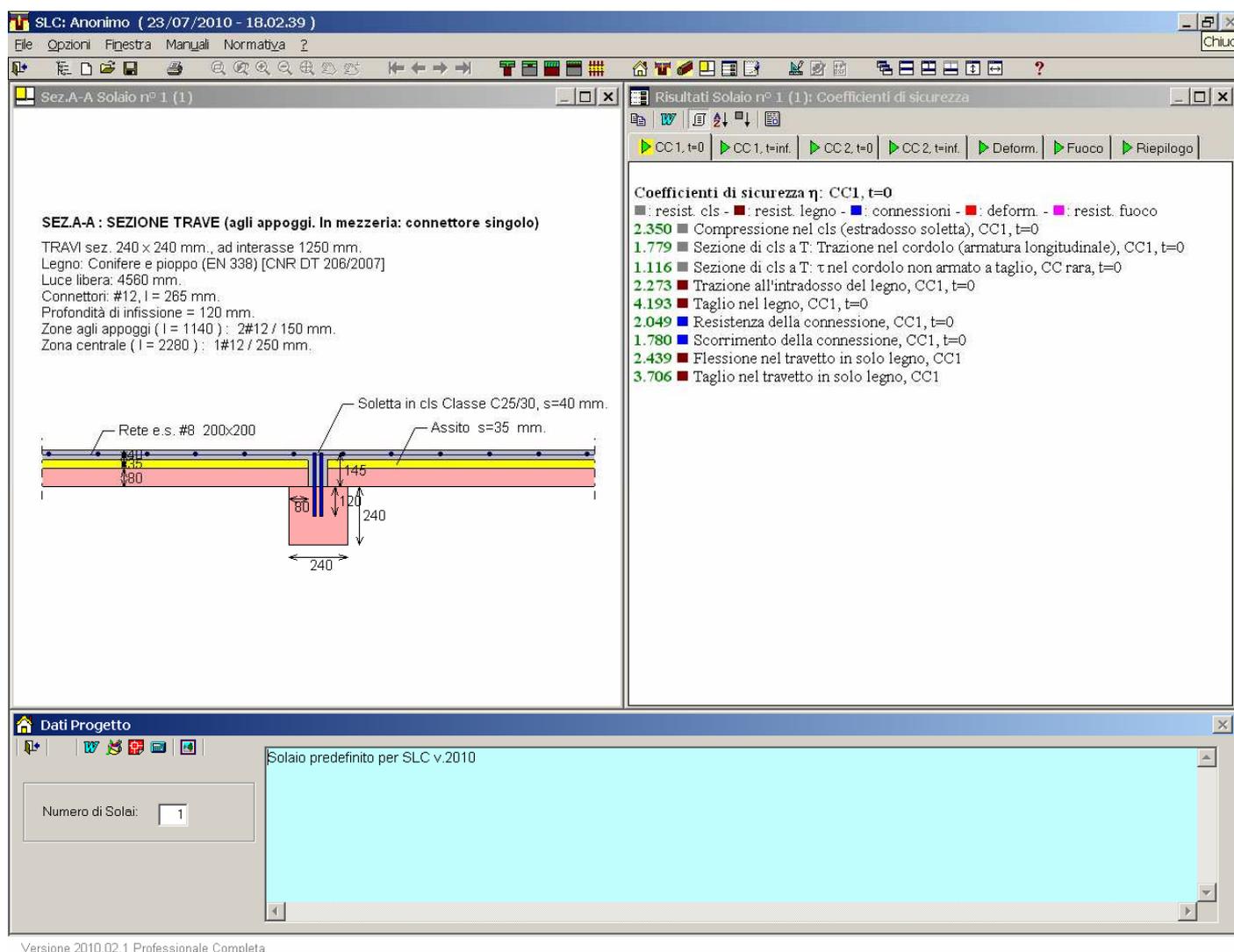


Fig. C.2.2. Schermata iniziale di SLC preimpostata

Nella finestra Dati Progetto specificare: numero di solai = 2.

Nella casella di testo del 'Commento' si può inserire un testo a piacere inerente l'edificio corrente (descrizione dell'edificio, nome del Committente ed ubicazione, indicazioni sulla configurazione del progetto, ecc.)

La finestra Progetto non richiede ulteriori dati: tuttavia *non deve essere chiusa*: essendo infatti la finestra principale, produrrebbe l'uscita dal programma. La finestra Progetto resterà come finestra di testo di sfondo dell'applicazione.

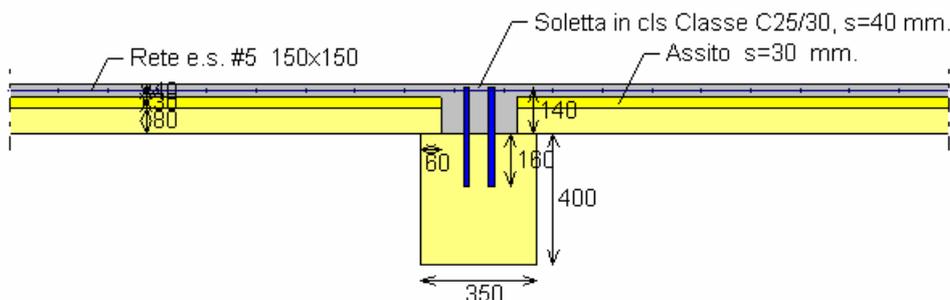
ALT+N,S (CTRL+S): attiva la finestra Solai (barra degli strumenti: ).

Con l'apertura della finestra Solai, si aggiornano sempre automaticamente i risultati nella finestra Risultati: essi ovviamente non possono ancora riferirsi al progetto da analizzare, perché occorre modificare opportunamente i dati. SLC opera nel seguente modo: via via che si modificheranno i dati, introducendo i reali valori del caso in esame, si avrà un continuo aggiornamento dei risultati, sempre coerenti con i dati attivi al momento.

I dati da inserire per il Solai n°1, nelle varie schede: Tipologia, Geometria, Legno, Calcestruzzo, Connettori Trave, Connettori Travetto, Carichi, Criteri, sono i seguenti: (per spostarsi da un campo all'altro, usare TAB o INVIO o fare clic con il mouse):

Dati Solaio n° 1**SEZ.A-A : SEZIONE TRAVE (agli appoggi e in mezzeria)**

TRAVI sez. 350 x 400 mm., ad interasse 1600 mm.
 Legno: Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]
 Luce libera: 7800 mm.
 Connettori: #16, l = 300 mm.
 Profondità di infissione = 160 mm.
 Zone agli appoggi (l = 1950): 2#16 / 125 mm.
 Zona centrale (l = 3900): 2#16 / 250 mm.

**Fig. C.2.3.** Solaio n°1**Tipologia**

Tipo di orditura: Doppia (travi e travetti), con connessioni nei travetti

Assito: Interrotto

Geometria**Trave principale in legno:**

Base della sezione: $b = 350$ mm
 Altezza della sezione: $h = 400$ mm
 Interasse tra le travi principali: $i = 1600$ mm
 Luce di calcolo delle travi: $l = 7800$ mm

Travetti in legno (travi secondarie):

Base della sezione: $b = 80$ mm
 Altezza della sezione: $h = 80$ mm
 Lunghezza di appoggio sulla trave (per ognuno dei due estremi): $a = 60$ mm
 Interasse tra i travetti: $i = 320$ mm
 Luce di calcolo: $l = 1370$ mm

Soletta in calcestruzzo:

Spessore: $s = 40$ mm
 Distanza tra soletta e trave (travetti + assito): $t = 110$ mm
 Larghezza efficace della soletta: $b_{\text{eff}} = 1270$ mm

Altri componenti:

- spessore: $s_a = 30$ mm
 Isolante: spessore: $s_i = 0$ mm

Legno

Specie e classe di resistenza: Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007] S1
 Classe di servizio: 1

Resistenza a flessione $f_{\text{mk}} = 29$ N/mm²

Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t0k} = 17 \text{ N/mm}^2$
 Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c0k} = 23 \text{ N/mm}^2$
 Resistenza a taglio $f_{vk} = 3 \text{ N/mm}^2$

Massa volumica $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ (Peso specifico = 3.8 kN/m^3)

Coefficiente parziale per le proprietà dei materiali: $\gamma_M = 1.5$

Le **classi di durata del carico** considerate sono due:

- 1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti): $k_{mod} = 0.6$
- 2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili): $k_{mod} = 0.8$

Le **resistenze di progetto** si distinguono fra i due casi di classi di durata del carico:
 (trazione e compressione: parallele alla fibratura)

- 1) permanente: $k_{mod} / \gamma_M = 0.6/1.5 = 0.400$

da cui:

resistenza a flessione di progetto : $f_{md} = 11.60 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 6.80 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 9.20 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 1.20 \text{ N/mm}^2$

- 2) media durata: $k_{mod} / \gamma_M = 0.8/1.5 = 0.533$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{md} = 15.47 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 9.07 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 12.27 \text{ N/mm}^2$
 resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 1.60 \text{ N/mm}^2$

Moduli elastici:

Modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$$

Modulo di taglio medio:

$$G_{,mean} = 750 \text{ N/mm}^2$$

Viscosità:

$$k_{def} = 0.6$$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del legno per tenere conto degli effetti a lunga durata ($t=\infty$):

$$1/(1 + k_{def}) = 0.625$$

Questo fattore di riduzione si applica anche alla rigidità della connessione per le verifiche a lungo termine.

