



COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE

Piazza della Vittoria, 47 - 56020 Santa Maria a Monte (PI)

Tel: 0587 261611 - Fax: 0587 705117

PEC: comune.santamariaamonte@postacert.toscana.it

PROGETTO:

RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE DI EDIFICIO STORICO DA DESTINARSI A MUSEO E COLLEGAMENTO CON PERCORSO ACCESSIBILE ALL' AREA ARCHEOLOGICA DELLA "ROCCA"

LIVELLO DI PROGETTAZIONE:

FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA - DEFINITIVO



SERIE:

RELAZIONI

ELABORATO:

RELAZIONE STRUTTURALE

CODICE:

RE_ST_01

SCALA:

-

RESPONSABILE PROGETTAZIONE

Ing. Roberto Pinelli
Via Lungomonte n°218/a
Santa Maria a Monte (PI), 56020
Tel. 3397905993
Email. robertopinelli.ingenium@gmail.com
Pec. roberto.pinelli@ingpec.eu

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

Arch. Martino Falchi
Via di Santa Lucia Nord n°29
Pontedera (PI), 56025
Tel. 3402278108
Email. martino.falchi@gmail.com
Pec. martino.falchi@archiworldpec.it

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO

Ing. Maurizio Iannotta

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
a	PRIMA EMISSIONE	giugno 2021	Arch. M. Falchi	Ing. R. Pinelli	Ing. M. Iannotta

Nome file: Lotto II_FD_0000_mascherine

RELAZIONE TECNICA SULLE STRUTTURE

REV. a

SOMMARIO

1.	A01 PLANIMETRIA GENERALE	2
2.	A03 RELAZIONE TECNICA	3
2.1.	DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE	3
2.2.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	4
2.3.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
3.	A04.MATERIALI IMPIEGATI.....	6
4.	A08.RELAZIONE DI CALCOLO	7
4.1.	CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO.....	7
4.2.	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	9
4.3.	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA PER LE APERTURE VANI IN MURATURA PORTANTE	10
4.4.	VERIFICHE DELLA PASSERELLA	16
4.4.1.	VERIFICHE DEL TAVOLATO DI IMPALCATO	17
4.4.2.	VERIFICHE DEI PROFILI DI IMPALCATO	19
4.4.3.	VERIFICHE DEL PARAPETTO METALLICO	20



L'intervento in oggetto sarà realizzato all'interno del Museo Civico "Beata Diana Giuntini" e dell'immobile in adiacenza posto in Via del Cimitero 41 nel Comune di Santa Maria a Monte (PI).

2. A03 RELAZIONE TECNICA

2.1. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

L'immobile si sviluppa su due piani, è in muratura portante e solaio in legno tipici della tradizione edilizia toscana.



Foto della facciata principale

Le strutture portanti verticali sono formate da murature in mattoni pieni e malta di calce con giunti di spessore maggiore di 13 mm, mentre taluni pannelli risultano realizzati in materiale misto di mattoni e pietre e ciottoli, legati con malta a base di calce.

Le strutture portanti orizzontali consistono in solai in travi e travicelli in legno, con scempiato di mezzane, completa il solaio una cappa in calcestruzzo armato di spessore 5 cm di recente realizzazione. Essendo i solai posti a diversi livelli si è riscontrata la presenza di materiali di risulta e massetti di spessore notevole, realizzati nel tentativo di rendere più gradevole il passaggio tra un piano di calpestio ad un altro.

La copertura è una struttura in travi e travicelli in legno, con scempiato di mezzane e cappa in cemento di 4cm/5cm di spessore.

L'area dove è situato l'immobile risulta sottoposta al Vincolo Paesaggistico della "Zona del Parco della Rimembranza e del centro storico" come stabilito dal D.Lgs 42/04 art. 136 co.1 lettera d, ex L. 1497/39, Vincolo D.M. 17/05/1958 G.U. 127/1958, Identificativo univoco vincolo: 9050037 (fonte PTC della Provincia di Pisa).

2.2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'intervento in oggetto fa parte dei lavori necessari all'ampliamento del museo civico "Beata Diana Giuntini". L'amministrazione comunale ha acquistato l'edificio adiacente a tale museo con l'intento di collegare i locali ed adibirli a sale espositive. Questa relazione si riferisce ai lavori del Secondo Lotto che comprendono una serie di lavorazioni quali:

- l'apertura di un vano in muratura portante, con lo scopo di collegare i due immobili al piano terra e porre in essere una ri-funzionalizzazione dei locali;
- lo spostamento di una apertura esistente in facciata al piano terra al fine di riallinearla a quella esistente al piano;
- la realizzazione di una passerella pedonale in acciaio, che metta in collegamento il museo con la rocca esterna già sito di interesse archeologico.

Oltre i lavori strutturali fin qui riportati sarà realizzato un solaio areato di tipo ad igloo al piano terra, con l'obiettivo di sanificare gli ambienti ed impedire il fenomeno dell'umidità di risalita.

Tutti gli interventi qui descritti possono inquadrarsi come interventi locali, come riportato e dimostrato di seguito.

Nello specifico:

Allineamento C-C del Piano Terra.

Spostamento apertura esistente e suo riallineamento con apertura al piano superiore.

Si tratta dello spostamento di una finestra al piano terra e del suo riallineamento con quella posta al piano superiore. Il riallineamento di aperture può consentire la semplice realizzazione dell'architravatura. Pertanto non verrà inserito un architrave composto da due profili metallici tipo HEA 120 mutuamente collegati con bulloni M16.

