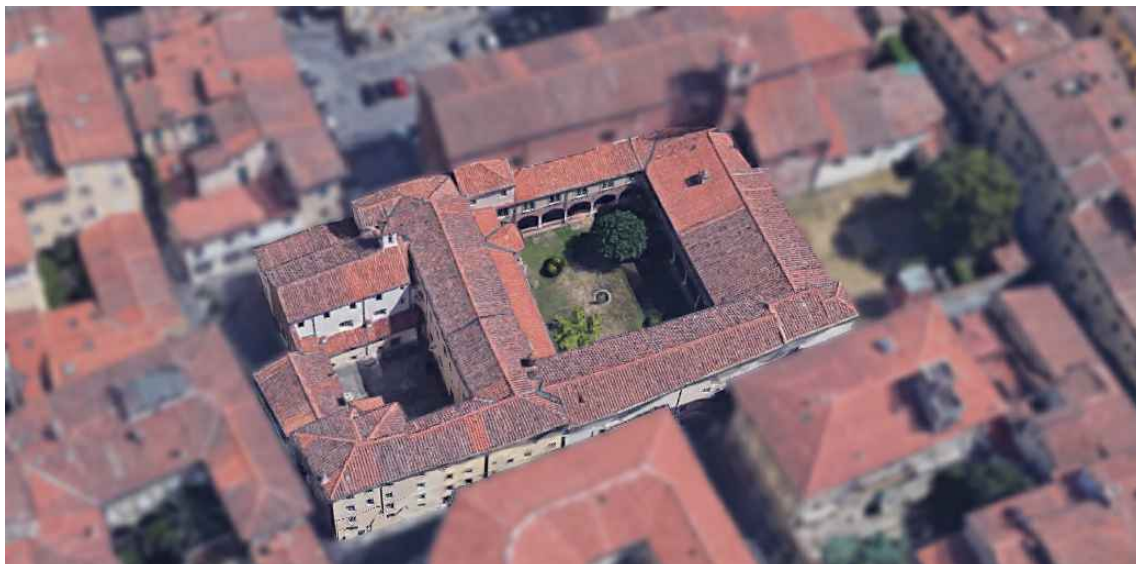


PROGRAMMA REGIONALE FESR 2021-2027 PRIORITÀ 2 - OBS 2.4.1 PREVENZIONE SISMICA NEGLI EDIFICI PUBBLICI - PROGRAMMAZIONE INTERVENTI DI PREVENZIONE SISMICA PATRIMONIO EDILIZIO PUBBLICO STRATEGICO O RILEVANTE "MIGLIORAMENTO SISMICO DEL CENTRO CULTURALE AGORÀ, PIAZZA DEI SERVI, LUCCA - INTERVENTO 2: PT 17A/2025 - COMPLETAMENTO LAVORI DI MIGLIORAMENTO SISMICO - CUP J66F24000030002"



PROGETTO ESECUTIVO

Progettisti:



**B.F. Progetti Società di
Ingegneria s.r.l.**

INGEGNERIA, ARCHITETTURA E GEOLOGIA
di Ing. Pierluigi Betti, Ing. Andrea Fedi, Ing. Luciano
Lambroia, Ing. Giacomo Martinelli, Arch. Chiara Nostrato,
Geol. Sandro Pulcini
viale Adua 320, 51100 PISTOIA Tel e fax 0573/24323
C.F. e P.IVA 01579540475 e-mail. info@bfprogetti.eu
pec. bfprogetti@pec.it
www.bfprogetti.eu

Responsabile Unico del Progetto:
Ing. Stefano Angelini
(Comune di Lucca)

I Progettisti:
Ing. Giacomo Martinelli
Arch. Chiara Nostrato

Il Direttore Tecnico:
Ing. Pierluigi Betti

Collaboratori:
Ing. Filippo Dorandi
Dott. Leonardo Sergi
Arch. Patrizio Biagini

(Timbro e firma)

Commessa: 01-24

Elaborato:

2.RS.S

Data emissione: Ottobre 2025

Rev.n.

Data:

Descrizione:

OGGETTO:

**- INTERVENTO 2 -
RELAZIONE SPECIALISTICA OPERE
STRUTTURALI**

RELAZIONE OPERE STRUTTURALI – LOTTO 2

Premessa

La presente relazione tratta le **opere facenti parte del LOTTO 2**, relative all'intervento sull'edificio di proprietà del Comune di Lucca ad uso biblioteca, centro culturale e sede di uffici pubblici sito in Via delle Trombe, 6 nel centro storico di Lucca.

Per l'edificio in questione è già stato redatto un progetto di Miglioramento Sismico, il quale è stato validato dalla Società Benigniengineering S.r.l. ad aprile 2024 (per poter essere depositato sul Portale Ainop); lo stesso progetto è stato poi depositato sul Portale del Servizio Sismico della Regione Toscana (Portos) in data 05/05/2025 con numero di progetto 165535. Tale progetto risulta autorizzato dal Tecnico Istruttore del Servizio Sismico Regionale (con avviso datato 12/06/2025, protoc. n. 20250042812).

Gli interventi previsti comprendono dei lavori di consolidamento/rifacimento di parte della copertura oltre ad alcuni solai di piano; inoltre, si prevedono interventi di consolidamento statico/sismico di alcuni maschi murari, oltre all'introduzione di nuovi tiranti metallici all'intradosso di coperture e/o solai eliminare i cinematismi locali ed assorbire le spinte statiche orizzontali. Il progetto autorizzato è stato diviso in n.2 stralci funzionali, così divisi:

Stralcio 1. In questo lotto di lavori sono presenti tutti gli interventi più urgenti, che riguardano essenzialmente i problemi derivanti dal comportamento statico dell'edificio, evidenziati dalla vulnerabilità sismica redatta a fine 2020. In tale stralcio sono presenti tutti i consolidamenti statici che interessano gli orizzontamenti, di piano e di copertura; essi consistono anche in sostituzioni di porzioni di solaio aventi delle carenze statiche tali da non poter essere consolidati. Nel medesimo lotto di lavori sono presenti i consolidamenti delle pareti che presentano serie criticità statiche, per le quali si è previsto di intervenire con iniezioni di miscele leganti, intonaco armato a basso spessore o aumento di spessore tramite raddoppio in blocchi di muratura portante. Contestualmente si sono previsti dei consolidamenti con tecnica "scuci-cuci" laddove sono presenti delle lesioni/fessure sui pannelli murari. Sono state introdotte delle catene metalliche per eliminare la spinta statica delle coperture spingenti; inoltre, per quanto possibile, si è cercato di aggiungere in questo stralcio le catene metalliche aventi il compito di eliminare i meccanismi di ribaltamento in caso di evento sismico quanto queste devono essere introdotte in vani già oggetto di intervento del primo stralcio, in modo da non ritornare in tali ambienti durante il lotto di lavori successivo.

Stralcio 2. In questo lotto di lavori sono presenti tutti gli interventi necessari per raggiungere il miglioramento sismico del fabbricato. Essi consistono negli stessi interventi di consolidamento dei maschi murari esposti nello stralcio 1, ma estesi ad un ulteriore numero pareti, e nell'introduzione di un ulteriore quantitativo di catene metalliche aventi il compito di eliminare i cinematismi fuori piano.

Nelle tavole progettuali validate (da validatore esterno) ed autorizzate (dal servizio sismico) sono presenti tutti gli interventi con indicazione dello stralcio di lavori a cui fanno riferimento.

Attualmente i lavori del primo stralcio sono stati appaltati ad un'impresa esecutrice ed i lavori sono ad oggi in corso di esecuzione.

A seguito dell'ottenimento di un **finanziamento da parte del Servizio Sismico Regionale**, visto che le risorse economiche sono maggiori rispetto a quelle necessarie per il progetto di miglioramento sismico redatto, **è stato deciso di estendere gli interventi di consolidamento anche su altri elementi del fabbricato**. Tale scelta è stata presa in accordo con i tecnici del Servizio Sismico ed ha come obiettivo quello di incrementare ulteriormente il livello di sicurezza del fabbricato; l'intervento precedentemente progettato aveva infatti il compito di garantire un livello di sicurezza minimo dell'edificio in base all'attuale normativa sismica. Contestualmente, visto le maggiori risorse a disposizione, è stato deciso di trasferire alcuni interventi previsti nel secondo stralcio di lavori nel primo lotto di intervento (in corso di esecuzione); ciò riguarda soprattutto gli interventi previsti nelle zone occupate dalle lavorazioni del primo stralcio dei lavori (consolidamento murari ed inserimento di catene metalliche). In questo modo si evita di dover occupare in un secondo momento le zone già interdette diminuendo il disagio per gli utilizzatori del fabbricato. Inoltre, visto che durante che l'esecuzione dei lavori del primo stralcio si sono verificati alcuni imprevisti che hanno fatto aumentare l'importo dei lavori, si è deciso di convogliare nel secondo stralcio alcuni interventi a piano terra e piano primo che riguardano dei consolidamenti murari. Tali lavori non verranno realizzati nel primo lotto

attualmente in corso. Per ulteriori indicazioni a riguardo viene redatta contemporaneamente una variante ai lavori già appaltati.

Gli **interventi aggiuntivi previsti in questo stralcio di progetto** sono sostanzialmente della stessa tipologia, ma con l'aggiunta del consolidamento di ulteriori maschi murari, della sostituzione di ulteriori controsoffitti, del rifacimento di tramezzature fragili con elementi in cartongesso, della sostituzione di alcuni solai di piano terra ammalorati, del risanamento del parapetto del balcone posto sul chiostro interno e del consolidamento estradossale di una volta a corridoio di piano primo.