Calcestruzzo

Peso specifico (=peso volumico) del calcestruzzo: 25 kN/m^3

Classe di resistenza: C25/30

Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Coefficiente parziale di sicurezza: $\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{cd} = 0.80 * 14.17 = 11.33 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{ctd} = 0.80 * 1.20 = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

Modulo elastico $E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$

Viscosità:

Tempo di messa in carico (termine della maturazione): 28 giorni

Umidità relativa dell'atmosfera: 55%

$$A_c = 40 * 1270 \text{ mm}^2$$

$u = 1270 \text{ mm}$, da cui: $h_0 = 80 \text{ mm}$

Coefficiente di viscosità: $\varphi = 2.93$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t = \infty$):

$$1 / (1 + \varphi) = 0.254$$

Connessione

Barre di armatura ad aderenza migliorata di tipo B450C (§11.3.2.1):

resistenza caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a rottura: $f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Travi principali

Diametro dei connettori: $\Phi = 16 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s_{\min} = 125 \text{ mm}$ (agli appoggi), $s_{\max} = 250 \text{ mm}$ in mezzeria

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 160 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30 \text{ mm}$

Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 300 \text{ mm}$

Rigidezze:

$$K_{ser} \text{ (SLE)} = 23704 \text{ N/mm}$$

$$K_u \text{ (SLU)} = 15803 \text{ N/mm}$$

Resistenza:

$$F_{v,Rk} = 44038 \text{ N}$$

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1.95 \text{ mm}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 44038 / 1.5$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

$$\text{permanente: } k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 17615 \text{ N}$$

$$\text{media durata: } k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 23487 \text{ N}$$

Travetti

Diametro dei connettori: $\Phi = 6 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s_{\min} = 180 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 53 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30 \text{ mm}$

Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 113 \text{ mm}$

Rigidezze:

$$K_{ser} \text{ (SLE)} = 4445 \text{ N/mm}$$

$$K_u \text{ (SLU)} = 2963 \text{ N/mm}$$

Resistenza:

$$F_{v,Rk} = 3986 \text{ N}$$

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1 \text{ mm}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 3986 / 1.5$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

$$\text{permanente: } k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 1594 \text{ N}$$

$$\text{media durata: } k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 2126 \text{ N}$$

Carichi

Carichi permanenti G_1

$$G_1 = 2.35 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G1} = 1.3$

Carichi permanenti non strutturali G_2

$$G_2 = 1.8 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G2} = 1.5$

Carichi variabili Q_k :

Ambiente ad uso residenziale

$$Q_k = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$\psi_2 = 0.6$$

Per SLU: $\gamma_Q = 1.5$

Limiti di deformabilità

Per la verifica della freccia f si considerano le seguenti limitazioni (l = luce della trave o del travetto):

- verifica a tempo 0: $f \leq (1/300) l$
- verifica a tempo ∞ : $f \leq (1/200) l$

Superficie per computo metrico: 71 m²

Si deve ora passare all'inserimento dei dati del Solaio n°2: per spostarsi, utilizzare i comandi del menu Sposta oppure i pulsanti della Barra degli Strumenti:  Primo,  Precedente,  Successivo,  Ultimo).

Dati Solaio n° 2

SEZ.A-A : SEZIONE TRAVE (agli appoggi. In mezzeria: connettore singolo)

TRAVI sez. 250 x 300 mm., ad interasse 1300 mm.

Legno: Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]

Luce libera: 4700 mm.

Connettori: #12, $l = 260$ mm.

Profondità di infissione = 120 mm.

Zona agli appoggi ($l = 1175$): 2#12 / 150 mm.

Zona centrale ($l = 2350$): 1#12 / 150 mm.

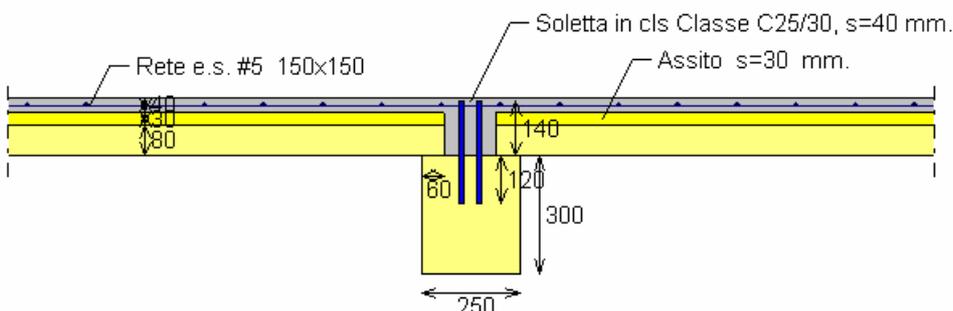


Fig. C.2.4. Solaio n°1

Tipologia

Tipo di orditura: Doppia (travi e travetti), con connessioni nei travetti

Assito: Interrotto

Geometria

Trave principale in legno:

Base della sezione: $b = 250$ mm
 Altezza della sezione: $h = 300$ mm
 Interasse tra le travi principali: $i = 1300$ mm
 Luce di calcolo delle travi: $l = 4700$ mm

Travetti in legno (travi secondarie):

Base della sezione: $b = 80$ mm
 Altezza della sezione: $h = 80$ mm
 Lunghezza di appoggio sulla trave (per ognuno dei due estremi): $a = 60$ mm
 Interasse tra i travetti: $i = 320$ mm
 Luce di calcolo: $l = 1170$ mm

Soletta in calcestruzzo:

Spessore: $s = 40$ mm
 Distanza tra soletta e trave (travetti + assito): $t = 110$ mm
 Larghezza efficace della soletta: $b_{\text{eff}} = 881$ mm

Altri componenti:

- spessore: $s_a = 30$ mm
 Isolante: spessore: $s_i = 0$ mm

Legno

Specie e classe di resistenza: Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007] S1
 Classe di servizio: 1

Resistenza a flessione $f_{\text{mk}} = 29$ N/mm²
 Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{\text{t0k}} = 17$ N/mm²
 Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{\text{c0k}} = 23$ N/mm²
 Resistenza a taglio $f_{\text{vk}} = 3$ N/mm²

Massa volumica $\rho_k = 380$ kg/m³ (Peso specifico = 3.8 kN/m³)

Coefficiente parziale per le proprietà dei materiali: $\gamma_M = 1.5$

Le **classi di durata del carico** considerate sono due:

- 1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti): $k_{\text{mod}} = 0.6$
- 2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili): $k_{\text{mod}} = 0.8$

Le **resistenze di progetto** si distinguono fra i due casi di classi di durata del carico:
 (trazione e compressione: parallele alla fibratura)

- 1) permanente: $k_{\text{mod}} / \gamma_M = 0.6/1.5 = 0.400$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{\text{md}} = 11.60$ N/mm²
 resistenza a trazione di progetto: $f_{\text{td}} = 6.80$ N/mm²
 resistenza a compressione di progetto: $f_{\text{cd}} = 9.20$ N/mm²
 resistenza a taglio di progetto: $f_{\text{vd}} = 1.20$ N/mm²

- 2) media durata: $k_{\text{mod}} / \gamma_M = 0.8/1.5 = 0.533$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{\text{md}} = 15.47$ N/mm²
 resistenza a trazione di progetto: $f_{\text{td}} = 9.07$ N/mm²
 resistenza a compressione di progetto: $f_{\text{cd}} = 12.27$ N/mm²
 resistenza a taglio di progetto: $f_{\text{vd}} = 1.60$ N/mm²

Moduli elastici:

Modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$E_{0,\text{mean}} = 12000$ N/mm²

Modulo di taglio medio:

$G_{\text{mean}} = 750$ N/mm²

Viscosità:

$$k_{def} = 0.6$$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del legno per tenere conto degli effetti a lunga durata ($t=\infty$):

$$1/(1+k_{def}) = 0.625$$

Questo fattore di riduzione si applica anche alla rigidità della connessione per le verifiche a lungo termine.

Calcestruzzo

Peso specifico (=peso volumico) del calcestruzzo: 25 kN/m³

Classe di resistenza: C25/30

Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Coefficiente parziale di sicurezza: $\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{cd} = 0.80 * 14.17 = 11.33 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore < 50 mm:

$$f_{ctd} = 0.80 * 1.20 = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

Modulo elastico $E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$

Viscosità:

Tempo di messa in carico (termine della maturazione): 28 giorni

Umidità relativa dell'atmosfera: 55%

$$A_c = 40 * 881 \text{ mm}^2$$

$u = 881 \text{ mm}$, da cui: $h_0 = 80 \text{ mm}$

Coefficiente di viscosità: $\varphi = 2.93$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t=\infty$):

$$1 / (1+\varphi) = 0.254$$

Connessione

Barre di armatura ad aderenza migliorata di tipo B450C (§11.3.2.1):

resistenza caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a rottura: $f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Travi principali

Diametro dei connettori: $\Phi = 12 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s = 150 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 120 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30 \text{ mm}$

Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 260 \text{ mm}$

Rigidezze:

$$K_{ser} \text{ (SLE)} = 8889 \text{ N/mm}$$

$$K_u \text{ (SLU)} = 5926 \text{ N/mm}$$

Resistenza:

$$F_{v,Rk} = 13429 \text{ N}$$

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1.17 \text{ mm}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 13429/1.5$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

$$\text{permanente: } k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 5372 \text{ N}$$

$$\text{media durata: } k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 7162 \text{ N}$$

Travetti

Diametro dei connettori: $\Phi = 6 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s_{min} = 180 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 53 \text{ mm}$

Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30 \text{ mm}$

Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 113 \text{ mm}$

Rigidezze:

$K_{ser} \text{ (SLE)} = 4445 \text{ N/mm}$

$K_u \text{ (SLU)} = 2963 \text{ N/mm}$

Resistenza:

$F_{v,Rk} = 3986 \text{ N}$

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1 \text{ mm}$$

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 3986/1.5$$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

$$\text{permanente: } k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 1594 \text{ N}$$

$$\text{media durata: } k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 2126 \text{ N}$$

Carichi

Carichi permanenti G_1

$$G_1 = 2.11 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G1} = 1.3$

Carichi permanenti non strutturali G_2

$$G_2 = 1.8 \text{ kN/m}^2$$

Per SLU: $\gamma_{G2} = 1.5$

Carichi variabili Q_k :

Ambiente ad uso residenziale

$$Q_k = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$\psi_2 = 0.6$$

Per SLU: $\gamma_Q = 1.5$

Limiti di deformabilità

Per la verifica della freccia f si considerano le seguenti limitazioni (l = luce della trave o del travetto):

- verifica a tempo 0: $f \leq (1/300) l$

- verifica a tempo ∞ : $f \leq (1/200) l$

Superficie per computo metrico: 30 m^2

Durante l'inserimento dei dati, si è avuto modo di vedere il continuo aggiornamento sia della rappresentazione grafica dei dati stessi (finestra Grafica), sia dei risultati. Per cambiare il tipo di disegno visualizzato, fare clic sui pulsanti grafici (o, in alternativa, usare i corrispondenti comandi del menu Opzioni della finestra Grafica). I pulsanti disponibili sono i seguenti:

 = **A-A: Sezione Trave**

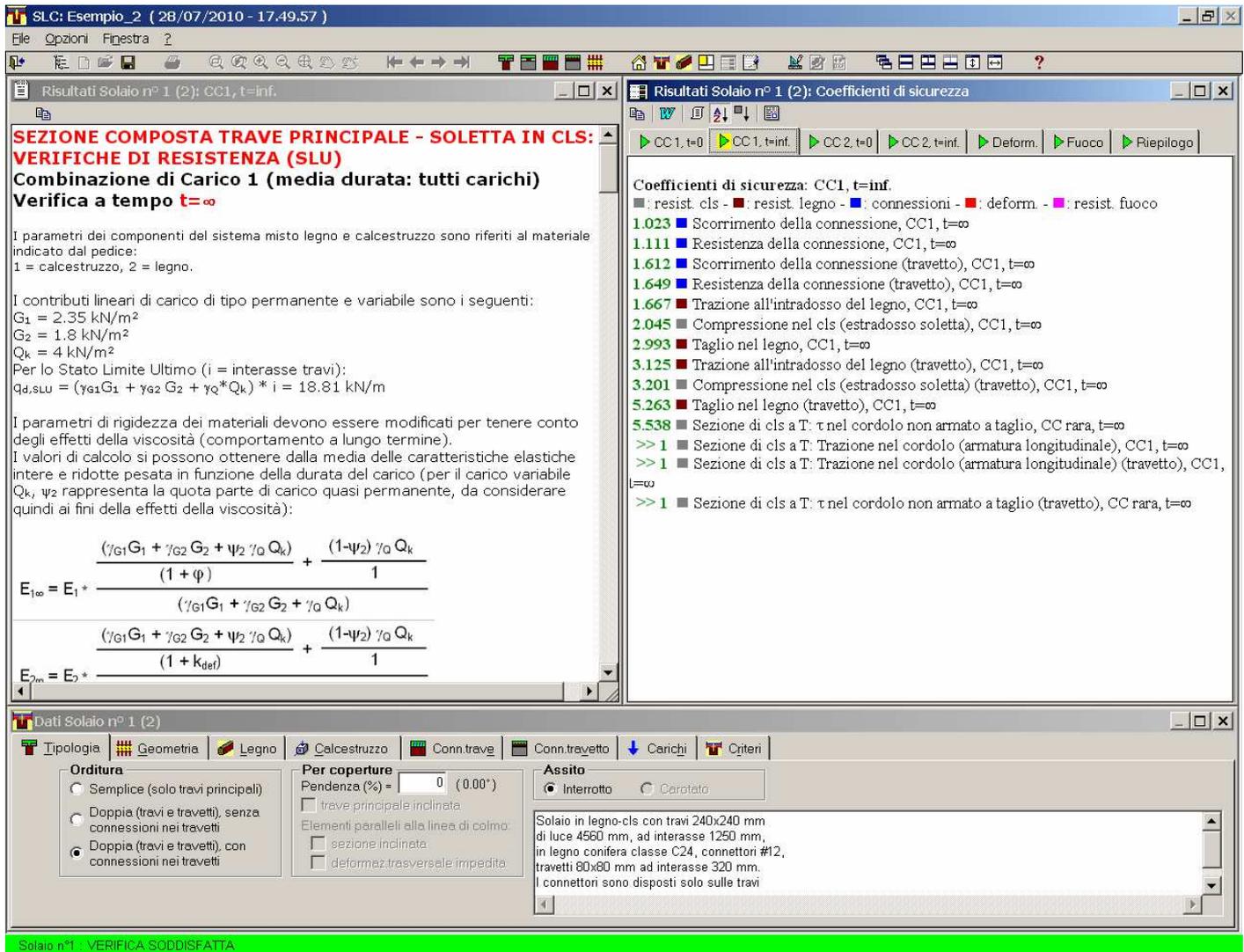
 = **B-B: Sezione Travetto**

 = **C-C: Prospetto Trave.** Determina la rappresentazione grafica del Prospetto della Trave (sviluppo longitudinale della trave contenente la disposizione dei connettori in vista laterale).

 = **D-D: Prospetto Travetto**. Determina la rappresentazione grafica del Prospetto del Travetto (sviluppo longitudinale del travetto contenente la disposizione dei connettori in vista laterale).

 = **Pianta**.

I risultati vengono presentati nella finestra grafica Risultati sotto forma di coefficienti di sicurezza; il testo esteso dei risultati, inclusi i calcoli svolti, può essere consultato facendo clic sul pulsante di comando  (Risultati in forma estesa) della barra degli strumenti della finestra Risultati: questo comando provvede ad aprire (se non già aperta) una finestra di testo apposita dove viene mostrato il testo esteso, corredato di opportune immagini esplicative.



SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)
Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi)
Verifica a tempo $t=\infty$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
 1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:
 $G_1 = 2.35 \text{ kN/m}^2$
 $G_2 = 1.8 \text{ kN/m}^2$
 $Q_k = 4 \text{ kN/m}^2$

Per lo Stato Limite Ultimo ($i = \text{interasse travi}$):
 $q_{d,slu} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k) * i = 18.81 \text{ kN/m}$

I parametri di rigidezza dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine).
 I valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1,\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \phi)} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{1,def} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

Coefficienti di sicurezza: CC1, t=inf.
 ■ : resist. cls - ■ : resist. legno - ■ : connessioni - ■ : deform. - ■ : resist. fuoco

- 1.023 ■ Scorrimento della connessione, CC1, t=∞
- 1.612 ■ Scorrimento della connessione (travetto), CC1, t=∞
- 1.649 ■ Resistenza della connessione (travetto), CC1, t=∞
- 1.667 ■ Trazione all'intradosso del legno, CC1, t=∞
- 2.045 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta), CC1, t=∞
- 2.993 ■ Taglio nel legno, CC1, t=∞
- 3.125 ■ Trazione all'intradosso del legno (travetto), CC1, t=∞
- 3.201 ■ Compressione nel cls (estradosso soletta) (travetto), CC1, t=∞
- 5.263 ■ Taglio nel legno (travetto), CC1, t=∞
- 5.538 ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio, CC rara, t=∞
- >> 1 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale), CC1, t=∞
- >> 1 ■ Sezione di cls a T: Trazione nel cordolo (armatura longitudinale) (travetto), CC1, t=∞
- >> 1 ■ Sezione di cls a T: τ nel cordolo non armato a taglio (travetto), CC rara, t=∞

Dati Solai n° 1 (2)

Tipologia:  Geometria  Legno  Calcestruzzo  Conn.trave  Conn.travetto  Carichi  Criteri

Orditura

- Semplice (solo travi principali)
- Doppia (travi e travetti), senza connessioni nei travetti
- Doppia (travi e travetti), con connessioni nei travetti

Per coperture
 Pendenza (%) = (0.00°)

- trave principale inclinata
- Elementi paralleli alla linea di colmo
- sezione inclinata
- deformaz.transversale impedita

Assito

- Interrotto
- Carotato

Solaio in legno-cls con travi 240x240 mm di luce 4560 mm, ad interasse 1250 mm, in legno conifera classe C24, connettori #12, travetti 80x80 mm ad interasse 320 mm. I connettori sono disposti solo sulle travi

Solaio n°1 - VERIFICA SODDISFATTA

Fig. C.2.5. Risultati: coefficienti di sicurezza (a destra), e risultati in forma estesa (a sinistra)

Avendo inserito tutti i dati, è ora possibile archiviare l'edificio corrente: si utilizzi il comando **Salva (MAIUSC+F12)** della finestra Progetto [Barra degli Strumenti: ]. Poiché il progetto corrente era il progetto 'Anonimo' preimpostato, viene richiesto un nome da attribuire all'archivio: digitare, ad esempio: Solai_Negozio e quindi effettuare il salvataggio. Il nome 'Solai_Negozio' diverrà il nome corrente del progetto, come mostrato in alto nella barra del titolo di SLC.

La verifica risulta soddisfatta da ogni punto di vista.

Attenzione E' interessante usare SLC per comprendere interattivamente come la verifica cambia al variare dei parametri in input. Ad esempio, nella scheda 'Connettori Trave' del solaio n°1 si sostituisca il diametro 16 con il 14: la verifica risulta ancora soddisfatta, ma qui interviene un'osservazione importante: avendo cambiato il diametro dei connettori, cambiano anche i valori teorici previsti per la rigidezza e la resistenza dei connettori. **SLC non cambia direttamente i valori in input**, e la ragione di ciò sta nel fatto di voler assicurare all'Utente la libertà sull'inserimento dei dati (magari utilizzando formulazioni di altra origine). Se tuttavia si vuole assicurare la coerenza fra i valori teorici predefiniti in SLC e i valori in input effettivamente utilizzati nel calcolo, si può fare clic sul pulsante di comando **R** dedicato alla 'Reimpostazione automatica dei parametri dipendenti'. ■

Si faccia ora clic sulla finestra grafica, dove è rappresentata la Sezione A-A (sezione della Trave principale), e si scelga, dal menu Immagine, il comando '**Salva su file DXF**': si genererà il disegno per CAD della sezione della trave, così come visualizzata, su file denominato:

Sez_A-A_Solaio_n°_1_(2).dxf

e posto nel percorso: \Aedes2012\Slc\Progetti\ Solai_Negozi\Output

SEZ.A-A: SEZIONE TRAVE (agli appoggi e in mezzera)
 TRAM sez. 350 x 400 mm., ad interasse 1600 mm.
 Legno: Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]
 Luce libera: 7800 mm.
 Connettori: #16, l=300 mm.
 Profondità di infissione=160 mm.
 Zone agli appoggi (l=1950) : 2#16/125 mm.
 Zona centrale (l=3900) : 2#16/250 mm.

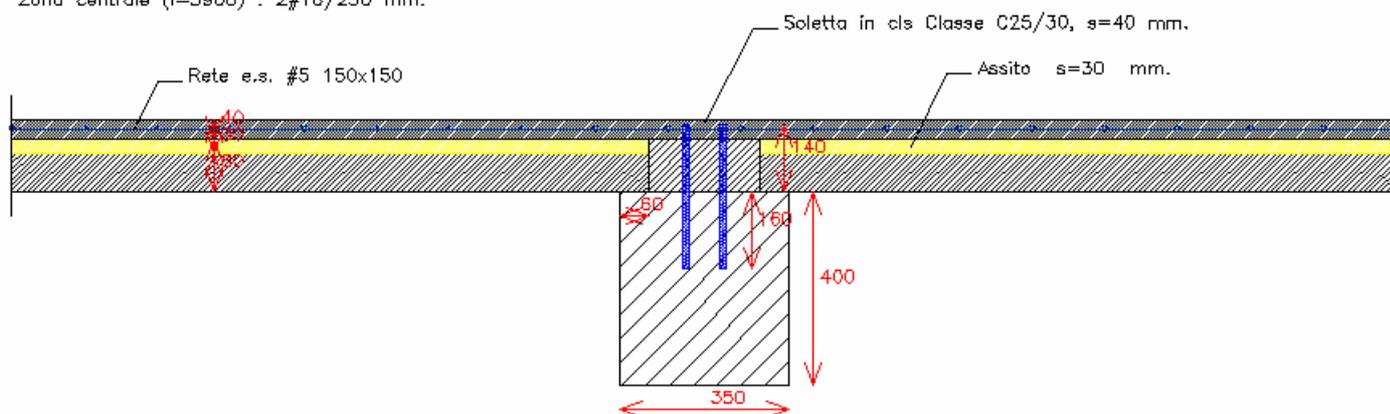


Fig. C.2.6. Sezione A-A del solaio n°1 dell'esempio *Solai_Negozi* (=Esempio_2): output su file DXF

Cambiando la rappresentazione grafica, e selezionando ad esempio la Sezione C-C (Prospetto della Trave), si ottiene lo sviluppo longitudinale con la disposizione dei connettori. Si produca anche per questo disegno l'output su file DXF. Si otterrà un elaborato del tipo riportato in fig. C.2.7.