Allineamento D-D del Piano Terra.

Si tratta della realizzazione di un'apertura al piano terra in un pannello di muratura portante, l'apertura viene realizzata demolendo la parte di muratura selezionata dopo aver disposto i necessari presidi di sicurezza e puntellamenti vari in modo da sorreggere il solaio insistente sulla muratura oggetto e le strutture soprastanti; si interviene successivamente inserendo all'interno di essa un apposito doppio telaio metallico ben ancorato alla porzione di muratura rimanente perimetrale.

Doppio telaio in acciaio: il doppio telaio in acciaio, efficacemente ammorsato alle porzioni di parete limitrofe alla apertura mediante zanche metalliche, è realizzato con quattro montanti metallici tipo HEA180, due traversi metallici HEA180 e due ulteriori piastre di base di dimensioni 1900x200x20mm a chiusura del doppio telaio, queste saranno inghisate al solaio sul quale sono poggiate con barre filettate M16 e resina a base epossidica. Gli elementi metallici saranno mutuamente collegati da bulloni M16.

Realizzazione di passerella pedonale.

Attualmente il museo e il parco archeologico risultano scollegati, al fine di creare un percorso espositivo unico e rendere più agevole la visita anche a persone disabili, si è deciso per la realizzazione di una passerella in carpenteria metallica e impalcato ligneo, che colleghi il museo al parco archeologico. Tale passerella avrà larghezza interna (da spalla a spalla profilo) 120cm, verrà realizzata in profili metallici tipo UPN220 e tavolato composto da tavole di legno tipo "Teak" certificato di spessore 5 cm. Completa l'intervento l'inserimento di un parapetto metallico per tutto lo sviluppo della passerella.

Decreto Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n° 380

“Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”.

Decreto Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018

Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.

Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019, n° 7

“Istruzioni per l’applicazione dell’ Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

Regione Toscana - Delibera Giunta Regionale n. 606 del 21/06/2010

“Orientamenti Interpretativi in merito a Interventi Locali o di Riparazione in Edifici Esistenti”.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 Febbraio 2011

“Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008”.

3. A04.MATERIALI IMPIEGATI

Si prevede l'utilizzo dei seguenti materiali:

- **Calcestruzzo Leggero per strutture in C.A. tipo LECA1600:** Classe: LC30/35 ($R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$); Copriferro minimo: 20 mm.

- **Acciaio per armature C.A. tipo B450C:** $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$;
 $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$;
 $1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$;
 $(f_y/f_y \text{ nom})_k \leq 1,25$;
 $(A_{gt})_k \geq 7,5\%$

- **Acciaio per carpenteria tipo S275JR (UNI EN 10025:1995):** $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$;
 $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$;
zincatura a caldo.

- **Bulloni e barre filettate classe 8.8:** $f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$;
 $f_{ub} \geq 800 \text{ N/mm}^2$.

4. A08.RELAZIONE DI CALCOLO

4.1. CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO

Per gli interventi sulle costruzioni esistenti le NTC 2018 individuano le seguenti categorie di intervento:

- Interventi di Adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;
- Interventi di Miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;
- Riparazioni o Interventi Locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Nel nostro caso:

1. Non vi è sopraelevazione o ampliamento.
2. Non vi sono variazioni di classe o di destinazione d'uso tali da comportare incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%.
3. L'intervento non è sistematico né tale da portare ad un organismo edilizio diverso da quello iniziale.
4. Non viene alterato il comportamento globale dell'edificio.

In conclusione trattasi di lavori localizzati che riguardano singole parti e/o elementi della struttura e interessano porzioni limitate della costruzione; il progetto e la valutazione della sicurezza vengono perciò riferiti alle sole parti e/o elementi interessati.

Rispetto alla configurazione precedente alle modifiche, non sono prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme. In particolare ai fini di valutare se la creazione di nuove aperture o l'allargamento di quelle esistenti all'interno di un edificio in muratura sia da classificarsi come "Intervento Locale", in accordo con gli "Orientamenti Interpretativi della Regione Toscana", si è verificato che:

$$A_{x2}/A_{x1} > 85\%$$

$$A_{y2}/A_{y1} > 85\%$$

dove:

- A_{x1} e A_{y1} sono le aree di muratura resistente nelle due direzioni principali allo stato attuale;
- A_{x2} e A_{y2} sono le aree di muratura resistente nelle due direzioni principali allo stato modificato prescindendo dalle opere di rinforzo previste o già realizzate con precedenti interventi.

Sviluppo PT _y	24,03	m	
Spessore PT _y	0,30	m	
Area Esistente Y	7,21	mq	
Sviluppo PT _y	22,14	m	
Spessore PT _y	0,30	m	
Area Progetto Y	6,64	mq	
A_{y2}/A_{y1}	92%	>	85%

Gli interventi finora descritti possono quindi essere considerati come **INTERVENTI LOCALI** ai sensi del punto 8.4 delle NTC 2018.

Per quanto attiene gli interventi che non riguardano strettamente quanto individuato nelle normativa nazionale, si fa riferimento alla normativa regionale, e pertanto si presentano le seguenti considerazioni.

Allineamento C-C – Piano Terra, spostamento apertura esistente e suo riallineamento con apertura al piano superiore.