Possiamo considerare il progetto del secondo stralcio dei lavori a tutti gli effetti come una variante strutturale al progetto precedentemente autorizzato.

In questa fase verranno consegnate nuovamente tutte le tavole che si riferiscono allo stato attuale tra le quali è stata modificata la 2.A.01, nella quale si sono riportate delle informazioni aggiuntive che riguardano il solaio di piano terra oggetto di intervento, oltre alle tavole di progetto architettonico e strutturale con riportati i soli interventi che riguardano questo stralcio di lavori.

Per gli interventi già autorizzati si rimanda al relativo progetto; di seguito si tratteranno gli interventi integrativi e si farà un riassunto degli interventi già autorizzati che riguardano il secondo stralcio dei lavori. Per le foto degli elementi consolidati o sostituiti si rimanda alla relazione generale.

Gli interventi aggiuntivi sulle murature (iniezioni/placcaggi), concordati con tecnici del servizio sismico visto le maggiori risorse a disposizione, sono stati introdotti in zone dove già erano presenti dei rinforzi strutturali localizzati su singoli maschi murari, in modo da uniformare la risposta dell'edificio aumentando il livello di sicurezza localizzato della singola parete. Ci si è quindi limitati ad intervenire ulteriormente in zona o piani dove già erano previsti consolidamenti.

Visto che il comportamento sismico globale dell'edificio risente dei consolidamenti sui maschi murari **si è proceduto ad effettuare delle nuove analisi sismiche globali di tipo non lineare (push-over)** così come era stato eseguito in progetto, andando a ricavare i nuovi indici di rischio. L'incremento dell'indice globale minimo (tra tutte le 24 analisi svolte) a seguito degli interventi è risultato essere pari a 0,607, di poco superiore a quello fornito dalla precedente situazione, pari a 0,604. Questo perché la crisi che genera il minimo indice avviene su un maschio murario in una porzione nella quale non sono stati aggiunti interventi. Se si guarda però le altre 23 analisi si possono notare miglioramenti anche fino al 10% rispetto all'indice attuale. Ciò vuol dire che il livello di miglioramento del comportamento sismico globalmente è stato incrementato, ma ciò non è apprezzabile sulla curva che determina l'indice di rischio minimo.

Nel fascicolo di calcolo 02 si riportato i risultati delle analisi sismiche aggiornate.

INTERVENTI INTEGRATIVI

Di seguito si riportano gli interventi non inizialmente previsti nel procedo autorizzato.

INTERVENTI SULLE MURATURE

In accordo con i tecnici del Servizio Sismico Regionale si è previsto di estendere i consolidamenti dei maschi murari su ulteriori elementi in modo da uniformare l'intervento, seguendo la seguente filosofia: laddove era previsto il consolidamento di alcune porzioni di muratura (quelle che presentavano maggior criticità), si è preferito estendere l'intervento sulla totalità della parete. Ciò permette di incrementare la resistenza complessiva del paramento e di uniformare il comportamento sismico del fabbricato.

Gli Interventi consistono in:

1. **iniezioni con geomalta** ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida ed a base di pura calce NHL 3.5 compatibile con vecchie murature; quando viene effettuata questa lavorazione è prevista una rasatura della parete interessata ed una tinteggiatura a calce;
2. **placcaggio con intonaco armato** costituito da geomalta di tipo NHL 3.5 e tessuto bidirezionale in basalto ed acciaio inox; lo spessore di tale intonaco risulta dell'ordine di 1.5 cm per cui si riesce a rientrare nello spessore dell'intonaco esistente; quando è prevista questa lavorazione è prescritta anche la demolizione dell'intonaco esistente, una rasatura a seguito dell'applicazione dell'intonaco armato e tinteggiatura a calce. E' previsto il placcaggio di alcuni elementi divisorii di piano secondo e primo con introduzione di longarine metalliche in testa per evitarne il ribaltamento in zona dove vengono rimossi in controsoffitti.

Durante l'esecuzione di demolizioni dei controsoffitti in testa ai divisori nel primo stralcio dei lavori i tramezzi, a seguito delle suddette demolizioni, si sono presentati in equilibrio precario; visto che le lavorazioni sono simili si decide di consolidarli preventivamente.

In fase di redazione del progetto esecutivo già approvato, prima di decidere il consolidamento da effettuare su ogni parete e da che lato iniettare la geomalta, era stata effettuata una campagna di **indagine stratigrafica** (inviata insieme al progetto esecutivo redatto ed approvato lo scorso anno, al quale si rimanda) su una serie significativa di pareti oggetti di intervento. I saggi hanno sancito l'assenza di intonaci o decorazioni di particolare importanza storica, rilevati solo in un ambiente nel quale non vengono effettuati interventi di consolidamento sul lato della parete interessata.

INTERVENTI SUI CONTROSOFFITTI

Sono presenti **controsoffitti realizzati in cannicciato o in intonaco armato con rete metallica di piccolo diametro**, i quali risultano non essere idonei da un punto di vista statico-sismico; essi sono ancorati agli elementi soprastanti (travi di copertura o travi "porta soffitto") attraverso fili di ferro e chiodi metallici degradati a causa della corrosione. Il **controsoffitto** stesso risulta essere un elemento di vulnerabilità in quanto **di tipo pesante** a causa dell'intonaco ad elevato spessore ed a causa dei collegamenti non efficienti con cui esso è vincolato al sistema di pendinatura. **Tutto il sistema non risulta certificabile a carichi statici e sismici**: anche in caso di leggero evento tellurico la controsoffittatura potrebbe collassare e causare danni agli utenti degli ambienti sottostanti. Si fa notare che una parte di questa tipologia di controsoffitti ai piani inferiori ha mostrato dei cedimenti che hanno fatto allarmare la committenza, la quale si è adoperata in tempi brevissimi per interdire gli ambienti nei quali si è verificato tale problema. E' presente inoltre una zona nella quale il controsoffitto è costituito da lastre di cartongesso ancorate alla coperture inclinate e non aventi pendinature antisismiche.

I controsoffitti delle tipologie elencate sopra ubicate nelle zone che non erano oggetto del precedente intervento di miglioramento sismico vengono con questo progetto sostituiti con **nuovi controsoffitti in lastre di cartongesso liscio ancorati direttamente alle strutture portanti della copertura**. In tali ambienti è previsto anche un rifacimento impiantistico a soffitto.

Laddove tali controsoffitti siano posti sotto la copertura, si prevede di porre in opera un pannello isolante di tipo ISOVER PAR 4+ da 95 mm (o similare di pari caratteristiche) posto direttamente sopra il nuovo controsoffitto in modo da rispettare i requisiti minimi previsti dal DM 16/06/2015.

Per le foto dettagliate dello stato attuale dei controsoffitti da sostituire si rimanda alla Relazione Generale.

In alcuni degli ambienti nei quali tali controsoffitti vengono rimossi, si prevede di migliorare l'appoggio delle capriate metalliche di copertura solidarizzando il collegamento dei profilati che le costituiscono alle murature.

INTERVENTI SUI SOLAI

Il **solaio di calpestio di piano terra** posto nella zona est del fabbricato, in corrispondenza del piano interrato, risulta essere **ammalorato** perché attaccato da agenti biologici. Di alcune porzioni di essi, nei mesi scorsi, se ne è consigliata le puntellature per poter continuare ad utilizzare gli ambienti soprastanti. Tali solai sono costituiti da travi principali e travetti in legno, con l'aggiunti di rompitratta in acciaio in alcuni campi.

Se ne prevede la completa sostituzione con solai analoghi; i nuovi solai sono costituiti da **travi principali e travicelli lignei collaboranti con la soprastante soletta in cls**, grazie all'utilizzo di connettori metallici progettati per trasferire lo sforzo di taglio.

In alcuni ambienti risultano essere presenti delle **colonne in muratura** per le quali si prevede la **fasciatura con nastri di C-FRP**.

Si rimanda agli elaborati grafici per la completa presa visione dell'intervento ed al relativo allegato di calcolo (fascicolo di calcolo 01) per le verifiche.

CONSOLIDAMENTO BALAUSTRATA CHIOSTRO

La **balaustra presente sul balcone che si affaccia sul chiostro** interno risulta essere ammalorata e non stabile dal punto di vista strutturale. Sono presenti delle **lesioni sui pilastri** in muratura e su alcuni tratti di corrimano non originale (non in pietra). Se ne prevede il consolidamento con nastrature di CFRP e fiocchi inghisati alla base delle colonnine per aumentare la resistenza a compressione e ribaltamento fuori piano, la parziale sostituzione del corrimano posticcio, l'introduzione di una catena metallica sulla volta longitudinale per eliminare la spinta della volta soprastante in questa direzione ed un elemento metallico di collegamento tra le colonne a livello del corrimano per stabilizzare la bare delle colonne.

Si rimanda agli elaborati grafici per un maggiore dettaglio.

CONSOLIDAMENTO VOLTA SOTTOTETTO

A soffitto del corridoio di piano primo dell'ala est del fabbricato è presente una volta a botte in mattoni pieni disposti a coltello. All'intradosso sono visibili delle lesioni che nel progetto precedentemente validato venivano ripristinate localmente tramite un intervento di "scuci-cuci". Visto le maggiori risorse economiche a disposizione si è deciso di effettuare un intervento che prevede un grado di sicurezza maggiore: si prevede di **placcare all'estradosso l'intera volta con n.3 strati di tessuto in fibra di carbonio (C-FRP)** in modo da lasciare un passo netto di 30 cm tra le due nastrature adiacenti, regolarizzando il piano di posa per garantire la perfetta aderenza. Agli appoggi sulle pareti portanti si prevede poi inserire dei fiocchi, sempre in C-FRP, inghisati nella muratura ed impregnati nella resina del composito.