Sezione e Prospetto si ottengono analogamente per i travetti. E' interessante anche produrre l'output grafico su DXF della Pianta. Si ottiene l'elaborato rappresentato in fig. C.2.8.

L'elaborato grafico di fig. C.2.8 può facilmente essere utilizzato per corredare il disegno architettonico di fig. C.2.1 delle indicazioni esecutive del progetto del solaio in legno e calcestruzzo. Per quanto riguarda il solaio n°2, eseguendo l'output sarebbe comunque ugualmente semplice riadattare il disegno della pianta riprodotto per CAD alla maglia irregolare (è sufficiente utilizzare i comandi di CAD tipo Taglia, Serie, ecc.)

SEZ.C-C : PROSPETTO TRAVE (sviluppo longitudinale)
 TRAVI sez. 350 x 400 mm., ad interasse 1600 mm. [Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]]
 Luce libera: 7800 mm.
 Connettori: #16, l=300 mm.
 Profondità di infissione=160 mm.
 Zone agli appoggi (l=1950): 2#16/125 mm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio: 160 mm.
 Zona centrale (l=3900): 2#16/250 mm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio: 160 mm.

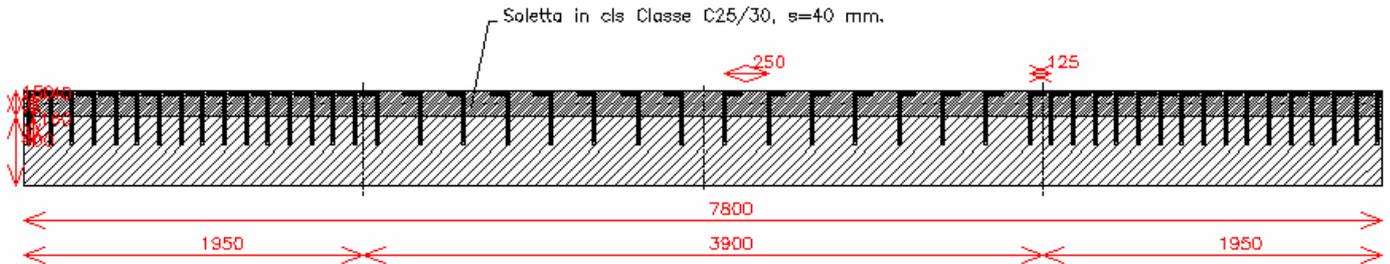


Fig. C.2.7. Sezione C-C del solaio n°1 dell'esempio *Solai_Negoziò* (=Esempio_2): output su file DXF

PIANTA
 TRAVI: sez. 350 x 400 mm., ad interasse 1600 mm.
 Luce libera: 7800 mm.
 Connettori: #16, l=300 mm.
 Zone agli appoggi (l=1950): 2#16/125 mm.
 Zona centrale (l=3900): 2#16/250 mm.
 TRAVETTI sez. 80 x 80 mm., ad interasse 320 mm. [Abete (Nord Italia) (EN 11035) [CNR DT 206/2007]]
 Lunghezza: 1370 mm.

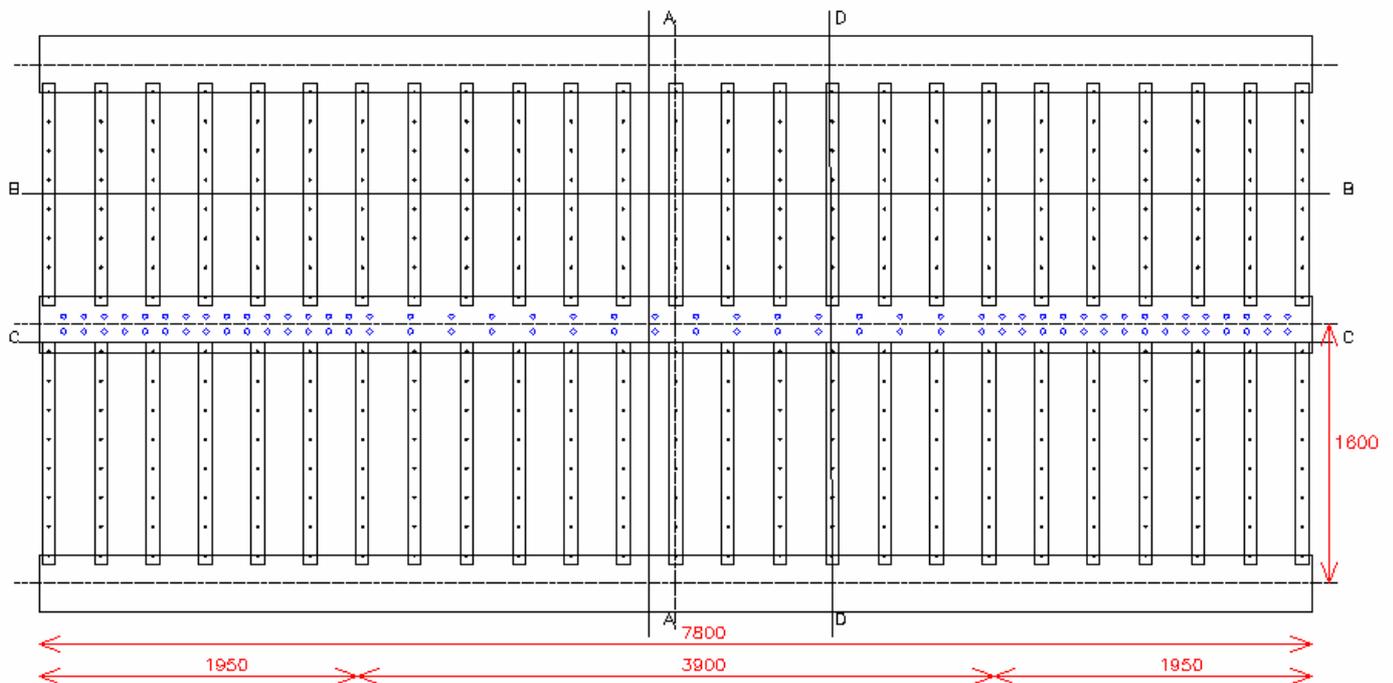


Fig. C.2.8. Pianta del solaio n°1 dell'esempio *Solai_Negoziò* (=Esempio_2): output su file DXF

SLC fornisce quindi la possibilità di ottenere rapidamente disegni esecutivi dei solai in legno - calcestruzzo, corredati di tutti i particolari esecutivi necessari per il cantiere.

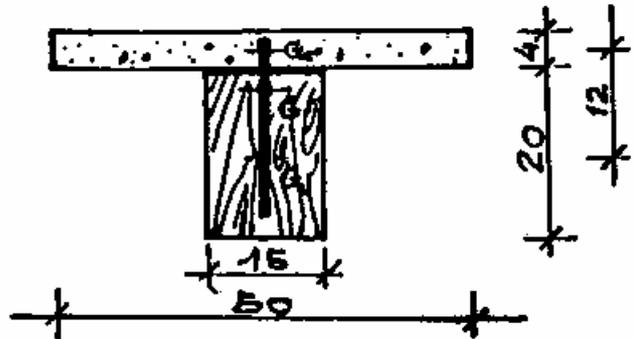
C.3. TEST CON ESEMPIO TRATTO DALLA BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Il file Esempio_3, installato da SLC nella cartella di apprendimento: \Aedes2012\Slc\Es-Apprendi e nella cartella dei progetti: \Aedes2012\Slc\Progetti, si riferisce ad un calcolo illustrato in [6], lavoro pubblicato nel 1992, e riportato a pagina seguente.

ESEMPIO

Dati

$L = 4 \text{ m}$ luce della trave;
 $q = 4850 \text{ N/m}$ carico totale uniformemente distribuito;
 $E_c = 30000 \text{ MPa}$ modulo elastico istantaneo del calcestruzzo;
 $E_l = 10000 \text{ MPa}$ modulo elastico istantaneo del legno.
 Si adottano collegamenti $\varnothing 10$ ogni 120 mm ($\varnothing = 10 \text{ mm}$; $l = 120 \text{ mm}$).



Calcolo a breve termine

Si ha, dalle (12), (14) e (7) rispettivamente:

$$\begin{aligned} [EI]_b &= 1080 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \\ [EI]_l &= 3960 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \\ K &= 8000 \text{ N/mm}. \end{aligned}$$

Risulta pertanto:

$$[EI]_{br} = 2090 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \gamma = 0.35.$$

Il coefficiente di riduzione della rigidità, conseguente allo scorrimento dei collegamenti, risulta così $\eta = 0.53$.

D'altra parte, l'aumento di rigidità rispetto al solo legno risulta essere

$$\frac{[EI]_{br}}{E_l I_l} = 2.1.$$

Si ottiene quindi, per le tensioni normali (essendo $r_c = 40 \text{ mm}$ e $r_l = 80 \text{ mm}$):

$$\begin{aligned} \sigma_{n,c} &= -1.95 \text{ MPa} \\ \sigma_{m,c} &= -2.79 \text{ MPa} \\ \sigma_{Omax} &= (-1.95 - 2.79) = -4.74 \text{ MPa} \\ \sigma_{n,l} &= 1.30 \text{ MPa} \\ \sigma_{m,l} &= 4.65 \text{ MPa} \\ \sigma_{Lmax} &= (1.3 + 4.65) = 5.95 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lo sforzo di taglio su ogni connettore risulta:

$$F = 4680 \text{ N} < F_{am} = 5000 \text{ N}.$$

Calcolo a lungo termine

I moduli elastici convenzionalmente ridotti risultano:

$$\begin{aligned} E_c &= 30000 \times 0.4 = 12000 \text{ MPa}; \\ E_l &= 10000 \times 0.6 = 6000 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

In base a tali valori, il baricentro delle rigidità convenzionali si sposta, cosicché le distanze da esso dei baricentri parziali risultano $r_c = 51.4 \text{ mm}$ e $r_l = 68.8 \text{ mm}$.