Si tratta dello spostamento di una finestra al piano terra e del suo riallineamento con quella posta al piano superiore. Per sua natura l'intervento è da considerarsi come intervento locale ed inoltre secondo quanto riportato nella *Delibera Regionale n. 606 del 21/6/2010 "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti"* al punto 1.4 "*indicazioni dimensionali e costruttive*" il riallineamento di aperture può consentire la semplice realizzazione dell'architravatura.

Realizzazione di passerella pedonale.

Secondo quanto riportato nella *Delibera Regionale n. 606 del 21/6/2010 "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti"* al punto 5 "*Altri interventi di modesta entità*" il manufatto può essere assimilato ad un balcone infatti da appoggio ad appoggio la luce è pari a circa 300 cm ovvero meno del doppio di quella massima di sbalzo indicato nella suddetta norma (160cm), inoltre, nei riguardi della trasmissione delle azioni orizzontali, gli effetti reciprocamente trasmessi sono sostanzialmente trascurabili sia in termini di massa che di rigidezza. Il collegamento alla struttura esistente sarà assimilabile ad una cerniera cilindrica, mentre i sostegni al terreno saranno garantiti da profili metallici adeguatamente dimensionati ed ancorati. Pertanto per dimensioni e tipologia del manufatto è possibile inquadrare l'intervento come locale.

Trattandosi di Intervento Locale su edificio esistente, la valutazione della sicurezza e le conseguenti verifiche vengono svolte per i soli elementi strutturali interessati direttamente dagli interventi dato che il comportamento globale della struttura non viene in nessun modo modificato.

La procedura utilizzata per la valutazione della sicurezza è quella indicata al punto 8.5 delle NTC 2018 che prevede le seguenti fasi:

- a) analisi storico-critica;
- b) rilievo;
- c) caratterizzazione meccanica dei materiali;
- d) valutazione dei livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

- Analisi storico-critica:

A seguito di ricerche eseguite dalla proprietà, non sono risultati reperibili documenti che attestino il processo di realizzazione, le successive modifiche subite nel tempo dal manufatto e gli eventi che lo hanno interessato.

- Rilievo:

E' stato eseguito il rilievo geometrico-strutturale della parte di costruzione interessata dall'intervento in modo da individuare l'organismo resistente ed identificarne geometria, tipologia di materiale e funzionamento statico. Sono stati misurati l'altezza di interpiano, gli spessori delle murature al netto dell'intonaco e indagata la tipologia di muratura esistente.

Non sono stati individuati quadri fessurativi significativi.

- Caratterizzazione meccanica dei materiali:

La conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro eventuale degrado si è basata, in assenza di documentazione disponibile, su saggi ed indagini visive in situ.

Non si è ritenuto, data la modestia dell'opera, di dover eseguire indagini sperimentali.

Per valori di riferimento dei parametri meccanici, essendo l'intervento mirato a ripristinare le condizioni iniziali, si sono assunti, sia per le rigidità che per le resistenze, i valori medi indicati dalla Tabella C8.5.I della Circolare N.7 del 21/01/2019.

- Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza:

Trattasi di "Intervento Locale" in cui attraverso indagini conoscitive sono state individuate compiutamente le caratteristiche geometrico-meccaniche delle strutture su cui si interviene (geometria, dettagli costruttivi e materiali).

Non essendo in questo caso necessaria una valutazione della sicurezza in termini assoluti, tramite il confronto di una capacità resistente con un'azione sollecitante, il Fattore di Confidenza FC non viene esplicitato. Infatti, consistendo la verifica della sicurezza in un confronto tra capacità resistenti, prima e dopo l'intervento, il fattore FC comparirebbe ai due membri della disuguaglianza di verifica.

Le indagini svolte sono comunque atte a garantire un Livello di Conoscenza LC1.

Il Livello di Conoscenza **LC1** si intende raggiunto quando sono stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,35$.

4.3. METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA PER LE APERTURE VANI IN MURATURA PORTANTE

A seguito di modifica delle aperture o di inserimento di nuove, la parete assume una configurazione diversa da quella iniziale; si controlla che, a seguito dell'intervento, il comportamento della parete, in termini di rigidezza, resistenza, capacità di spostamento e duttilità della parete non sia peggiorato.

Le verifiche esplicitate sono quelle della rigidezza elastica e della resistenza ultima a taglio dell'intera parete.

VERIFICA DELLA RIGIDEZZA DELLA PARETE:

1) Si calcolano le rigidezze dei singoli setti che costituiscono la parete, sia allo stato iniziale (attuale) sia allo stato finale (modificato) con la seguente espressione:

$$K_i = \frac{1}{\left(\frac{h_i^3}{nEJ_i} + 1,2 \frac{h_i}{GA_i} \right)}$$

dove:

- K_i = rigidezza i-esimo setto;
- E, G = moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura;
- J_i = momento di inerzia del maschio murario;
- h_i = altezza deformabile del maschio murario;
- $A_i = l_i \cdot t_i$ = area del maschio con t =spessore del maschio);
- n = coeff. che tiene conto del grado di vincolo offerto dal traverso ($n = 12$ per traverso rigido, $n = 3$ per traverso flessibile).