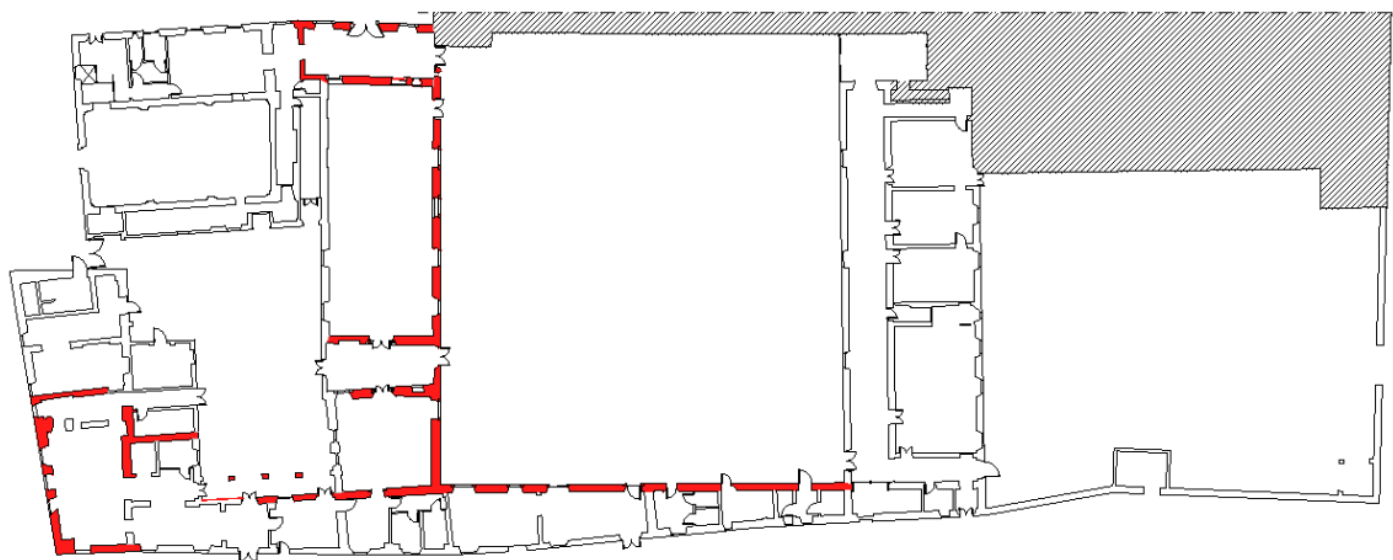
Si precisa che l'elemento consolidato risulta essere un orizzontamento che non porta nessun altro carico (se non il peso proprio) in quanto al di sopra di esso è presente un vano di sottotetto.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico.

INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Oltre agli interventi integrativi in questo lotto sono presenti tutti gli interventi già previsti nel progetto di Miglioramento Sismico autorizzato, necessari per ottenere un indice di vulnerabilità sismica almeno pari a 60%. Tali interventi sono stati implementati nei calcoli globali e locali per le verifiche di sicurezza nel progetto già autorizzato. Nello specifico gli interventi consistono in consolidamenti di murature (mediante iniezioni o placcaggi) ed inserimento di catene metalliche per contrastare il ribaltamento delle pareti.

In aggiunta sono presenti alcuni interventi di consolidamento delle pareti tramite iniezioni, intonaco armato o raddoppio in mattoni pieni inizialmente presenti nel lotto 1 (attualmente in esecuzione) ma da esso stralciati per utilizzare le risorse per alcuni imprevisti sorti sui lavori in copertura. Tali interventi sono riportati sulle tavole progettuali e vengono indicati velocemente anche nelle immagini sottostanti. Questa relazione differisce da quella presentata in conferenza dei servizi in quanto tali opere non era presenti su essa dato che gli imprevisti citati sono sorti successivamente. Questi consolidamenti erano comunque stati giù autorizzati a seguito della conferenza dei servizi del mese di marzo del 2024.



Interventi sulle murature stralciati dal lotto 1 – Piano Terra



Interventi sulle murature stralciati dal lotto 1 – Piano Mezzanino

Si precisa ancora una volta che tali interventi sono stati validati da una società esterna ed autorizzati dal Tecnico Istruttore del Genio Civile, oltre ad essere stati esposti contestualmente alla conferenza dei Servizi conclusasi con esito positivo, alla quale era stata invitata a partecipare il “Ministero per i beni e le Attività Culturali – Soprintendenza per i Beni Architettonici Paesaggistici, Storici, Artistici, Etnoantropologici ed Archeologici per le Province di Lucca e Massa Carrara”.

Si rimanda agli elaborati grafici per ulteriori dettagli.

RELAZIONE SUI MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo C25/30 (Rck300) XC1-S4 nuovo solaio

tensione normale di compressione ammissibile $f_{ck}=24,9 \text{ N/mm}^2$

Acciaio in barre B450C

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$

Acciaio da Cartpenteria tipo S275 (Fe430)

Tensione di snervamento ($t < 40 \text{ mm}$) $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$

Bulloni e barre filettate classe 8.8

Tensione di snervamento $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$

Malta per iniezioni e placcatura con intonaco armato

Geomalta ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante minerale, intervallo granulometrico 0-100 μm , GreenBuilding Rating® Bio 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di $\text{CO}_2 \leq 250 \text{ g/kg}$, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$

Rete biassiale in fibra naturale di basalto e acciaio inox

Tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo $> 750 \text{ MPa}$, modulo elastico $E > 200 \text{ GPa}$; fibra di basalto: resistenza a trazione $\geq 3000 \text{ MPa}$, modulo elastico $E \geq 87 \text{ GPa}$; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032 \text{ mm}$.

Nastri in frp (materiale composito fibrorinforzato)

in fibra di carbonio monodirezionale Classe 210C
Tensione di rottura del nastro $> 2700 \text{ Mpa}$ Spessore = 0.164mm

Fiocchi in frp (materiale composito fibrorinforzato) in fibra di carbonio

Diametro nominale = 10 mm

Area equivalente di tessuto a secco = 26.79 mmq

Massa volumica = 1.8 g/cmc

Tensione di rottura fibra = 4830 MPa

Modulo di elasticità a trazione = 230 GPa

Allungamento a rottura = 2%

LEGNO MASSICCIO C24 - (norme UNI-EN 1995-1-1) o classe superiore in termini di resistenze

Resistenza caratteristica a flessione	$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione parallela	$f_{t0k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione perpendicolare	$f_{t90k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a compressione parallela	$f_{c0k} = 21 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare	$f_{c90k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a taglio	$f_{vk} = 4,0 \text{ N/mm}^2$

Alle pagine seguenti si riportano i fascicoli di calcolo

- FASCICOLO DI CALCOLO 01 – SOSTITUZIONE SOLAIO PIANO TERRA
- FASCICOLO DI CALCOLO 02 – AGGIORNAMENTO ANALISI SISMICA

FASCICOLO DI CALCOLO 01 – SOSTITUZIONE SOLAIO PIANO TERRA**MATERIALI UTILIZZATI****CALCESTRUZZO ELEVAZIONI CLASSE DI RESISTENZA C25/30 (norme UNI-EN 206)**Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: $f_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$

Classe di consistenza S4; Classe di esposizione XC1

Dimensione massima inerte 15 mm

ACCIAIO PER ARMATURA B 450 C (norme UNI-EN 15630)

Barre e reti elettrosaldate

Tensione caratteristica di snervamento

 $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura

 $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$ **LEGNO MASSICCIO C24 - (norme UNI-EN 1995-1-1)**

Resistenza caratteristica a flessione

 $f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione parallela

 $f_{t0k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione perpendicolare

 $f_{t90k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a compressione parallela

 $f_{c0k} = 21 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare

 $f_{c90k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a taglio

 $f_{vk} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ **Analisi dei carichi**

Nuovo solaio in legno

Soletta in c.a.	125 daN/m ²
Solaio in legno: piccola orditura in legno e pianellato in laterizio	50 daN/m ²
Solaio in legno: grossa orditura	20 daN/m ²
CARICO PERMANENTE (G1)	195 daN/m²
Pavimento in cotto	40 daN/m ²
Massetto ($g=1600 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m}$)	192 daN/m ²
CARICO NON STRUTTURALI (G2)	232 daN/m²
CARICO ACCIDENTALE cat. C2 (Qk)	400 daN/m²
CARICO ACCIDENTALE cat. E1 (Qk)	600 daN/m²

Verifiche solai di copertura piano interrato

Il calcolo è stato effettuato con il programma TECNARIA per travi miste legno e calcestruzzo - Versione 4.30

Solai misti legno-calcestruzzo con connettori TECNARIA

Verifiche agli Stati Limite in accordo a:

- Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018
- Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno
- Approvazione Tecnica CSTB connettori Tecnaria
- Valutazione Tecnica Europea ETA-18/0649

SOLAIO F1 - TRAVETTI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm

- Interasse travetti: 30 cm

Base travetti: 8 cm

Altezza travetti: 8 cm

Luce travetti: 167 cm

- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 5.57 \text{ mm}$ Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 4.77 mm

Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 6.68 \text{ mm}$

CARICHI

- Totale permanenti di prima fase: 1.75 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 4.00 kN/m^2

MATERIALI

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- k_h a flessione = 1.13
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
- k_h a trazione = 1.13
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio $\rho_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico $\rho = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/ 40 posato su tavolato di 0.00 cm
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
- Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
- Rigidezza connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
- Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
- Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
- Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
- Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
- Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.60$
- Appoggio del tavolato su trave: 2.0 cm
- Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

Connettori Tecnaria MAXI 12/ 40

Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 50.0 cm
- nella metà centrale della trave: 50.0 cm

Numero di connettori per trave: 4

Numero di connettori a metro quadrato: 7.98

Armatura minima nel raccordo: $0.00 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.