Si ha dunque:

$$\begin{aligned} [EI]_b &= 632 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \\ [EI]_l &= 2113 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \\ K &= 4800 \text{ N/mm}. \end{aligned}$$

Risulta pertanto:

$$[EI]_{br} = 1205 \text{ KN} \cdot \text{m}^2; \gamma = 0.39.$$

Il coefficiente di riduzione della rigidità, conseguente allo scorrimento dei collegamenti, risulta in questo caso $\eta = 0.57$, mentre l'aumento di rigidità rispetto al solo legno risulta essere pari a 2.01.

Si ottiene quindi, per le tensioni normali:

$$\begin{aligned} \sigma_{n,c} &= -1.94 \text{ MPa} \\ \sigma_{m,c} &= 1.93 \text{ MPa} \\ \sigma_{Omax} &= (-1.94 - 1.93) = -3.87 \text{ MPa} \\ \sigma_{n,l} &= 1.29 \text{ MPa} \\ \sigma_{m,l} &= 4.83 \text{ MPa} \\ \sigma_{Lmax} &= (1.29 + 4.83) = 6.12 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Lo sforzo di taglio su ogni connettore risulta:

$$F = 4650 \text{ N} < F_{am} = \boxed{5000} \text{ N}.$$

Fig. C.3.1. Esempio di riferimento tratto da [6]

Per eseguire una valutazione con SLC 2012 di questo caso, è necessario modificare alcuni parametri in modo da adattarli alle nuove Normative e renderli coerenti con l'attuale ambiente di progettazione.

In particolare:

- il carico lineare pari a 4.85 kN/m, si può ottenere, per le verifiche allo stato limite ultimo, considerando il carico variabile Q_k corrispondente alla destinazione d'uso per civile abitazione (2.00 kN/m²) e modificando opportunamente il carico permanente G_1 derivato dall'impostazione automatica in base alle strutture di solaio; in tale modifica devono essere considerati i coefficienti amplificativi g , per cui si ha la relazione seguente (nell'ipotesi di interasse delle travi pari a 1.00 m):

$$(\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_Q * Q_k) * i = (1.30 * 1.42 + 1.50 * 2.00) * 1.00 = 4.85 \text{ kN/m}$$

- per la connessione: se il valore della resistenza di progetto $F_{v,Rd}$ è pari a 5000 N, considerando, per le verifiche a media durata (carico permanente + variabile) che:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = 0.8 * F_{v,Rk} / 1.5$$

si deve porre: $F_{v,Rk} = 9375 \text{ N}$

- per quanto riguarda la viscosità dei materiali: per fare sì che la riduzione a tempo infinito dei moduli di elasticità corrisponda a quanto indicato nell'esempio, si deve operare nel seguente modo:

$$\varphi = 1.50 \Rightarrow [1 / (1 + \varphi)] = 0.4, \text{ e quindi: } E_{c\infty} = E_{c0} / (1 + \varphi) = 0.4 E_{c0}$$

$$k_{def} = 0.67 \Rightarrow [1 / (1 + k_{def})] \cong 0.6 \text{ e quindi: } E_{w\infty} = E_{w0} / (1 + k_{def}) = 0.6 E_{w0}$$

conformemente all'esempio considerato (il pedice w indica il legno, e coincide col pedice L dell'esempio);

- più esattamente, si deve comunque considerare che nella formulazione dell'algoritmo di calcolo del solaio misto adottata da SLC 2012 e conforme alle indicazioni bibliografiche più recenti [7], il coefficiente di riduzione a tempo infinito viene ottenuto da una media pesata relativa ai contributi di carico permanente e variabile, e quindi ne deriverà necessariamente un valore diverso da quello utilizzato nell'esempio di riferimento.

Ciò premesso, alcuni risultati possono comunque essere direttamente confrontati con quelli dell'esempio; i confronti sono evidenziati in blu grassetto nel testo dei risultati riportato qui di seguito insieme ai dati di progetto, e più esattamente si riferiscono alla Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi) per la verifica a tempo $t=0$. Si osservi che nel testo originario [6] compaiono due errori di stampa, uno relativo a γ (valore effettivo: 0.153 invece che 0.35) e uno relativo all'efficienza η (valore effettivo: 0.35 anziché 0.53).

Dati Solaio n° 1

Tipologia

Tipo di orditura: Semplice (solo travi principali)

SEZ.A-A : SEZIONE TRAVE (agli appoggi e in mezzeria)

TRAVI sez. 150 x 200 mm., ad interasse 1000 mm.

Legno: Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]

Luce libera: 4000 mm.

Connettori: #10, $l = 150$ mm.

Profondità di infissione = 120 mm.

Zone agli appoggi ($l = 1000$): 1#10 / 120 mm.

Zona centrale ($l = 2000$): 1#10 / 120 mm.

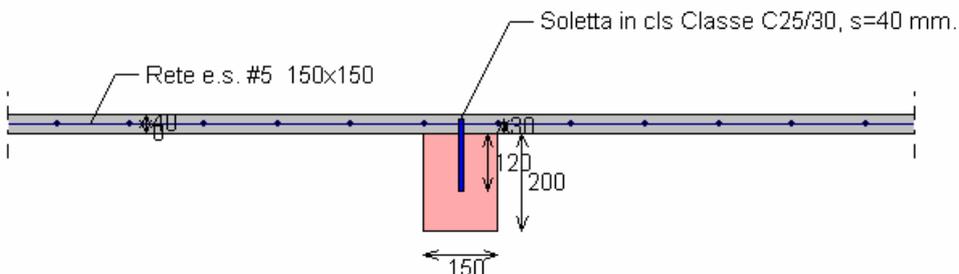


Fig. C.3.2. Sezione della Trave composta

Geometria

Trave principale in legno:

Base della sezione: $b = 150 \text{ mm}$

Altezza della sezione: $h = 200 \text{ mm}$

Interasse tra le travi principali: $i = 1000 \text{ mm}$

Luce di calcolo delle travi: $l = 4000 \text{ mm}$

Soletta in calcestruzzo:

Spessore: $s = 40 \text{ mm}$

Distanza tra soletta e trave (travetti + assito): $t = 0 \text{ mm}$

Larghezza efficace della soletta: $b_{\text{eff}} = 500 \text{ mm}$

Altri componenti:

- spessore: $s_a = 0 \text{ mm}$

Isolante: spessore: $s_i = 0 \text{ mm}$

Legno

Specie e classe di resistenza: Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007] C22

Classe di servizio: 1

Resistenza a flessione $f_{mk} = 22 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t0k} = 13 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c0k} = 20 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a taglio $f_{vk} = 2.4 \text{ N/mm}^2$

Massa volumica $\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$ (Peso specifico = 3.4 kN/m^3)

Coefficiente parziale per le proprietà dei materiali: $\gamma_M = 1.5$

Le **classi di durata del carico** considerate sono due:

1) permanente (per combinazioni di carico comprendenti i soli permanenti): $k_{\text{mod}} = 0.6$

2) media durata (per combinazioni di carico comprendenti tutti i carichi, permanenti e variabili): $k_{\text{mod}} = 0.8$

Le **resistenze di progetto** si distinguono fra i due casi di classi di durata del carico:

(trazione e compressione: parallele alla fibratura)

1) permanente: $k_{\text{mod}} / \gamma_M = 0.6/1.5 = 0.400$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{md} = 8.80 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 5.20 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 8.00 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 0.96 \text{ N/mm}^2$

2) media durata: $k_{\text{mod}} / \gamma_M = 0.8/1.5 = 0.533$

da cui:

resistenza a flessione di progetto: $f_{md} = 11.73 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione di progetto: $f_{td} = 6.93 \text{ N/mm}^2$

resistenza a compressione di progetto: $f_{cd} = 10.67 \text{ N/mm}^2$

resistenza a taglio di progetto: $f_{vd} = 1.28 \text{ N/mm}^2$

Moduli elastici:

Modulo elastico medio parallelo alle fibre:

$E_{0,\text{mean}} = 10000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di taglio medio:

$G_{,\text{mean}} = 630 \text{ N/mm}^2$

Viscosità:

$k_{\text{def}} = 0.67$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del legno per tenere conto degli effetti a lunga durata ($t=\infty$):

$1/(1 + k_{\text{def}}) = 0.599$

Questo fattore di riduzione si applica anche alla rigidezza della connessione per le verifiche a lungo termine.

Calcestruzzo

Peso specifico (=peso volumico) del calcestruzzo: 25 kN/m^3

Classe di resistenza: C25/30

Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$\alpha_{cc} = 0.85$

Coefficiente parziale di sicurezza: $\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione:

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore $< 50 \text{ mm}$:

$f_{cd} = 0.80 * 14.17 = 11.33 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione:

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.20 \text{ N/mm}^2$

da ridurre trattandosi di soletta con spessore $< 50 \text{ mm}$:

$f_{ctd} = 0.80 * 1.20 = 0.96 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico:

Modulo elastico $E_{cm} = 30000 \text{ N/mm}^2$

Viscosità:

Tempo di messa in carico (termine della maturazione): 28 giorni

Umidità relativa dell'atmosfera: 55%

$A_c = 40 * 500 \text{ mm}^2$

$u = 500 \text{ mm}$, da cui: $h_0 = 80 \text{ mm}$

Coefficiente di viscosità: $\varphi = 1.5$

Fattore di riduzione del modulo di elasticità del calcestruzzo per tenere degli effetti a lunga durata ($t = \infty$):

$1 / (1 + \varphi) = 0.400$

Connessione

Barre di armatura ad aderenza migliorata di tipo B450C (§11.3.2.1):

resistenza caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a rottura: $f_{uk} = 540 \text{ N/mm}^2$

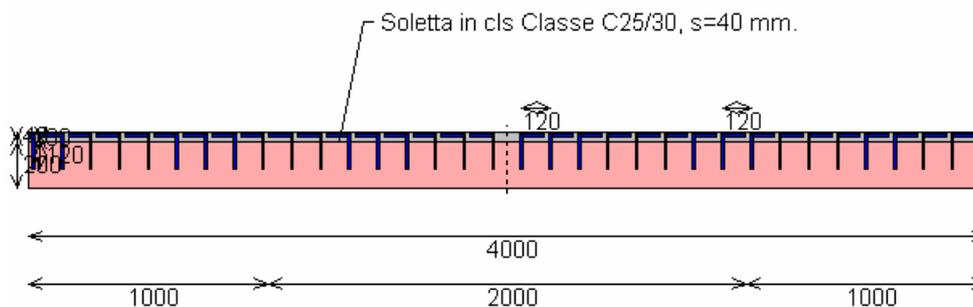
Travi principali

Diametro dei connettori: $\Phi = 10 \text{ mm}$

Interasse dei connettori: $s = 120 \text{ mm}$

SEZ.C-C : PROSPETTO TRAVE (sviluppo longitudinale)

TRAVI sez. 150 x 200 mm., ad interasse 1000 mm.
 Legno: Conifere e pioppo (EN 338) [CNR DT 206/2007]
 Luce libera: 4000 mm.
 Connettori: #10, l = 150 mm.
 Profondità di infissione = 120 mm.
 Zone agli appoggi (l = 1000) : 1#10 / 120 mm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio : 100 mm.
 Zona centrale (l = 2000) : 1#10 / 120 mm.
 - lunghezza del tratto orizzontale di ancoraggio : 100 mm.