2) Si calcola la rigidezza complessiva dell'intera parete allo stato iniziale, come somma delle singole rigidezze dei setti, con la seguente espressione:

$$K_{in} = K_1 + K_2 + \dots = \sum K_{in}$$

3) Si calcola la rigidezza complessiva dell'intera parete allo stato finale, come somma delle rigidezze dei singolo setti, tenuto conto di eventuali interventi di consolidamento della muratura (iniezioni di malta, lastre di placcaggio ecc.) e presenza di cerchiature dei vani mediante telai metallici o in c.a.:

$$K_{fin} = K_{mod} + K_T$$

dove:

- $K_{mod} = K_1 + K_2 + \dots = \sum K_{mod}$ (somma delle rigidezze dei setti allo stato modificato);
- $K_T = n \cdot E \cdot \sum J_i / h^3$ (rigidezza totale dei telai) con n = coeff. che tiene conto del grado di vincolo offerto al piede dei montanti del telaio ($n = 12$ per incastro, $n = 3$ per cerniera);
- E = modulo elastico del materiale costituente i piedritti;
- $\sum J_i$ = somma dei momenti d'inerzia di tutti i piedritti del telaio;
- h = altezza deformabile dei piedritti.

4) In accordo con gli orientamenti interpretativi della Regione Toscana si esegue la verifica controllando che risulti:

$$0,85 \cdot K_{in} \leq K_{fin} \leq 1,15 \cdot K_{in}$$

VERIFICA DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLE PARETI E SPOSTAMENTO ULTIMO:

1) Ipotizzando un comportamento elasto-plastico, si calcola la resistenza ultima a taglio dei singoli setti murari, sia allo stato attuale sia allo stato finale modificato con la seguente espressione:

$$Vt = l \cdot t \cdot 1,5 \frac{\tau_{od}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{(1,5\tau_{od})}} = l \cdot t \cdot \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

dove:

- l = la lunghezza del pannello;
- t = spessore del pannello;
- σ_0 = tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($\sigma_0 = P/l$, con P forza assiale agente positiva se di compressione);
- f_{td} = resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura ($f_{td} = 1,5 \tau_{od}$);
- τ_{od} = resistenza di calcolo a taglio della muratura;
- b = coefficiente correttivo legato alla distribuzione delle tensioni tangenziali sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = h/l$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, con h altezza del pannello.

2) Si calcola spostamento al limite elastico e al limite ultimo, sia allo stato iniziale sia allo stato finale, dell'intera parete secondo le seguenti espressioni:

$$\delta e = \min (\delta_{e,i})$$

dove:

- δe = spostamento al limite elastico intera parete;
- $\delta_{e,i}$ = Vt/K_i (spostamento al limite elastico i -esimo setto).

$$\delta u = \min (\delta_{u,i})$$

dove:

- δu = spostamento al limite ultimo intera parete;
- $\delta_{u,i}$ = è lo spostamento al limite ultimo i -esimo setto e vale $0.004 \cdot h$

3) Si calcola la resistenza al limite ultimo della parete allo stato iniziale e allo stato finale, tenuto conto di eventuali interventi di consolidamento della muratura e presenza di cerchiatura dei vani:

$$V_{t.in.u} = \sum \min (\delta_{u.in.} K_j ; V_{t,j})$$

$$V_{t.fin.u} = \sum \min (\delta_{u.fin.} K_k ; V_{t,k}) + \min (\delta_{u.fin.} K_T ; V_{t,T})$$

dove:

- $\delta_{u.in.}$, $\delta_{u.fin.}$ = sono, rispettivamente, lo spostamento al limite ultimo intera parete, rispettivamente, allo stato iniziale e finale;
- K_j , $V_{t,j}$ = sono rispettivamente, rigidezza e resistenza ultima a taglio j -esimo setto allo stato iniziale;
- K_k , $V_{t,k}$ = rispettivamente, rigidezza e resistenza ultima a taglio k -esimo setto allo stato finale;
- K_T = rigidezza dei telai;
- $V_{t,T}$ = $n \cdot 2 \cdot f_d \Sigma W_x / h$ (resistenza ultima a taglio dei telai, ipotizzando un comportamento elasto-plastico indefinito),

con:

f_d = resistenza di calcolo acciaio;

W_p = modulo di resistenza plastico della sezione del singolo piedritto;

h = altezza deformabile del singolo piedritto;

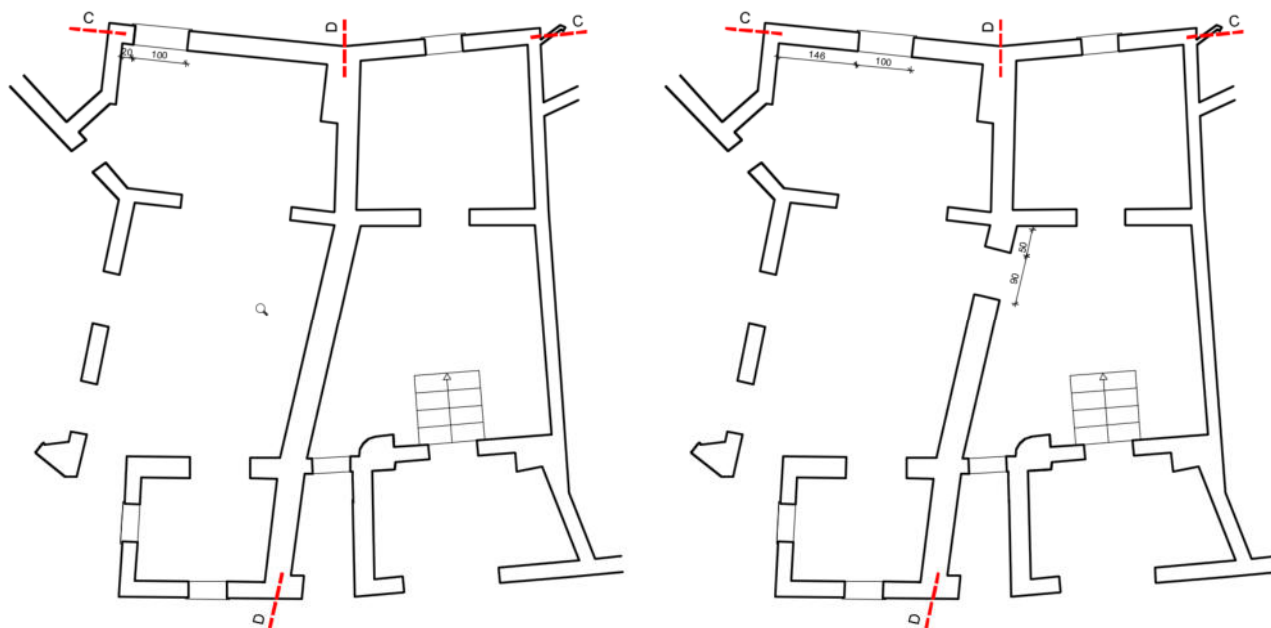
n = numero di piedritti.