Armatura minima nella soletta: $0.42 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.

Armatura trasversale nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 0.24 kNm
- Taglio di 1° fase: 0.57 kN
- LEGNO - flessione: $0.19 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.20 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- Freccia di 1° fase: 1.42 mm

___ VERIFICHE FASE MISTA ___

Larghezza soletta collaborante: 30.0 cm

___ STATO LIMITE ULTIMO ___

- Momento massimo: $0.24 + 0.94 \text{ kNm}$
- Taglio massimo: $0.57 + 2.26 \text{ kN}$
- Verifiche a tempo zero
- CLS - tensione max: $4.76 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
- CLS - tensione min: -4.48 N/mm^2
- LEGNO - tensoflessione: $0.41 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.44 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- CONN. - taglio: $2530 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$
- Verifiche a tempo infinito
- CLS - tensione max: $4.36 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
- CLS - tensione min: -3.97 N/mm^2
- LEGNO - tensoflessione: $0.43 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.46 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- CONN. - taglio: $3531 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

___ STATO LIMITE DI ESERCIZIO ___

- EJ a tempo zero: 170.7 kNm^2
- EJ a tempo infinito: 73.8 kNm^2
- Freccia iniziale car var: $0.71 \text{ mm} \leq 5.57 \text{ mm}$
- Freccia attiva: $1.80 \text{ mm} \leq 4.77 \text{ mm}$
- Freccia a tempo infinito: $3.63 \text{ mm} \leq 6.68 \text{ mm}$

SOLAIO F1 – TRAVI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 8 cm
- Altezza travetti: 8 cm
- Interasse travi: 155 cm
- Base travi: 16 cm
- Altezza travi: 16 cm
- Luce travi: 235 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 7.83 \text{ mm}$
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 6.71 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 9.40 \text{ mm}$

___ CARICHI ___

- Permanenti portati per metro quadrato
- Altri di 1° fase: 0.39 kN/m^2
- Carico iniziale: 1.92 kN/m^2
- 1° carico di tipo fragile: 0.00 kN/m^2
- Carichi successivi : 0.40 kN/m^2
- Totale permanenti di prima fase: 1.95 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 4.00 kN/m^2

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
 - Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
 - kh a flessione = 1.00
 - Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
 - kh a trazione = 1.00
 - Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
 - Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
 - Peso specifico medio $r_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
 - Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
 - Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
 - Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
 - Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
 - Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
 - Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
 - Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
 - Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$
 - Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
 - Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnarica CTL MAXI 12/105 posato su trave
 - Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
 - Rigidità connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
 - Rigidità connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
 - Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
 - Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
 - Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
 - Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
 - Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
 - Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
 - Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.60$
 - Spessore tavole contenimento: 2.0 cm
 - Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

Connettori Tecnarica MAXI 12/105
 Connettori a spaziatura variabile
 - ai quarti estremi della trave: 45.5 cm
 - nella metà centrale della trave: 50.0 cm
 Numero di connettori per trave: 5
 Numero di connettori a metro quadrato: 1.37
 Armatura minima nel raccordo: $1.28 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.
 Armatura minima nella soletta: $0.37 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.
 Armatura trasversale nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Disporre staffe per area di: $1.19 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 2.72 kNm
- Taglio di 1° fase: 4.63 kN
- LEGNO - flessione: $0.31 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.40 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- Freccia di 1° fase: 2.00 mm

___ VERIFICHE FASE MISTA ___

- Larghezza soletta collaborante: 87.6 cm
- Larghezza cordolo tra le teste dei travetti: 8.0 cm
- Larghezza interruzione/carotaggio tavolato: 12.0 cm

___ STATO LIMITE ULTIMO ___

- Momento massimo: 2.72 + 9.65 kNm
- Taglio massimo: 4.63 + 16.42 kN
- Verifiche a tempo zero
- CLS - tensione max: 4.92 N/mm² <= 14.17 N/mm²
- CLS - tensione min: -13.53 N/mm²
- LEGNO - tensoflessione: 0.68 <= 1.00
- LEGNO - taglio: 0.90 N/mm² <= 2.13 N/mm²
- CONN. - taglio: 7553 N <= 10293 N
- Verifiche a tempo infinito
- CLS - tensione max: 4.40 N/mm² <= 14.17 N/mm²
- CLS - tensione min: -11.76 N/mm²
- LEGNO - tensoflessione: 0.70 <= 1.00
- LEGNO - taglio: 0.93 N/mm² <= 2.13 N/mm²
- CONN. - taglio: 10293 N <= 10293 N

___ STATO LIMITE DI ESERCIZIO ___

- EJ a tempo zero: 2340.0 kNm²
- EJ a tempo infinito: 1082.4 kNm²
- Freccia iniziale car var: 1.05 mm <= 7.83 mm
- Freccia attiva: 2.49 mm <= 6.71 mm
- Freccia a tempo infinito: 5.10 mm <= 9.40 mm

SOLAIO F2 e F3 - TRAVETTI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 8 cm
- Altezza travetti: 8 cm
- Luce travetti: 115 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 3.83$ mm
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 3.29 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 4.60$ mm

___ CARICHI ___

- Totale permanenti di prima fase: 1.75 kN/m²
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m²
- Totale variabili: 4.00 kN/m²

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0$ N/mm²
- k_h a flessione = 1.13
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5$ N/mm²
- k_h a trazione = 1.13
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00$ N/mm²
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000$ N/mm²
- Peso specifico medio $\rho_m = 4.2$ kN/m³
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$

- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
 - Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
 - Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
 - Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
 - Peso specifico $\rho = 25.0 \text{ kN/m}^3$
 - Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
 - Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
 - Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/ 40 posato su tavolato di 0.00 cm
 - Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
 - Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
 - Rigidezza connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
 - Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
 - Altri parametri
 - Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
 - Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
 - Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
 - Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
 - Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
 - Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.60$
 - Appoggio del tavolato su trave: 2.0 cm
 - Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

Connettori Tecnaria MAXI 12/ 40
 Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 50.0 cm
- nella metà centrale della trave: 50.0 cm

Numero di connettori per trave: 3
 Numero di connettori a metro quadrato: 8.70
 Armatura minima nel raccordo: $0.00 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.
 Armatura minima nella soletta: $0.22 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.
 Armatura trasversale nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 0.11 kNm
- Taglio di 1° fase: 0.39 kN
- LEGNO - flessione: $0.09 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.14 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- Freccia di 1° fase: 0.32 mm

VERIFICHE FASE MISTA

Larghezza soletta collaborante: 29.0 cm

STATO LIMITE ULTIMO

- Momento massimo: $0.11 + 0.45 \text{ kNm}$
- Taglio massimo: $0.39 + 1.56 \text{ kN}$
- Verifiche a tempo zero
- CLS - tensione max: $2.46 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
- CLS - tensione min: -2.38 N/mm^2
- LEGNO - tensoflessione: $0.20 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.30 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- CONN. - taglio: $956 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

- Verifiche a tempo infinito
- CLS - tensione max: $2.27 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
- CLS - tensione min: -2.17 N/mm^2
- LEGNO - tensoflessione: $0.21 \leq 1.00$
- LEGNO - taglio: $0.32 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
- CONN. - taglio: $1362 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

___ STATO LIMITE DI ESERCIZIO ___

- EJ a tempo zero: 149.1 kNm^2
- EJ a tempo infinito: 61.8 kNm^2
- Freccia iniziale car var: $0.18 \text{ mm} \leq 3.83 \text{ mm}$
- Freccia attiva: $0.49 \text{ mm} \leq 3.29 \text{ mm}$
- Freccia a tempo infinito: $0.91 \text{ mm} \leq 4.60 \text{ mm}$

SOLAIO F2 e F3 - TRAVI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 8 cm
- Altezza travetti: 8 cm
- Interasse travi: 98 cm
- Base travi: 16 cm
- Altezza travi: 16 cm
- Luce travi: 292 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 9.73 \text{ mm}$
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 8.34 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 11.68 \text{ mm}$

___ CARICHI ___

- Totale permanenti di prima fase: 1.95 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 4.00 kN/m^2

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- kh a flessione = 1.00
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
- kh a trazione = 1.00
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio $r_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/105 posato su trave
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
- Rigidità connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$

Rigidità connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.60$
Spessore tavole contenimento: 2.0 cm
Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

Connettori Tecnar MAXI 12/105
Connettori a spaziatura variabile
- ai quarti estremi della trave: 40.7 cm
- nella metà centrale della trave: 50.0 cm
Numero di connettori per trave: 8
Numero di connettori a metro quadrato: 2.80
Armatura minima nel raccordo: $1.11 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.
Armatura minima nella soletta: $0.29 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.
Armatura trasversale nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$
Disporre staffe per area di: $1.19 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 2.65 kNm
Taglio di 1° fase: 3.63 kN
- LEGNO - flessione: $0.30 \leq 1.00$
LEGNO - taglio: $0.32 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
Freccia di 1° fase: 3.02 mm