**Fig. C.3.3.** Prospetto della Trave con disposizione dei connettori

Profondità di infissione dei connettori nel legno: $l_w = 120$ mm
 Profondità di infissione dei connettori nel calcestruzzo: $l_c = 30$ mm
 Lunghezza dei connettori: $l_b = l_w + t + l_c = 150$ mm

Rigidezze:

K_{ser} (SLE) = 8000 N/mm

K_u (SLU) = 8000 N/mm

Resistenza:

$F_{v,Rk} = 9375$ N

Scorrimento massimo allo stato limite ultimo:

$\delta_{c,lim} = F / K_u = 1$ mm

Il valore di progetto della resistenza a taglio della connessione è quindi dato da:

$F_{v,Rd} = k_{mod} * F_{v,Rk} / \gamma_M = k_{mod} * 9375 / 1.5$

e quindi, per i due valori di riferimento di k_{mod} , relativi rispettivamente ai carichi permanente e di media durata:

permanente: $k_{mod} = 0.6 \Rightarrow F_{v,Rd} = 3750$ N

media durata: $k_{mod} = 0.8 \Rightarrow F_{v,Rd} = 5000$ N

Carichi**Carichi permanenti G_1**

$G_1 = 1.42$ kN/m²

Per SLU: $\gamma_{G1} = 1.3$

Carichi permanenti non strutturali G_2

$G_2 = 0$ kN/m²

Per SLU: $\gamma_{G2} = 1.5$

Carichi variabili Q_k :

Ambiente ad uso residenziale

$Q_k = 2$ kN/m²

$\psi_2 = 0.3$

Per SLU: $\gamma_Q = 1.5$

Limiti di deformabilità

Per la verifica della freccia f si considerano le seguenti limitazioni (l = luce della trave o del travetto):

- verifica a tempo 0: $f \leq (1/300) l$
- verifica a tempo ∞ : $f \leq (1/200) l$

Risultati Solaio n° 1

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi)

Verifica a tempo $t=0$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:

1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_k) * i = 4.85 \text{ kN/m}$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 8E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 1E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = \mathbf{1.08E+12 \text{ Nmm}^2}$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 20000 \text{ mm}^2, y_1 = 220 \text{ mm}$$

$$A_2 = 30000 \text{ mm}^2, y_2 = 100 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 180 \text{ mm}$$

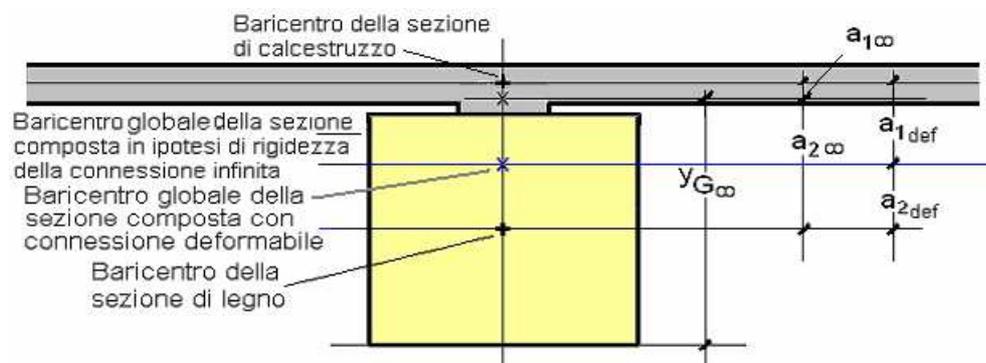
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 40 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 80 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 120 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = \mathbf{3.96E+12 \text{ Nmm}^2}$$

- determinazione della rigidezza efficace:

$$s_{eq} = 120 \text{ mm}, K = K_u = 8000 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = \mathbf{0.153}$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 28 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 92 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 2.090331E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.35$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 9691999 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 9692 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 39037 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 370927 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{\text{max},1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 4.73 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{01} = 11.33/4.73 = 2.394$$

[η_{01} : CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Verifica di trazione nel calcestruzzo all'intradosso della soletta

$$\sigma_{\text{min},1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -0.83 \text{ N/mm}^2$$

$$|\sigma_{\text{min},1}| < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{02} = 0.96/-0.83 = 1.157$$

[η_{02} : CC 1, $t=0$, trazione per pressoflessione nel cls al lembo teso (intradosso soletta)]

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{\text{min},1}|/\sigma_{\text{max},1}) = 34 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 39037 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * M_d = 4636586 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 1000000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 1.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 4.64 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.59 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{06} = 1/0.59 = 1.695$$

[η_{06} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 128 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.38 \text{ N/mm}^2 < 1.28 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{07} = 1.28/0.38 = 3.367$$

[η_{07} : CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE

Verifica di resistenza

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 4684 \text{ N}$$

$$F_{v,Sd} = 4684 < F_{v,Rd} = 5000 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{08} = 5000/4684 = 1.067$$

[η_{08} : CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,lim}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 4684 / 8000 = 0.59 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{09} = 1/0.59 = \mathbf{1.708}$$

[η_{09} : CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 1 (media durata: tutti carichi)

Verifica a tempo $t=\infty$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k) * i = 4.85 \text{ kN/m}$$

I parametri di rigidezza dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine).

I valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \varphi)} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{2\infty} = E_2 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

Pertanto:

$$E_{1\infty} = 30000 * 0.66 = 19800 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = 10000 * 0.7727 = 7727 \text{ N/mm}^2$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 5.280066E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 7.726602E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 8.254609E+11 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 20000 \text{ mm}^2, y_1 = 220 \text{ mm}$$

$$A_2 = 30000 \text{ mm}^2, y_2 = 100 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 176 \text{ mm}$$

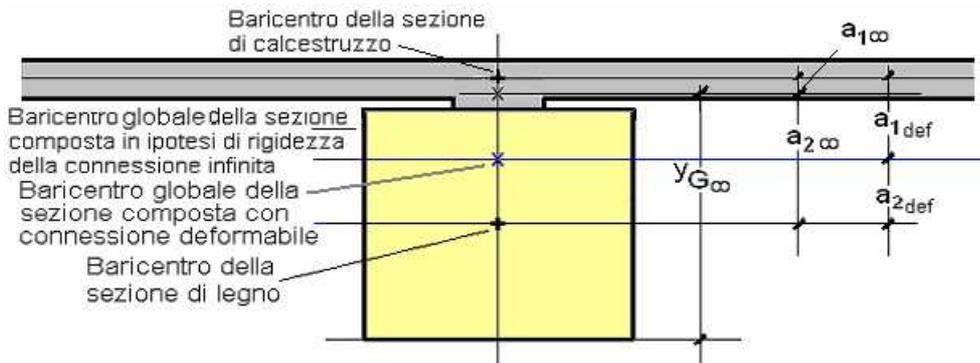
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 44 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 76 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 120 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.930933E+12 \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidità efficace:

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno (0.7727), viene applicato anche alla rigidità della connessione:

$$s_{eq} = 120 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.7727 * K_u = 6181 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.174$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 28 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 92 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 1.590828E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.36$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 9691999 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 9692 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] * M_d = 38858 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * M_d = 321684 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 4.36 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{01} = 11.33 / 4.36 = \mathbf{2.602}$$

[η_{10} : CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Verifica di trazione nel calcestruzzo all'intradosso della soletta

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -0.47 \text{ N/mm}^2$$

$$|\sigma_{min,1}| < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{11} = 0.96 / -0.47 = \mathbf{2.044}$$

[η_{11} : CC 1, $t=0$, trazione per pressoflessione nel cls al lembo teso (intradosso soletta)]

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}| / \sigma_{max,1}) = 36 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{eff}] * M_d = 38858 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] * M_d = 4707375 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 1000000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 1.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 4.71 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.59 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{15} = 1/0.59 = \mathbf{1.695}$$

[η_{15} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 128 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{eff}] * V_d = 0.38 \text{ N/mm}^2 < 1.28 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{16} = 1.28/0.38 = \mathbf{3.345}$$

[η_{16} : CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE

Verifica di resistenza

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{eff}] * V_d = 4663 \text{ N}$$

$$F_{v,Sd} = 4663 < F_{v,Rd} = 5000 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{17} = 5000/4663 = \mathbf{1.072}$$

[η_{17} : CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,lim}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 4663 / 6181 = 0.75 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{18} = 1/0.75 = \mathbf{1.326}$$

[η_{18} : CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 2 (lunga durata: solo carichi permanenti)

Verifica a tempo $t=0$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q*Q_k) * i = 1.85 \text{ kN/m}$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1J_1 = 8E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2J_2 = 1E+12 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_iJ_i = E_1J_1 + E_2J_2 = 1.08E+12 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 20000 \text{ mm}^2, y_1 = 220 \text{ mm}$$

$$A_2 = 30000 \text{ mm}^2, y_2 = 100 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_iA_iy_i) / (\sum E_iA_i) = 180 \text{ mm}$$