4) Si esegue la verifica controllando che risulti:

$$V_{t.fin.u} \geq V_{t.in.u} \text{ e } \delta_{u.fin.} \geq \delta_{u.in.}$$

VERIFICA ALLINEAMENTO D-D, piano terra.

Schemi di calcolo



PIANO TERRA - Stato Attuale

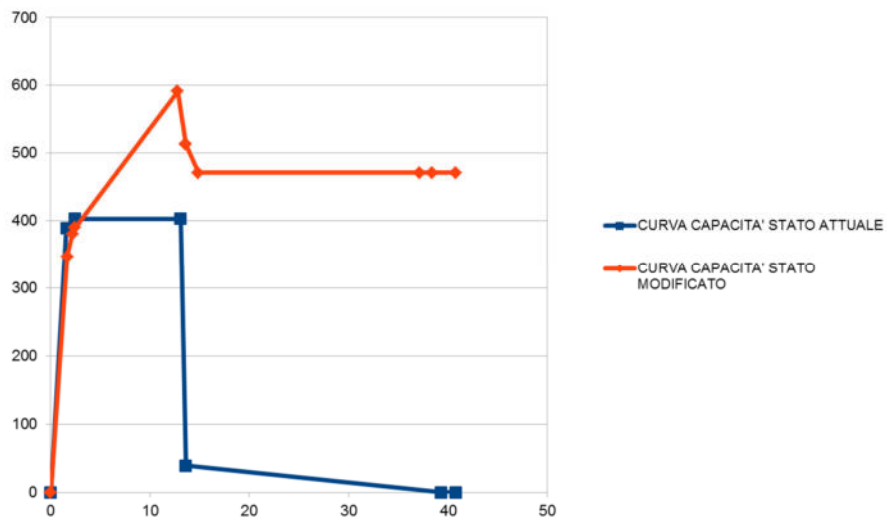
PIANO TERRA - Stato di Progetto

I setti facenti parte di questo allineamento hanno altezze diverse e spessori diversi, pertanto si è proceduto nel calcolo inserendo valori di spessori e altezze ponderati sullo sviluppo delle singole porzioni.

CARATTERISTICHE MECCANICHE MURATURE									
n.mat	Tipologia	E [N/mm ²]	G[N/mm ²]	γ [kN/m ³]	f [N/mm ²]	τ ₀ [N/mm ²]	f _{vo} [N/mm ²]	fessurato	
1	Muratura in pietrame disordinata e mattoni (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1035	345	15	1,8	0,034	0	SI	
2	Muratura in mattoni pieni e malta di calce con giunti di spessore maggiore di 13mm	1200	400	18	1,82	0,035	0,091	SI	
RIGIDEZZA PARETE STATO ATTUALE		Comportamento		doppio incastro		h _{int} [cm]		272	
n.mat	Setto	l [cm]	s [cm]	h' [cm]	h _{eff} [cm]	Z _{rig} [cm]	K _{ries} [N/mm]	K _{tag} [N/mm]	K [N/mm]
1	Setto 1	142	43	272	272	0	31662	32270	15981
2	Setto 2	889	41	262	262	0	9493092	229036	223641
Totale		1031							239622
RIGIDEZZA SOLO PARETE STATO MODIFICATO		Comportamento		doppio incastro		h _{int} [cm]		272	
n.mat	Setto	l [cm]	s [cm]	h' [cm]	h _{eff} [cm]	Z _{rig} [cm]	K _{ries} [N/mm]	K _{tag} [N/mm]	K [N/mm]
1	Setto 1	142	43	272	272	0	31662	32270	15981
2	Setto 2	215	33	272	272	0	98793	43922	30405
2	Setto 3	544	42	256	256	0	2418117	148750	140130
Totale		901							186516
VERIFICA RIGIDEZZA SENZA PROFILI									
ΔK finale		-53106	ΔK senza telaio [%]	-22,16%	VERIFICA NON SODDISFATTA				
VERIFICA RIGIDEZZA CON TELAIO IN ACCIAIO									
ΔK senza telaio [N/mr]		-53106	h _{telaio} [cm]	235	n. montanti	4	incastro al piede		
tipologia montanti		HEA 180 S275			J _{effettivo} [cm ⁴]	2510,00	K _{telaio} [N/mm]	19495,3	
ΔK finale		-33611	ΔK con telaio [%]	-14,03%	VERIFICA SODDISFATTA				