VERIFICHE FASE MISTA

Larghezza soletta collaborante: 87.6 cm
- Larghezza cordolo tra le teste dei travetti: 8.0 cm
- Larghezza interruzione/carotaggio tavolato: 12.0 cm

STATO LIMITE ULTIMO

- Momento massimo: $2.65 + 9.42 \text{ kNm}$
Taglio massimo: $3.63 + 12.90 \text{ kN}$
- Verifiche a tempo zero
CLS - tensione max: $4.43 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
CLS - tensione min: -11.79 N/mm^2
LEGNO - tensoflessione: $0.65 \leq 1.00$
LEGNO - taglio: $0.71 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
CONN. - taglio: $7736 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$
- Verifiche a tempo infinito
CLS - tensione max: $3.93 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$
CLS - tensione min: -9.97 N/mm^2
LEGNO - tensoflessione: $0.66 \leq 1.00$
LEGNO - taglio: $0.72 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$
CONN. - taglio: $10286 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

EJ a tempo zero: 2710.7 kNm^2

EJ a tempo infinito: 1304.9 kNm²
Freccia iniziale car var: 1.37 mm <= 9.73 mm
Freccia attiva: 3.08 mm <= 8.34 mm
Freccia a tempo infinito: 6.89 mm <= 11.68 mm

Programma TECNARIA per travi miste legno e calcestruzzo - Versione 4.30

Solai misti legno-calcestruzzo con connettori TECNARIA

Verifiche agli Stati Limite in accordo a:

- Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018
- Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno
- Approvazione Tecnica CSTB connettori Tecnaria
- Valutazione Tecnica Europea ETA-18/0649

SOLAIO F4 - TRAVETTI

GEOMETRIA

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 10 cm
- Altezza travetti: 10 cm
- Luce travetti: 230 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 7.67$ mm
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 6.57 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 9.20$ mm

CARICHI

- Totale permanenti di prima fase: 1.75 kN/m²
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m²
- Totale variabili: 6.00 kN/m²

MATERIALI

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0$ N/mm²
- kh a flessione = 1.08
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5$ N/mm²
- kh a trazione = 1.08
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00$ N/mm²
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000$ N/mm²
- Peso specifico medio $r_m = 4.2$ kN/m³
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0$ N/mm²
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8$ N/mm²
- Modulo elasticità $E = 30500$ N/mm²
- Peso specifico $r = 25.0$ kN/m³
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/ 40 posato su tavolato di 0.00 cm
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300$ N
- Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 18600$ N/mm
- Rigidezza connettore ultima $K_u = 10400$ N/mm

Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$

- Altri parametri

Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3

Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3

Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$

Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$

Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$

Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.80$

Appoggio del tavolato su trave: 2.0 cm

Resistenza di progetto armatura complementare f_{yd} : 391.3 N/mm^2

RISULTATI

Connettori Tecnar MAXI 12/ 40

Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 50.0 cm

- nella metà centrale della trave: 50.0 cm

Numero di connettori per trave: 5

Numero di connettori a metro quadrato: 7.25

Armatura minima nel raccordo: $0.00 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.

Armatura minima nella soletta: $0.63 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.

Armatura trasversale nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 0.45 kNm

Taglio di 1° fase: 0.78 kN

- LEGNO - flessione: $0.20 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.18 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

Freccia di 1° fase: 2.09 mm

VERIFICHE FASE MISTA

Larghezza soletta collaborante: 30.0 cm

STATO LIMITE ULTIMO

- Momento massimo: $0.45 + 2.38 \text{ kNm}$

Taglio massimo: $0.78 + 4.15 \text{ kN}$

- Verifiche a tempo zero

CLS - tensione max: $7.98 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -7.00 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $0.67 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.63 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: $6344 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

- Verifiche a tempo infinito

CLS - tensione max: $6.14 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -4.90 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $0.74 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.69 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: $8082 \text{ N} \leq 10293 \text{ N}$

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

EJ a tempo zero: 278.5 kNm^2

EJ a tempo infinito: 139.4 kNm^2

Freccia iniziale car var: $2.35 \text{ mm} \leq 7.67 \text{ mm}$

Freccia attiva: $5.19 \text{ mm} \leq 6.57 \text{ mm}$

Freccia a tempo infinito: $8.18 \text{ mm} \leq 9.20 \text{ mm}$

SOLAIO F4 - TRAVI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 10 cm
- Altezza travetti: 10 cm
- Interasse travi: 230 cm
- Base travi: 25 cm
- Altezza travi: 25 cm
- Luce travi: 391 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 13.03 \text{ mm}$
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 10.59 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 15.64 \text{ mm}$

___ CARICHI ___

- Permanenti portati per metro quadrato
- Altri di 1° fase: 0.22 kN/m^2
- Carico iniziale: 1.92 kN/m^2
- 1° carico di tipo fragile: 0.00 kN/m^2
- Carichi successivi : 0.40 kN/m^2
- Totale permanenti di prima fase: 1.95 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 6.00 kN/m^2

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- kh a flessione = 1.00
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
- kh a trazione = 1.00
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio $r_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/105 posato su trave
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
- Rigidità connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
- Rigidità connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
- Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
- Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
- Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
- Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$

Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$

Coefficiente carichi quasi permanenti $Y_2 = 0.80$

Spessore tavole contenimento: 2.0 cm

Resistenza di progetto armatura complementare f_{yd} : 391.3 N/mm²

RISULTATI

Connettori Tecnar MAXI 12/105

posati su trave con travetto interrotto sulla trave

Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 7.3 cm

- nella metà centrale della trave: 14.6 cm

Numero di connettori per trave: 40

Numero di connettori a metro quadrato: 4.45

Armatura minima nel raccordo: 2.40 cm²/trave nella parte inferiore del raccordo.

Armatura minima nella soletta: 0.00 cm²/trave nella parte inferiore della soletta.

Armatura trasversale nella soletta: 1.35 cm²/m

Disporre staffe per area di: 2.70 cm²/m

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 11.16 kNm

Taglio di 1° fase: 11.41 kN

- LEGNO - flessione: 0.33 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 0.41 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

Freccia di 1° fase: 3.82 mm

VERIFICHE FASE MISTA

Larghezza soletta collaborante: 141.0 cm

- Larghezza cordolo tra le teste dei travetti: 17.0 cm

- Larghezza interruzione/carotaggio tavolato: 21.0 cm

STATO LIMITE ULTIMO

- Momento massimo: 11.16 + 52.81 kNm

Taglio massimo: 11.41 + 54.03 kN

- Verifiche a tempo zero

CLS - tensione max: 5.82 N/mm² ≤ 14.17 N/mm²

CLS - tensione min: -11.19 N/mm²

LEGNO - tensoflessione: 0.98 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 1.32 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

CONN. - taglio: 8722 N ≤ 10293 N

- Verifiche a tempo infinito

CLS - tensione max: 4.69 N/mm² ≤ 14.17 N/mm²

CLS - tensione min: -7.13 N/mm²

LEGNO - tensoflessione: 0.98 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 1.35 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

CONN. - taglio: 10272 N ≤ 10293 N

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

EJ a tempo zero: 17904.0 kNm²

EJ a tempo infinito: 9527.2 kNm²

Freccia iniziale car var: 2.35 mm ≤ 13.03 mm

Freccia attiva: 4.86 mm ≤ 10.59 mm

Freccia a tempo infinito: 9.59 mm ≤ 15.64 mm

SOLAIO F5 e F6 - TRAVETTI

___ GEOMETRIA ___

- Spessore soletta: 5 cm
- Interasse travetti: 30 cm
- Base travetti: 10 cm
- Altezza travetti: 10 cm
- Luce travetti: 260 cm
- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 8.67$ mm
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 7.43 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 10.40$ mm

___ CARICHI ___

- Permanenti portati per metro quadrato
- Altri di 1° fase: 0.36 kN/m^2
- Carico iniziale: 1.92 kN/m^2
- 1° carico di tipo fragile: 0.00 kN/m^2
- Carichi successivi : 0.40 kN/m^2
- Totale permanenti di prima fase: 1.75 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 4.00 kN/m^2

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- kh a flessione = 1.08
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
- kh a trazione = 1.08
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio $r_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/ 40 posato su tavolato di 0.00 cm
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
- Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
- Rigidezza connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
- Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
- Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
- Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
- Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
- Coefficiente carichi quasi permanenti $Y_2 = 0.60$
- Appoggio del tavolato su trave: 2.0 cm
- Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

Connettori Tecnaria MAXI 12/ 40

Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 50.0 cm

- nella metà centrale della trave: 50.0 cm

Numero di connettori per trave: 6

Numero di connettori a metro quadrato: 7.69

Armatura minima nel raccordo: 0.00 cm²/trave nella parte inferiore del raccordo.

Armatura minima nella soletta: 0.55 cm²/trave nella parte inferiore della soletta.