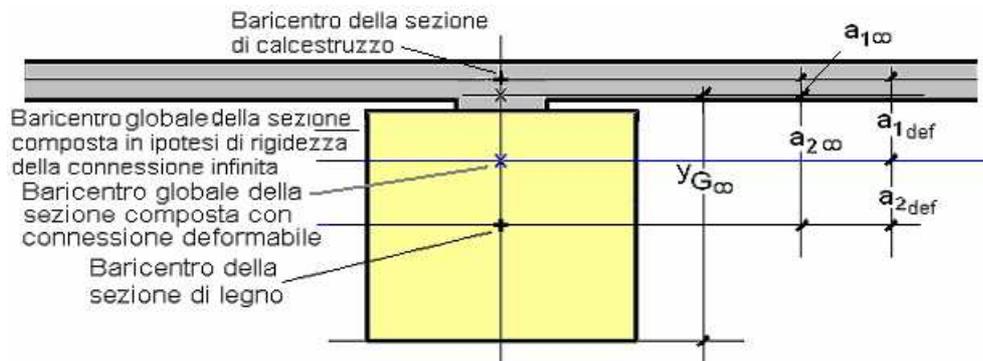
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 40 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 80 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 120 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_\infty = \sum E_iJ_i + \sum E_iA_ia_i^2 = 3.96E+12 \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidezza efficace:

$$s_{eq} = 120 \text{ mm}, K = K_u = 8000 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.153$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 28 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 92 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_iJ_i + (\sum \gamma_i E_iA_ia_i^2) = 2.090331E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_\infty - (EJ)_0] = 0.35$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 3692000 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 3692 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] * M_d = 14871 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * M_d = 141298 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 1.8 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{01} = 11.33/1.8 = \mathbf{6.285}$$

[η_{19} : CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Verifica di trazione nel calcestruzzo all'intradosso della soletta

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -0.32 \text{ N/mm}^2$$

$$|\sigma_{min,1}| < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{20} = 0.96/-0.32 = \mathbf{3.036}$$

[η_{20} : CC 1, $t=0$, trazione per pressoflessione nel cls al lembo teso (intradosso soletta)]

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}|/\sigma_{max,1}) = 34 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{eff}] * M_d = 14871 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] * M_d = 1766227 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 1000000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 1.77 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.3 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{24} = 1/0.3 = \mathbf{3.333}$$

[η_{24} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 128 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{eff}] * V_d = 0.14 \text{ N/mm}^2 < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{25} = 0.96/0.14 = \mathbf{6.628}$$

[η_{25} : CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE**Verifica di resistenza**

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{eq}) / (EJ)_{eff}] * V_d = 1784 \text{ N}$$

$$F_{v,Sd} = 1784 < F_{v,Rd} = 5000 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{26} = 5000/1784 = \mathbf{2.101}$$

[η_{26} : CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,lim} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,lim}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 1784 / 8000 = 0.22 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{27} = 1/0.22 = \mathbf{4.483}$$

[η_{27} : CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Combinazione di Carico 2 (lunga durata: solo carichi permanenti)

Verifica a tempo $t=\infty$

I parametri dei componenti del sistema misto legno e calcestruzzo sono riferiti al materiale indicato dal pedice:
1 = calcestruzzo, 2 = legno.

I contributi lineari di carico di tipo permanente e variabile sono i seguenti:

$$G_1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Per lo Stato Limite Ultimo (i = interasse travi):

$$q_{d,SLU} = (\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k) * i = 1.85 \text{ kN/m}$$

I parametri di rigidezza dei materiali devono essere modificati per tenere conto degli effetti della viscosità (comportamento a lungo termine).

I valori di calcolo si possono ottenere dalla media delle caratteristiche elastiche intere e ridotte pesata in funzione della durata del carico (per il carico variabile Q_k , ψ_2 rappresenta la quota parte di carico quasi permanente, da considerare quindi ai fini della effetti della viscosità):

$$E_{1\infty} = E_1 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + \varphi)} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

$$E_{2\infty} = E_2 * \frac{\frac{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \psi_2 \gamma_Q Q_k)}{(1 + k_{def})} + \frac{(1-\psi_2) \gamma_Q Q_k}{1}}{(\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q_k)}$$

Pertanto:

$$E_{1\infty} = 30000 * 0.4 = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = 10000 * 0.5988 = 5988 \text{ N/mm}^2$$

Rigidezze flessionali

- ipotesi di rigidezza della connessione nulla:

$$E_1 J_1 = 3.2E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 5.988024E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 6.308024E+11 \text{ Nmm}^2$$

- ipotesi di rigidezza della connessione infinita:

coordinata y : da intradosso trave

area e posizione baricentro delle sezioni dei singoli elementi:

$$A_1 = 20000 \text{ mm}^2, y_1 = 220 \text{ mm}$$

$$A_2 = 30000 \text{ mm}^2, y_2 = 100 \text{ mm}$$

posizione baricentro sezione globale:

$$y_{G\infty} = (\sum E_i A_i y_i) / (\sum E_i A_i) = 169 \text{ mm}$$

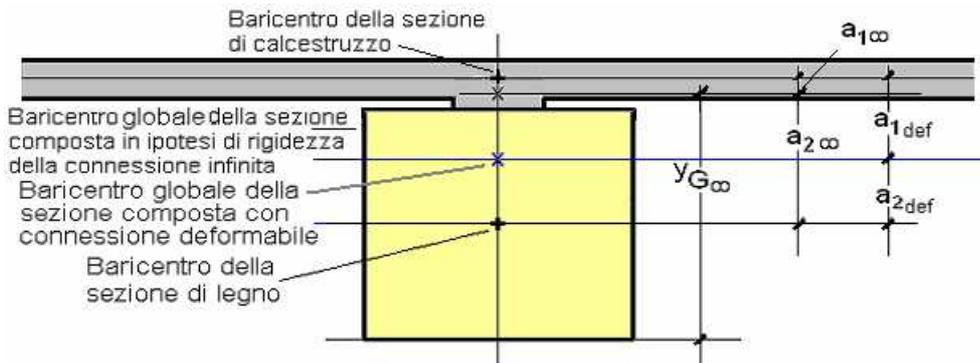
distanza dei baricentri dei singoli elementi da quello dell'intera sezione:

$$a_1 = h_2 + d - y_{G\infty} = 51 \text{ mm}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - h_2/2 = 69 \text{ mm}$$

distanza tra i baricentri geometrici delle sezioni dei due componenti:

$$a = a_1 + a_2 = 120 \text{ mm}$$



In fig.: Parametri statici per la sezione composta in legno-calcestruzzo

$$(EJ)_{\infty} = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.110254E+12 \text{ Nmm}^2$$

- determinazione della rigidità efficace:

il coefficiente correttivo per la viscosità, sopra calcolato, relativo al modulo di elasticità del legno (0.5988), viene applicato anche alla rigidità della connessione:

$$s_{eq} = 120 \text{ mm}, K_{u,\infty} = 0.5988 * K_u = 4790 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.212$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 27 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 93 \text{ mm}$$

rigidità efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 1.202561E+12 \text{ Nmm}^2$$

efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.39$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,SLU} * l^2 / 8 = 3692000 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,SLU} * l / 2 = 3692 \text{ N}$$

VERIFICA DEL CALCESTRUZZO

$$N_{1,d} = [(\gamma_1 E_1 a_1 A_1) / (EJ)_{eff}] * M_d = 14628 \text{ N}$$

$$M_{1,d} = [(EJ)_1 / (EJ)_{eff}] * M_d = 98244 \text{ Nmm}$$

Verifica di compressione al lembo compresso (estradosso della soletta)

$$\sigma_{max,1} = (N_{1,d} / A_1) + (M_{1,d} / W_e) = 1.47 \text{ N/mm}^2 < 11.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{01} = 11.33 / 1.47 = \mathbf{7.719}$$

[η_{28} : CC 1, $t=0$, compressione per pressoflessione nel cls al lembo compresso (estradosso soletta)]

Verifica di trazione nel calcestruzzo all'intradosso della soletta

$$\sigma_{min,1} = (N_{1,d} / A_1) - (M_{1,d} / W_i) = -0.01 \text{ N/mm}^2$$

$$|\sigma_{min,1}| < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{29} = 0.96 / -0.01 = \mathbf{176.956}$$

[η_{29} : CC 1, $t=0$, trazione per pressoflessione nel cls al lembo teso (intradosso soletta)]

Posizione dell'asse neutro nella sezione di calcestruzzo

$$x_c = h / (1 + |\sigma_{min,1}| / \sigma_{max,1}) = 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

VERIFICA DEL LEGNO

$$N_{2,d} = [(\gamma_2 E_2 a_2 A_2) / (EJ)_{eff}] * M_d = 14628 \text{ N}$$

$$M_{2,d} = [(EJ)_2 / (EJ)_{eff}] * M_d = 1838391 \text{ Nmm}$$

Verifica a tensoflessione

$$W_2 = b_2 h_2^2 / 6 = 1000000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{n,2} = (N_{2,d} / A_2) = 0.49 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = (M_{2,d} / W_2) = 1.84 \text{ N/mm}^2$$

La formula di verifica è la seguente:

$$(\sigma_{n,2} / f_{td}) + (\sigma_{m,2} / f_{md}) = 0.3 < 1$$

$$\Rightarrow \eta_{33} = 1/0.3 = \mathbf{3.333}$$

[η_{33} : CC 1, $t=0$, trazione per tensoflessione nel legno al lembo teso (intradosso trave)]

Verifica a taglio

$$x_1 = h_2/2 + a_2 = 127 \text{ mm}$$

$$\tau_2 = 0.5 x_1^2 * [E_2 / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 0.15 \text{ N/mm}^2 < 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{34} = 0.96/0.15 = \mathbf{6.524}$$

[η_{34} : CC 1, $t=0$, taglio nel legno]

VERIFICA DELLA CONNESSIONE

Verifica di resistenza

$$F = [(\gamma_1 E_1 A_1 a_1 s_{\text{eq}}) / (EJ)_{\text{eff}}] * V_d = 1755 \text{ N}$$

$$F_{v,Sd} = 1755 < F_{v,Rd} = 5000 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \eta_{35} = 5000/1755 = \mathbf{2.136}$$

[η_{35} : CC 1, $t=0$, resistenza della connessione]

Verifica di scorrimento

$$\delta_{c,\text{lim}} = \max\{1 \text{ mm.}, L/4000\} = 1 \text{ mm}$$

Deve essere:

$$\delta_c = F / K_{u,\infty} \leq \delta_{c,\text{lim}}$$

$$\text{Si ha: } \delta_c = 1755 / 4790 = 0.37 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{36} = 1/0.37 = \mathbf{2.729}$$

[η_{36} : CC 1, $t=0$, scorrimento della connessione]

SEZIONE COMPOSTA TRAVE PRINCIPALE - SOLETTA IN CLS: VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

VERIFICA A TEMPO $t=0$

Determinazione della rigidezza efficace:

$$K = K_{\text{ser}} = 8000 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{\text{eq}} / (K l^2)]^{-1} = 0.153$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 28 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 92 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 2.090331E+12 \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidezza efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo 0, e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 2.090331E+12 \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{\text{eff}} - (EJ)_0] / [(EJ)_{\infty} - (EJ)_0] = 0.35$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

La freccia viene calcolata suddivisa nei singoli contributi dei carichi permanenti e dei carichi variabili; per tenere conto della deformabilità a taglio si applica, a favore di sicurezza, un fattore moltiplicativo pari a 1.10 (incremento del 10%).