CARATTERISTICHE ARCHITRAVE					
Profili	HEA 180 S275	n° profili	2	l_{trav} [cm]	96
caratteristiche singolo profilo					
M_{pl} [kNm]	85,09	V_{pl} [kN]	218,8	J [cm ⁴]	2510
CARATTERISTICHE PROFILI MONTANTI					
Profili	HEA 180 S275	n° profili	4	h_{telaio} [cm]	235
K_{telaio} [N/mm]	19495,3	M_{pl} [kNm]	340,4	V [kN]	289,7
$\delta_{y,tei}$ [mm]	14,9	$\delta_{u,tei}$ [mm]	37,1		
ANALISI DEI CARICHI					
Peso proprio G_1				0,72	[kN/ml]
1° solaio	ψ_2	0	i [m]	3,6	
P.P. portati G_2	2,75	[kN/mq]	6,00		[kN/ml]
Accidentali Q	0,60	[kN/mq]			[kN/ml]
2° solaio	ψ_2	0,6	i [m]	3,6	
P.P. portati G_2	4,00	[kN/mq]	6,00		[kN/ml]
Accidentali Q	5,00	[kN/mq]			[kN/ml]
VERIFICHE ARCHITRAVE					
G_1 [kN/m]	0,72	G_2 [kN/m]	36,3	Q [kN/m]	20,16
VERIFICA SLE					
Carico δ_2 [kN/m]	20,16	$\delta_{2,lim}$ [mm]	1,92	δ_2 [mm]	0,02
Carico δ_{max} [kN/m]	57,18	$\delta_{max,lim}$ [mm]	2,40	δ_{max} [mm]	0,06
VERIFICA SODDISFATTA					
VERIFICA SLU					
V_{ed} [kN]	20,55	V_{pl} [kN]	218,80	V_{ed}/V_{pl}	0,09
M_{ed} [kNm]	4,93	M_{pl} [kNm]	85,09	M_{ed}/M_{pl}	0,06
VERIFICA SODDISFATTA					

CARATTERISTICHE SETTI STATO ATTUALE												
Mat.	Setto	l [cm]	l_{comp} [cm]	s [cm]	h_{eff} [cm]	K [N/mm]	V_u [kN]	Tip. architravi	$V_{residuo}$ [kN]	$\delta_{y,set}$ [mm]	$\delta_{c,set}$ [mm]	$\delta_{ult,set}$ [mm]
1	Setto 1	142	142	43	272	15981	39,28	inefficace	0,00	2,46	13,60	40,80
2	Setto 2	889	889	41	262	223641	363,50	inefficace	0,00	1,63	13,10	39,30
TAGLIO DIAGONALE												
Mat.		$P_{portato}$ [kN]	P_{setto} [kN]	$h_{verifica}$ [cm]	$P_{setto.cal}$ [kN]	$P_{calcolo}$ [kN]	σ_0 [N/mm ²]	τ_0 [N/mm ²]	V_u [kN]			
1	Setto 1	67,90	24,91	136	12,46	80,36	0,132	0,034	39,28			
2	Setto 2	425,12	176,28	131	84,90	510,02	0,142	0,035	363,50			
STATO MODIFICATO												
Mat.	Setto	l [cm]	l_{comp} [cm]	s [cm]	h_{eff} [cm]	K [N/mm]	V_u [kN]	Tip. architravi	$V_{residuo}$ [kN]	$\delta_{y,set}$ [mm]	$\delta_{c,set}$ [mm]	$\delta_{ult,set}$ [mm]
1	Setto 1	142	142	43	272	15981	39,28	inefficace	0,00	2,46	13,60	40,80
2	Setto 2	215	280	33	272	30405	66,68	in acciaio/c.a. ben amm.	40,01	2,19	13,60	40,80
2	Setto 3	544	609	42	256	140130	235,87	in acciaio/c.a. ben amm.	141,52	1,68	12,80	38,40
TAGLIO DIAGONALE												
Mat.		$P_{portato}$ [kN]	P_{setto} [kN]	$h_{verifica}$ [cm]	$P_{setto.cal}$ [kN]	$P_{calcolo}$ [kN]	σ_0 [N/mm ²]	τ_0 [N/mm ²]	V_u [kN]			
1	Setto 1	67,90	24,91	136	12,46	80,36	0,132	0,034	39,28			
2	Setto 2	133,90	35,10	136	17,55	151,44	0,211	0,035	66,68			
2	Setto 3	291,22	111,86	128	52,64	343,87	0,151	0,035	235,87			



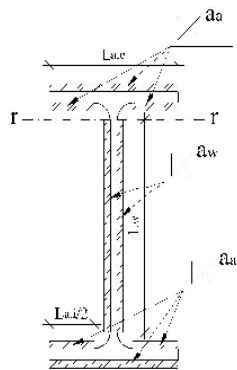
RIASSUNTO VERIFICHE	
RIGIDEZZA	
Stato attuale [N/mm]	239622
Stato modificato [N/mm]	206011
Variazione:	-14,03%
FORZA ULTIMA	
Stato attuale [kN]	402,79
Stato modificato [kN]	591,37
Variazione:	46,82%
CAPACITA' DI SPOSTAMENTO	
Stato attuale [mm]	40,80
Stato modificato [mm]	40,80
Variazione:	0,00%