Armatura trasversale nella soletta: 0.00 cm²/m

VERIFICHE

VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO

- Momento di 1° fase: 0.58 kNm

Taglio di 1° fase: 0.89 kN

- LEGNO - flessione: 0.25 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 0.20 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

Freccia di 1° fase: 3.41 mm

VERIFICHE FASE MISTA

Larghezza soletta collaborante: 30.0 cm

STATO LIMITE ULTIMO

- Momento massimo: 0.58 + 2.29 kNm

Taglio massimo: 0.89 + 3.52 kN

- Verifiche a tempo zero

CLS - tensione max: 7.35 N/mm² ≤ 14.17 N/mm²

CLS - tensione min: -6.26 N/mm²

LEGNO - tensoflessione: 0.70 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 0.58 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

CONN. - taglio: 6322 N ≤ 10293 N

- Verifiche a tempo infinito

CLS - tensione max: 6.23 N/mm² ≤ 14.17 N/mm²

CLS - tensione min: -4.86 N/mm²

LEGNO - tensoflessione: 0.73 ≤ 1.00

LEGNO - taglio: 0.61 N/mm² ≤ 2.13 N/mm²

CONN. - taglio: 7904 N ≤ 10293 N

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

EJ a tempo zero: 298.3 kNm²

EJ a tempo infinito: 150.7 kNm²

Freccia iniziale car var: 2.39 mm ≤ 8.67 mm

Freccia attiva: 4.98 mm ≤ 7.43 mm

Freccia a tempo infinito: 9.78 mm ≤ 10.40 mm

SOLAIO F5 e F6 - TRAVI

GEOMETRIA

- Spessore soletta: 5 cm

- Interasse travetti: 30 cm

Base travetti: 10 cm

Altezza travetti: 10 cm

- Interasse travi: 220 cm

Base travi: 22 cm

Altezza travi: 22 cm

Luce travi: 343 cm

- Limite freccia iniziale carichi variabili: $L/300 = 11.43 \text{ mm}$
- Limite freccia attiva: $L/2$: Finiture non fragili = 9.80 mm
- Limite freccia comb. quasi perm. a tempo infinito: $L/250 = 13.72 \text{ mm}$

CARICHI

- Permanenti portati per metro quadrato
- Altri di 1° fase: 0.26 kN/m^2
- Carico iniziale: 1.92 kN/m^2
- 1° carico di tipo fragile: 0.00 kN/m^2
- Carichi successivi : 0.40 kN/m^2
- Totale permanenti di prima fase: 1.95 kN/m^2
- Totale permanenti di seconda fase: 2.32 kN/m^2
- Totale variabili: 4.00 kN/m^2

MATERIALI

- Legno - Tipo : C24 secondo EN338:2016
- Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- kh a flessione = 1.00
- Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 14.5 \text{ N/mm}^2$
- kh a trazione = 1.00
- Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 4.00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio $r_m = 4.2 \text{ kN/m}^3$
- Coeff. modificazione azioni variabili $K_{mod} = 0.80$
- Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Riduzione larghezza per verifica a taglio $k_{cr} = 0.67$
- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione 5% $f_{ctk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di viscosità $F = 2.50$
- Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$
- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/105 posato su trave
- Resistenza caratteristica connettore $F_k = 19300 \text{ N}$
- Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 18600 \text{ N/mm}$
- Rigidezza connettore ultima $K_u = 10400 \text{ N/mm}$
- Coefficiente di sicurezza $g_{mk} = 1.50$
- Altri parametri
- Peso specifico assito/pianelle/tavole: 4.20 kN/m^3
- Peso specifico isolante: 0.25 kN/m^3
- Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.30$
- Coefficiente parziale carichi variabili $g_Q = 1.50$
- Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.60$
- Spessore tavole contenimento: 2.0 cm
- Resistenza di progetto armatura complementare $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

RISULTATI

- Connettori Tecnaria MAXI 12/105
posati su trave con travetto interrotto sulla trave
Connettori a spaziatura variabile
- ai quarti estremi della trave: 14.1 cm
 - nella metà centrale della trave: 28.2 cm

Numero di connettori per trave: 19

Numero di connettori a metro quadrato: 2.52

Armatura minima nel raccordo: $2.27 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore del raccordo.

Armatura minima nella soletta: $0.00 \text{ cm}^2/\text{trave}$ nella parte inferiore della soletta.

Armatura trasversale nella soletta: $0.70 \text{ cm}^2/\text{m}$

Disporre staffe per area di: $1.60 \text{ cm}^2/\text{m}$

VERIFICHE

___ VERIFICHE FASE INIZIALE SOLO LEGNO ___

- Momento di 1° fase: 8.19 kNm

Taglio di 1° fase: 9.55 kN

- LEGNO - flessione: $0.36 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.44 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

Freccia di 1° fase: 3.59 mm

___ VERIFICHE FASE MISTA ___

Larghezza soletta collaborante: 127.0 cm

- Larghezza cordolo tra le teste dei travetti: 14.0 cm

- Larghezza interruzione/carotaggio tavolato: 18.0 cm

___ STATO LIMITE ULTIMO ___

- Momento massimo: 8.19 + 29.17 kNm

Taglio massimo: 9.55 + 34.02 kN

- Verifiche a tempo zero

CLS - tensione max: $5.02 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -12.00 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $0.85 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $1.09 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: 8198 N $\leq 10293 \text{ N}$

- Verifiche a tempo infinito

CLS - tensione max: $4.36 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -9.48 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $0.84 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $1.10 \text{ N/mm}^2 \leq 2.13 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: 10274 N $\leq 10293 \text{ N}$

___ STATO LIMITE DI ESERCIZIO ___

EJ a tempo zero: 9658.8 kNm²

EJ a tempo infinito: 4971.7 kNm²

Freccia iniziale car var: 1.64 mm $\leq 11.43 \text{ mm}$

Freccia attiva: 3.39 mm $\leq 9.80 \text{ mm}$

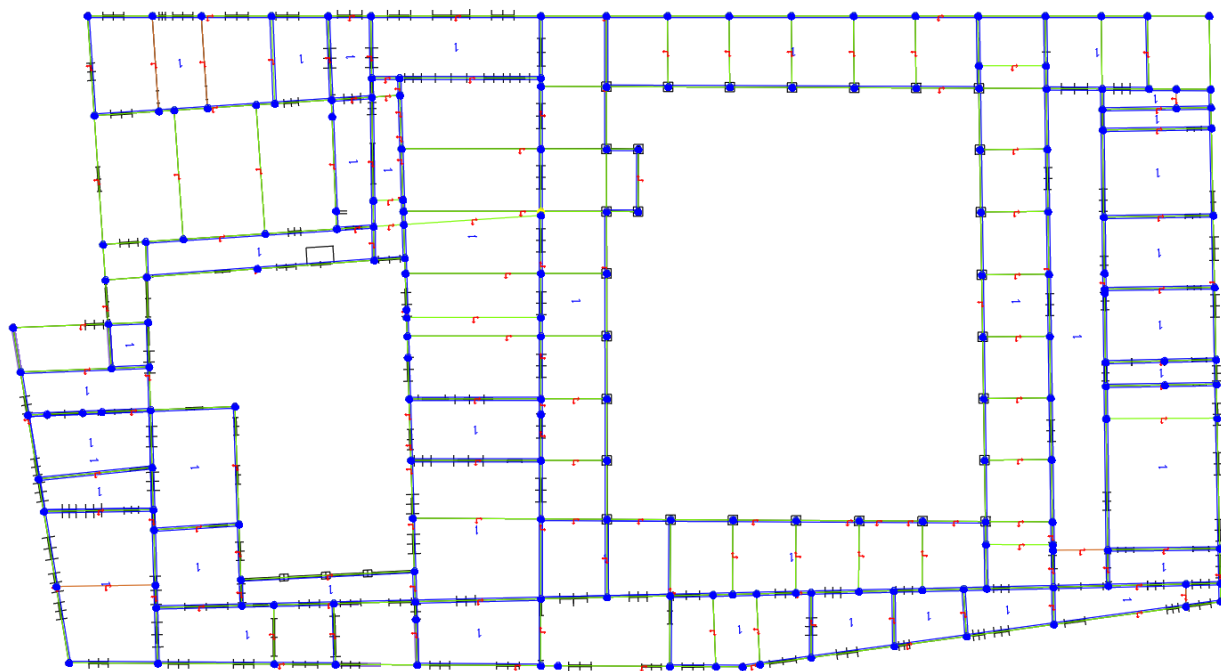
Freccia a tempo infinito: 7.94 mm $\leq 13.72 \text{ mm}$

FASCICOLO DI CALCOLO 02 – AGGIORNAMENTO ANALISI SISMICA

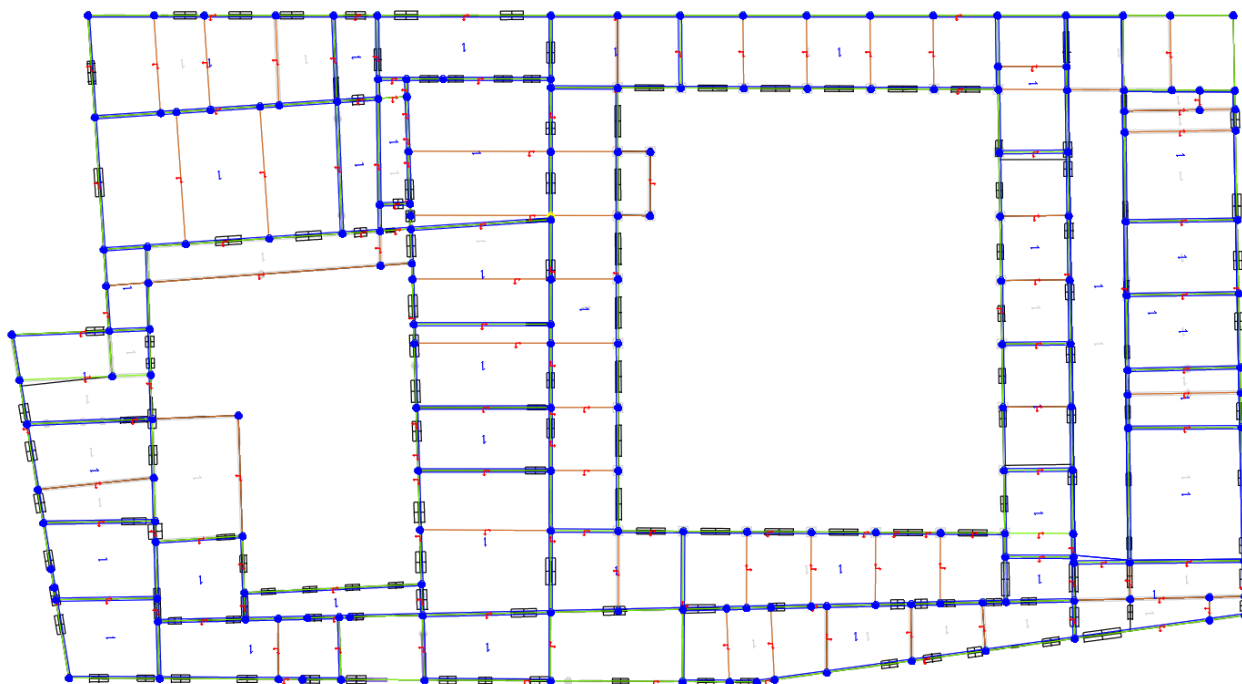
Modellazione

La modellazione è stata eseguita col programma 3 Muri (STA DATA) impostato secondo i seguenti criteri generali:

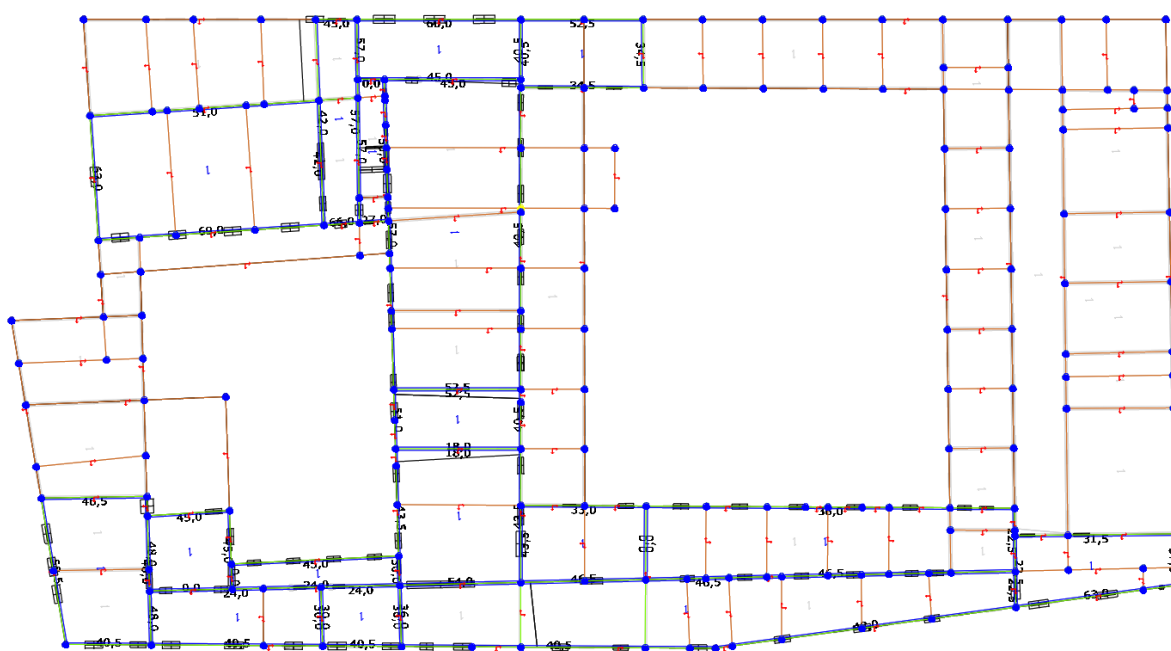
- Individuazione degli allineamenti delle pareti portanti, piccoli discostamenti delle pareti rispetto all'allineamento modellato non sono stati considerati, questo per non creare errate interpretazioni da parte del software nella creazione del telaio equivalente.
- Individuazione delle quote fondamentali a cui impostare i solai. Essendo presenti alcuni dislivelli all'interno dello stesso piano si è deciso di modellare l'orizzontamento come unico livello prendendo una quota media;
- I vani scala presenti nell'unità oggetto di intervento sono stati modellati unicamente come carico distribuito sulle pareti perimetrali.
- A ciascun maschio è stata assegnata la tipologia di muratura costituente (si veda la caratterizzazione dei materiali).
- Sono state inserite alcune travi fittizie metalliche di sufficiente resistenza ma con peso nullo per poter consentire di inserire pareti in falso e per poter inserire solai con caratteristiche diverse non contornati da pareti.
- Nella successiva valutazione sismica non viene adottata l'ipotesi di impalcato rigido in quanto non verificate le richieste del punto 7.2.6 delle NTC.
- La presenza del piano mezzanino è stata considerata sommando i carichi del rispettivo solaio a quelli del piano primo soprastante.



Modellazione con 3 Muri (piano terra)



Modellazione con 3 Muri (piano primo)



Modellazione con 3 Muri (piano secondo)

Verifiche (stato di progetto)

ANALISI SISMICA - COMPORTAMENTO NEL PIANO DELLE PARETI DELL'EDIFICIO (ANALISI PUSH-OVER, STATO DI PROGETTO)

Ai sensi dell'OPCM 3362 dell'8 luglio 2004 vengono calcolati gli indicatori di rischio ai vari stati limite dell'unità strutturale, da una analisi push-over:

$$\zeta_E(SLV) = \frac{PGA(DS)}{PGA}$$

dove:

- $PGA(DS)$ = accelerazione stimata di danno severo
- $PGA(DL)$ = accelerazione stimata di danno limitato
- $PGA = a_g$ il valore massimo (o picco) di accelerazione del suolo attesa (dipendente dal sito)

Si riporta quindi la tabella riepilogativa degli indici di vulnerabilità per crisi dei maschi murari:

Direzione sisma	$\zeta_E(SLV)$
X	0,607
Y	0,637

L'indice allo SLV allo stato di progetto risulta essere maggiore di 0,6, quindi l'intervento è qualificabile come **miglioramento sismico** ai sensi delle NTC2018.

Pertanto, **globalmente l'edificio risulta verificato per un'azione pari al 60% del sisma di progetto.**

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle analisi sismica e il dettaglio di quelle che hanno generato il minore indice nelle due direzioni.

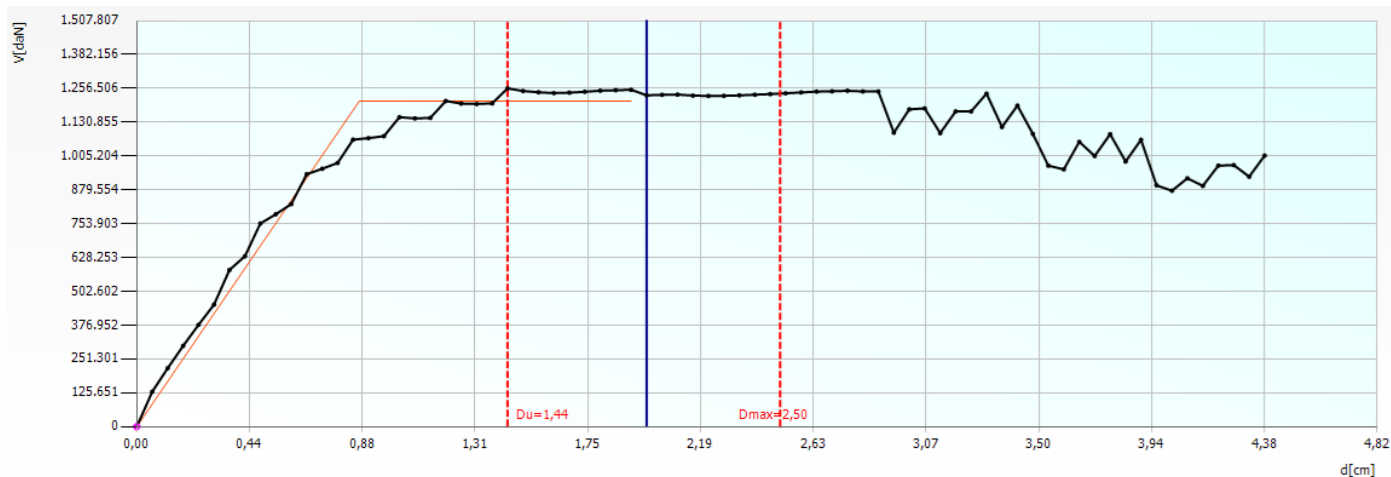
N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	α SLV
1	+X	Uniforme	0,00	0,623
2	+X	Forze statiche	0,00	0,608
3	-X	Uniforme	0,00	0,749
4	-X	Forze statiche	0,00	0,841
5	+Y	Uniforme	0,00	0,700
6	+Y	Forze statiche	0,00	0,762
7	-Y	Uniforme	0,00	0,842
8	-Y	Forze statiche	0,00	0,743
9	+X	Uniforme	198,75	0,650
10	+X	Uniforme	-198,75	0,625
11	+X	Forze statiche	198,75	0,668
12	+X	Forze statiche	-198,75	0,607
13	-X	Uniforme	198,75	0,691
14	-X	Uniforme	-198,75	0,718
15	-X	Forze statiche	198,75	0,905
16	-X	Forze statiche	-198,75	0,672
17	+Y	Uniforme	368,67	0,790
18	+Y	Uniforme	-368,67	0,730
19	+Y	Forze statiche	368,67	0,852
20	+Y	Forze statiche	-368,67	0,894
21	-Y	Uniforme	368,67	0,835
22	-Y	Uniforme	-368,67	0,643
23	-Y	Forze statiche	368,67	0,637
24	-Y	Forze statiche	-368,67	0,859

Risultati dell'analisi push-over allo stato di progetto: in giallo le combinazioni più gravose, in verde le verifiche soddisfatte, in rosso quelle non soddisfatte.