I singoli contributi di carico, utilizzati per la combinazione rara, sono i seguenti:

$$g_1 = 1.42 * 1000 = 1.42 \text{ kN/m} \text{ (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 0 * 1000 = 0 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 * 1000 = 2 \text{ kN/m}$$

Per il calcolo della freccia istantanea viene utilizzata la rigidezza efficace in condizioni iniziali $(EJ)_{\text{eff,ser,t=0}}$:

$$f_{G1,r,ist} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{\text{eff,ser,t=0}} = 1.10 * (5/384) * 1.42 * 4000^4 / (2.090331E+12) = 2.49 \text{ mm}$$

$$f_{G2,rist} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 0 * 4000^4 / (2.090331E+12) = 0 \text{ mm}$$

$$f_{Q,rist} = 1.10 * (5/384) q_k * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 2 * 4000^4 / (2.090331E+12) = 3.51 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4000$ mm:

$$f_{ist} = 2.49+0+3.51 = 6 \text{ mm} = (1/667) l < (1/300) l = 13.33 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{37} = 13.33/6 = \mathbf{2.223}$$

[η_{37} : trave, $t=0$, freccia]

VERIFICA A TEMPO $t=\infty$

La deformazione finale è data dalla somma di due contributi:

(i) la deformazione a lungo termine dovuta al carico quasi permanente, utilizzando valori ridotti dei moduli di elasticità;

(ii) la deformazione istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile: $Q_k*(1-\psi_2)$, utilizzando valori non ridotti dei moduli di elasticità.

Per quanto riguarda il contributo (ii), la rigidezza efficace è già stata calcolata e vale:

$$(EJ)_{eff,ser,t=0} = 2.090331E+12 \text{ Nmm}^2$$

Per (i) si deve ricalcolare la rigidezza efficace, tenendo conto della riduzione dovuta alla viscosità.

I moduli di elasticità del calcestruzzo e del legno, ridotti per tenere conto della deformazione a lungo termine, sono i seguenti:

$$E_{1\infty} = E_1 / (1+\phi) = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{2\infty} = E_2 / (1+k_{def}) = 5988 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 J_1 = 3.2E+10 \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 5.988024E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_0 = \sum E_i J_i = E_1 J_1 + E_2 J_2 = 6.308024E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_\infty = \sum E_i J_i + \sum E_i A_i a_i^2 = 2.110254E+12 \text{ Nmm}^2$$

Il coefficiente correttivo per la viscosità del legno: $1/(1+k_{def})=0.5988$ viene applicato, come già noto, anche alla rigidezza della connessione:

$$K = K_{ser} = 4790 \text{ N/mm}$$

Si ha:

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E_1 A_1 s_{eq} / (K l^2)]^{-1} = 0.212$$

distanze tra i baricentri geometrici delle sezioni 1 e 2 e il baricentro globale della sezione composta con connessione deformabile:

$$a_2 = a / [1 + (E_2 A_2) / (\gamma_1 E_1 A_1)] = 27 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 93 \text{ mm}$$

rigidezza efficace del sistema:

$$(EJ)_{eff} = \sum E_i J_i + (\sum \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 1.202561E+12 \text{ Nmm}^2$$

Questa rigidezza efficace compete quindi allo stato limite di esercizio a tempo ∞ , e si indica anche con il seguente simbolo:

$$(EJ)_{eff,ser,t=\infty} = 1.202561E+12 \text{ Nmm}^2$$

Efficienza della connessione:

$$\eta = [(EJ)_{eff} - (EJ)_0] / [(EJ)_\infty - (EJ)_0] = 0.39$$

VERIFICA DELLA FRECCIA

La freccia a lungo termine assume la seguente espressione:

$$\alpha (g_1 + g_2 + \psi_2 q_k) / (EJ)_{eff,ser,t=\infty} + \alpha (1-\psi_2) (q_k / (EJ)_{eff,ser,t=0})$$

$$\text{dove } \alpha = 1.10 * (5/384) * l^4$$

I singoli contributi di carico, utilizzati per la combinazione rara, sono i seguenti:

$$g_1 = 1.42 * 1000 = 1.42 \text{ kN/m} \text{ (si osservi che l'unità di misura kN/m ha lo stesso ordine dell'unità N/mm, usata nell'espressione della freccia)}$$

$$g_2 = 0 * 1000 = 0 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 * 1000 = 2 \text{ kN/m}$$

La freccia finale è dunque espressa dalle seguenti relazioni:

(i) freccia a lungo termine dovuta al carico quasi permanente:

$$f_{G1,fin} = 1.10 * (5/384) g_1 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 1.42 * 4000^4 / (1.202561E+12) = 4.33 \text{ mm}$$

$$f_{G2,fin} = 1.10 * (5/384) g_2 * l^4 / (EJ)_{eff,ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 0 * 4000^4 / (1.202561E+12) = 0 \text{ mm}$$

$$f_{Q,fin} = 1.10 * (5/384) * l^4 * \psi_2 q_k / (EJ)_{eff,ser,t=\infty} = 1.10 * (5/384) * 4000^4 * 0.3 * 2 / (1.202561E+12) = 1.83 \text{ mm}$$

(ii) freccia istantanea dovuta alla quota 'non quasi permanente' del carico variabile:

$$f_{Q,ist} = 1.10 * (5/384) * l^4 * (1 - \psi_2) q_k / (EJ)_{eff,ser,t=0} = 1.10 * (5/384) * 4000^4 * 0.7 * 2 / (2.090331E+12) =$$

$$= 2.46 \text{ mm}$$

Risulta pertanto, essendo $l=4000$ mm:

$$f_{fin} = 4.33+0+1.83+2.46 = 8.61 \text{ mm} = (1/464) l < (1/200) l = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \eta_{38} = 20/8.61 = \mathbf{2.322}$$

$[\eta_{38}: \text{trave, } t=\infty, \text{ freccia}]$

TRAVE PRINCIPALE IN LEGNO: VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Per la verifica di resistenza al fuoco si considera la combinazione eccezionale (§2.5.3), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto: i carichi permanenti g vengono considerati nella loro totalità, mentre al carico variabile q_k si applica il proprio coefficiente ψ_2 :

$$G_1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 0.3 * 2 = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

Il calcolo della resistenza al fuoco viene condotto attribuendo la totalità del carico alla sezione residua della trave di legno:

$$q_{d,fi} = (1.42+0+0.6) * 1000 = 2.02 \text{ kN/m},$$

cui corrispondono le seguenti sollecitazioni di progetto:

Momento in mezzera:

$$M_d = q_{d,fi} * l^2 / 8 = 4040000 \text{ Nmm}$$

Taglio agli appoggi:

$$V_d = q_{d,fi} * l / 2 = 4040 \text{ N}$$

Sezione efficace

La velocità di carbonizzazione è assunta pari a $\beta_n = 0.8$ mm/min (cfr. [5]EN 1995-1-2:2004 (E), Tab.3.1).

Dopo 60 minuti di esposizione al fuoco, la profondità di carbonizzazione è pari a:

$d_{ef} = 0.8 * 60 + 7 = 55$ mm, e di conseguenza, essendo la trave in legno del solaio esposta su 3 lati, la sezione diventa:

$$b_{ef} * h_{ef} = (150 - 55 * 2) * (200 - 55) = 40 * 145 \text{ mm}^2$$

L'area resistente si riduce quindi da: $150 * 200 = 30000 \text{ mm}^2$ a: $40 * 145 = 5800 \text{ mm}^2$

Il modulo di resistenza della sezione ridotta vale: $W = 40 * 145^2 / 6 = 140167 \text{ mm}^3$

Verifica di resistenza a flessione

Resistenza di progetto:

$$f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{mk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (22 * 1.25) / 1.00 = 27.5 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\sigma_{mfi} = 28.82 \text{ N/mm}^2 > f_{m,fi,d} = 27.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{39} = 27.5/28.82 = \mathbf{0.952}$$

$[\eta_{39}: \text{trave, resistenza al fuoco, flessione}]$

Verifica di resistenza a taglio

Resistenza di progetto:

$$f_{v,fi,d} = k_{mod,fi} * (f_{vk} * k_{fi}) / \gamma_{Mfi} = 1 * (2.4 * 1.25) / 1.00 = 3 \text{ N/mm}^2$$

Risulta:

$$\tau_{fi} = (3/2) * V_d / A = 1.04 \text{ N/mm}^2 < f_{v,fi,d} = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \eta_{40} = 3/1.04 = \mathbf{2.871}$$

$[\eta_{40}: \text{trave, resistenza al fuoco, taglio}]$

Posizione dei connettori

Sul piano della sezione trasversale della trave, la distanza minima dal lato esterno della trave a cui i connettori devono essere posti è pari a:

$$d_{ef} + 2.5 = 55 + 25 = 80 \text{ mm}$$

Nel caso di un solo connettore, questo viene posto in mezzeria e quindi dista $150/2=75 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$ dal lato esterno della trave

(posizione non ammessa)

Nel caso di connettori $\Phi 10$ accoppiati posti nello stesso piano della sezione trasversale della trave, la distanza netta tra i due connettori non può superare:

$$(150-80-80-2*10)/2 = 0 \text{ mm}$$

(interfero ammissibile in confronto ad un valore minimo che può essere assunto pari a 20 mm.)

Per il caso in esame, il coefficiente di sicurezza relativo a connettori singoli (non accoppiati) è il seguente:

$$\Rightarrow \eta_{41} = 75/80 = \mathbf{0.938}$$

[η_{41} : trave, resistenza al fuoco, posizione dei connettori]

Alcune considerazioni sui risultati

I risultati evidenziati in blu grassetto mostrano ottima corrispondenza con quanto sviluppato nell'esempio di riferimento. Dal punto di vista dell'analisi complessiva, vi è solo un lieve problema (coefficienti di sicurezza di poco inferiori a 1.000) sulla Resistenza al fuoco: con una trave lignea di base 160 mm. anziché 150 mm. anche la verifica di resistenza al fuoco avrebbe esito positivo, come si può immediatamente constatare modificando il valore di B (scheda Geometria, dimensioni della Trave): i risultati si aggiornano in tempo reale e tutti le verifiche di sicurezza risultano soddisfatte.