Verifica della saldatura

Dati profilato da saldare:		hea 180							
Altezza:	h =	17,1	cm						
Larghezza:	b =	18	cm						
Spessore ala:	t _a =	0,95	cm						
Spessore anima:	t _w =	0,6	cm						
Raggio di raccordo:	r =	1,5	cm						

Dimensionamento altezza di gola delle saldature a cordoni d'angolo:

Altezza di gola saldatura ali:	a _a =	7	mm								
Lato saldatura ali:	b _a =	a _a · √2									
Verifica limitazioni:	t _a /2 =	4,8	mm	≤	b _a =	9,5	mm	≤	t _a =	9,5	mm
Altezza di gola saldatura anima:	a _w =	4	mm								
Lato saldatura anima:	b _w =	a _w · √2									
Verifica limitazioni:	t _w /2 =	3,0	mm	≤	b _w =	5,7	mm	≤	t _w =	6,0	mm
Lunghezza saldatura esterna ali:	L _{a,e} =	b =	18,0	cm							
Lunghezza saldatura interna ali:	L _{a,i} =	b - t _w - 2·r =	14,4	cm							
Lunghezza saldatura anima:	L _w =	h - 2·t _a - 2·r =	12,2	cm							



Caratteristiche statiche saldatura:									
Area:	A _s =	2·L _{a,e} ·a _a + 2·L _{a,i} ·a _a + 2·L _w ·a _w =	53,176	cm ²					
Momento d'inertia:	J _{x,s} =	$\frac{L_{a,e} \cdot [(h + 2 \cdot a_a)^3 - h^3]}{12} + \frac{L_{a,i} \cdot [h^3 - (h - 2 \cdot a_a)^3]}{12} + 2 \cdot \frac{a_w \cdot L_w^3}{12}$	=	3329,01	cm ⁴				
Modulo di resisten:	W _{x,s} =	J _{x,s} / (h/2 + a _a) =	361,06	cm ³					

Corda r-r posizionata dove inizia la saldatura sull'anima:

Modulo di resistenza:	W _r =	J _{x,s} / (L _w /2) =	545,74	cm ³					
Momento statico:	S _r =	L _{a,e} ·a _a ·(h+a _a)/2 + L _{a,i} ·a _a ·(h-a _a)/2 =	186,4114	cm ³					

Sollecitazioni nei collegamenti da saldare:

M _A =	11.933	daN·m							
M _B =	10.669	daN·m							
V _A =	24.004	daN							
V _B =	23.666	daN							
H _A =	9.618	daN							
H _B =	9.618	daN							

Verifica collegamenti ali:

A:	σ =	V _A /n _t ·A _s + M _A /n _t ·W _{x,s} =	1878	daN/cm ²	<	f _{d,a} =	1.902	daN/cm ²
B:	σ =	V _B /n _t ·A _s + M _B /n _t ·W _{x,s} =	1700	daN/cm ²	<	f _{d,a} =	1.902	daN/cm ²

Verifica collegamenti anima:

A:	σ =	V _A /n _t ·A _s + M _A /n _t ·W _r =	1319	daN/cm ²				
	τ =	H _A ·S _r / n _t ·a _w ·J _{x,s} =	673	daN/cm ²				
	σ _{id} =	√(σ ² + τ ²) =	1481	daN/cm ²	<	f _{d,a} =	1.902	daN/cm ²
B:	σ =	V _B /n _t ·A _s + M _B /n _t ·W _r =	1200	daN/cm ²				
	τ =	H _B ·S _r / n _t ·a _w ·J _{x,s} =	673	daN/cm ²				
	σ _{id} =	√(σ ² + τ ²) =	1376	daN/cm ²	<	f _{d,a} =	1.902	daN/cm ²