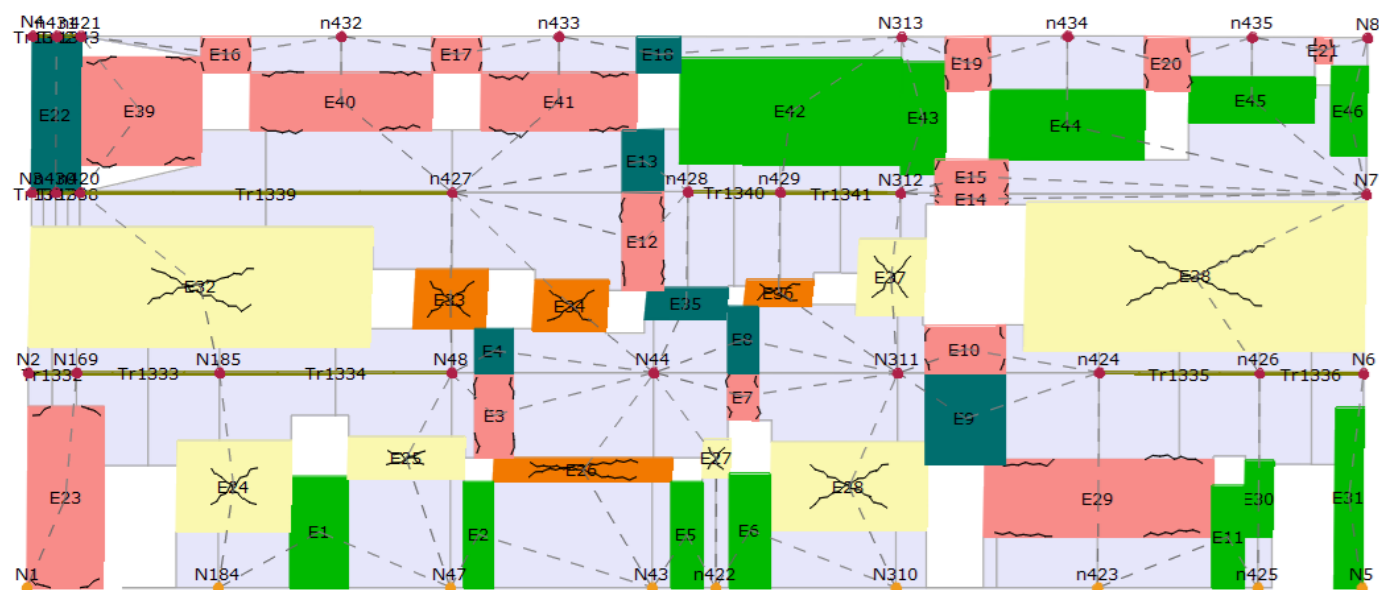
Si osserva che il minimo coefficiente ζ_E , rapporto tra la capacità e la domanda di spostamento allo SLV, si ha in direzione **+X**, con un valore di **0,607** per la combinazione **12**. Il minimo valore nella direzione ortogonale si ha invece per la combinazione **23**, direzione **-Y**, con un valore di **0,637**.

Si riportano di seguito a titolo di esempio le curve di capacità e la rottura della parete maggiormente rappresentativa per le combinazioni 12 e 23, ovvero quelle che forniscono i valori minori di ζ_E nelle due direzioni principali.

Combinazione 12

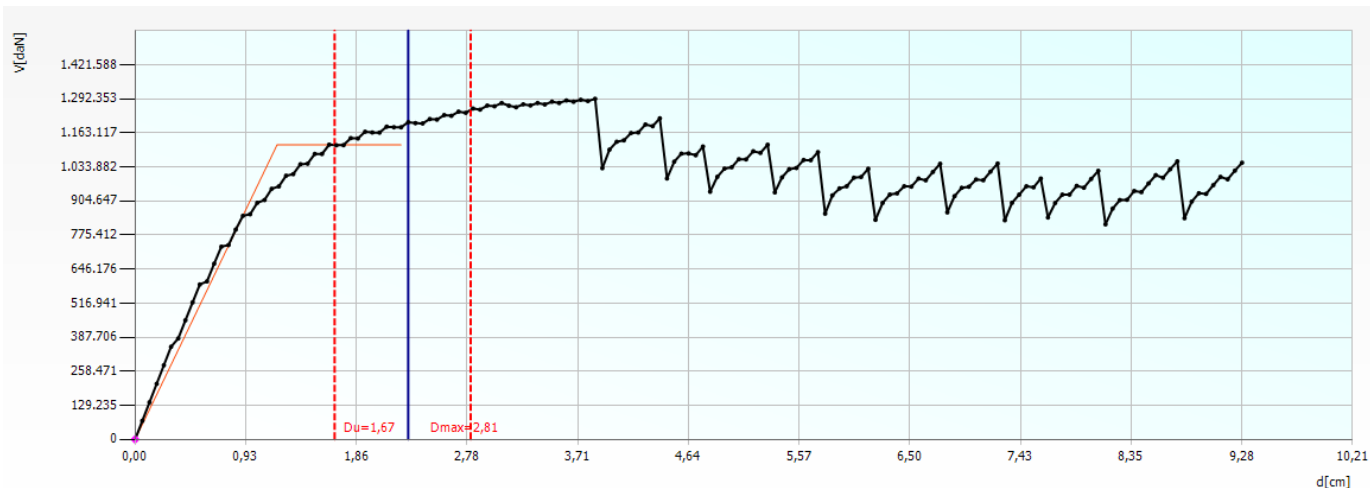


Curva di capacità della combinazione 12 (combinazione con minimo ζ_E)

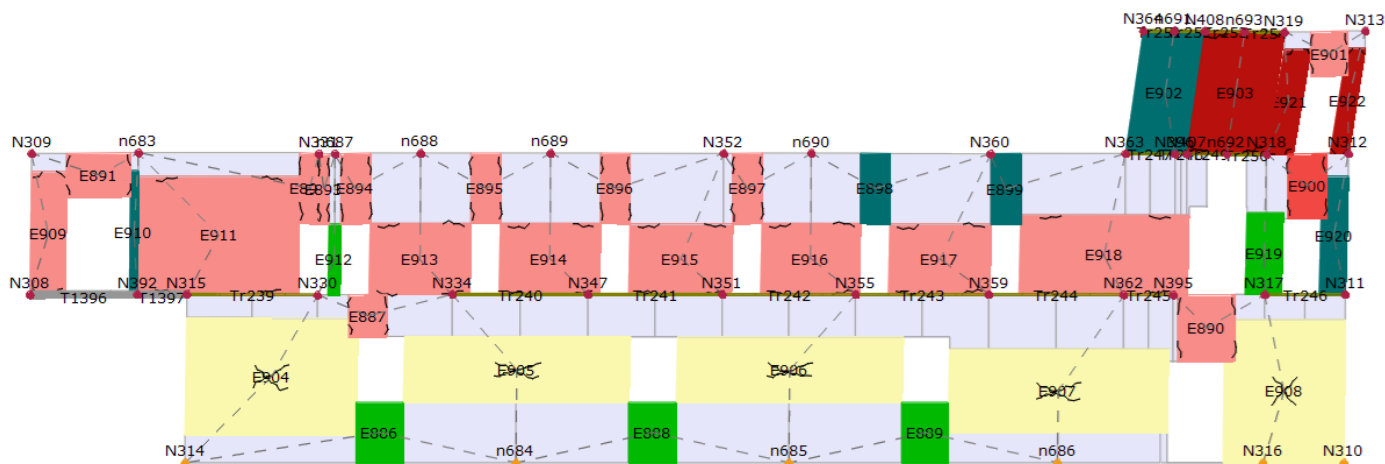


Stato della parete P1 allo step che causa l'arresto dell'analisi push-over per la combinazione 12 nella quale si verifica la rottura per taglio del maschio murario E26 al livello 1 e dei maschi E33, E34, E36 al livello 2

Combinazione 23



Curva di capacità della combinazione 23 (combinazione con minimo ζ_E)



Stato della parete P59 allo step che causa l'arresto dell'analisi push-over per la combinazione 23 nella quale si verifica la rottura per pressoflessione dei maschi murari E903, E921, E922 al livello 3

Muratura	
<input checked="" type="checkbox"/>	Integro
<input checked="" type="checkbox"/>	Incipiente plasticità
<input checked="" type="checkbox"/>	Plastico per taglio
<input checked="" type="checkbox"/>	Incipiente rottura per taglio
<input checked="" type="checkbox"/>	Rottura per taglio
<input checked="" type="checkbox"/>	Plastico presso flessione
<input checked="" type="checkbox"/>	Incipiente rottura presso flessione
<input checked="" type="checkbox"/>	Rottura presso flessione
<input checked="" type="checkbox"/>	Crisi grave
<input checked="" type="checkbox"/>	Rottura per compressione
<input checked="" type="checkbox"/>	Rottura per trazione
<input checked="" type="checkbox"/>	Rottura in fase elastica
<input checked="" type="checkbox"/>	Elemento non efficace

Legenda con indicazione dei possibili meccanismi di rottura dei paramenti murari (fonte: 3Muri)