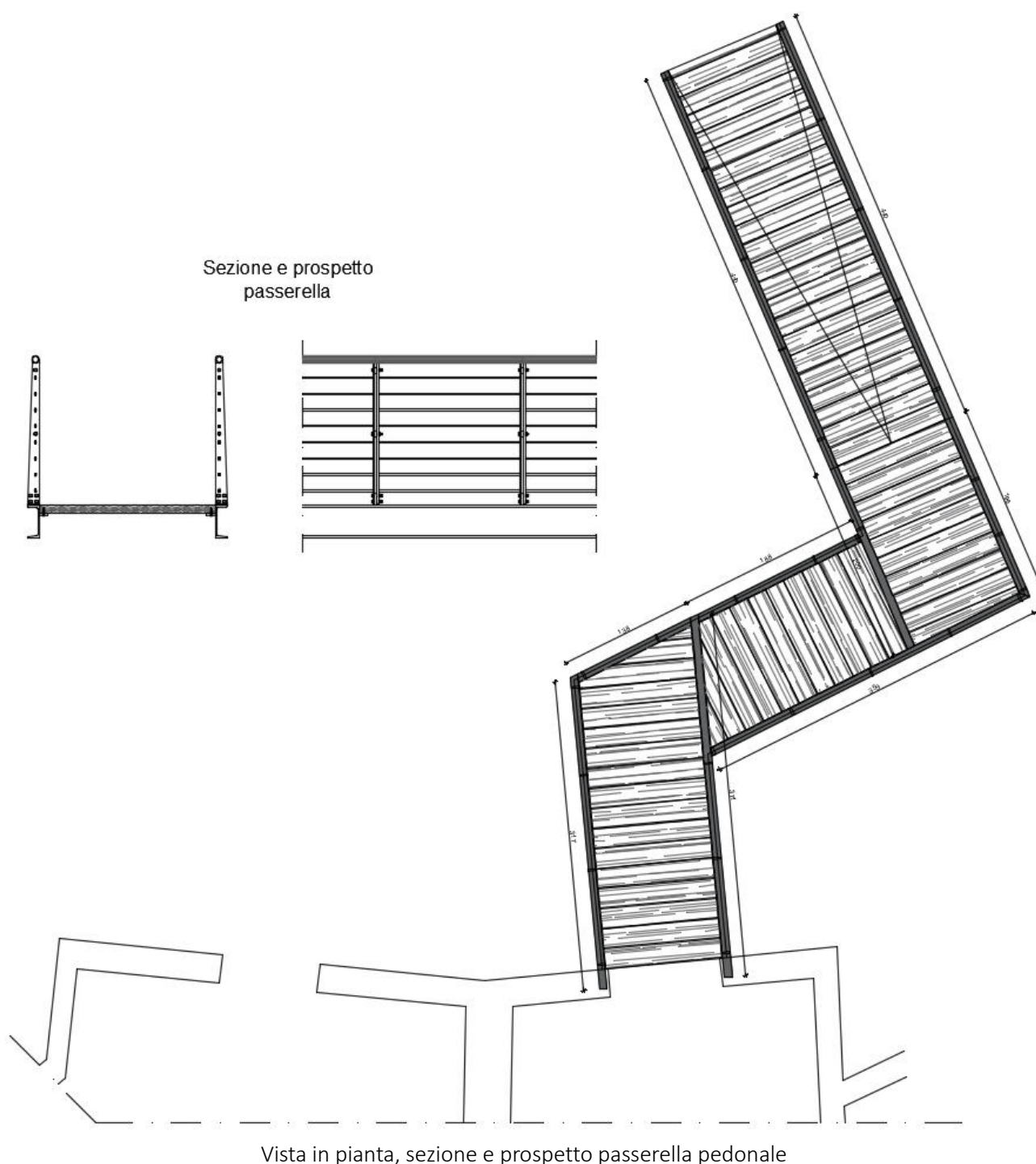
4.4. VERIFICHE DELLA PASSERELLA

Le verifiche strutturali riguardanti gli elementi resistenti della passerella, sono state condotte secondo quanto riportato nelle NTC 2018.

La passerella si intende come prolungamento del percorso museale verso l'esterno, lato parco archeologico.

Per tale ragione i sovraccarichi distribuiti ricadono in Categoria C3 e sono pari a 500kg/mq come si desume dalla Tab. 3.1. Il NTC 2018, combinati con gli altri carichi secondo le combinazioni riportate al punto 2.5.3 delle NTC 2018.

Si riporta una rappresentazione grafica della passerella.



4.4.1. VERIFICHE DEL TAVOLATO DI IMPALCATO

Le verifiche strutturali sul tavolato di impalcato sono state eseguite considerando una singola tavola di larghezza 20 cm e assumendo, a favore di sicurezza) le caratteristiche meccaniche di un legno di tipologia inferiore ovvero C16.

Verifica Tavolato in Teak			
Tipologia legno:	C16	Nuova	-
Tipologia solaio:	Solaio praticabile		
L	120 cm	luce di calcolo	
i	20 cm	interasse di competenza	
b	20 cm	base sezione	
h	5 cm	altezza sezione	
A	100 cm ²	area sezione	
W _x	83 cm ³	modulo di resistenza elastico della sezione rispetto ad x	
W _y	333 cm ³	modulo di resistenza elastico della sezione rispetto ad y	
J _x	208 cm ⁴	momento d'inerzia della sezione rispetto ad x	
J _y	3333 cm ⁴	momento d'inerzia della sezione rispetto ad y	
γ	4,00 kN/m ³	peso unità di volume	
G ₁	0,04 kN/ml	peso proprio strutturale	
G ₂	0,00 kN/m ²	permanenti non strutturali unif. distribuiti su superficie di competenza	
	0,00 kN/ml	permanenti non strutturali linearmente distribuiti sulla trave	
Q	5,00 kN/m ²	azioni variabili uniformemente distribuite sulla superficie di competenza	
p	0 %	pendenza della falda	
α	0,00	rotazione assi locali rispetto riferimento globale (flessione deviata)	
E	8000 N/mm ²	modulo di elasticità normale per flessione	
Classe di servizio	2		
Classe di durata del carico	Lunga durata		
k _{mod}	0,7	coefficiente correttivo resistenze per durata carico e umidità	
k _h	1,25	coefficiente incremento resistenze a flessione per altezze h<150mm	
k _b	1,00	coefficiente incremento resistenze a flessione per altezze b<150mm	
f _{m,k}	16,0 N/mm ²	resistenza caratteristica a flessione	
f _{v,k}	1,8 N/mm ²	resistenza caratteristica a taglio	
γ _M	1,50	coefficiente parziale di sicurezza del materiale	
k _{def}	0,8	coefficiente per calcolo deformazioni viscoso	
f _{m,x,d}	9,3 N/mm ²	resistenza di progetto a flessione secondo y	
f _{m,y,d}	7,5 N/mm ²	resistenza di progetto a flessione secondo x	
f _{v,d}	0,8 N/mm ²	resistenza di progetto a taglio	
g _{1kx}	0,04 kN/ml	valore caratteristico carico permanente strutturale agente secondo y	
g _{1ky}	0,00 kN/ml	valore caratteristico carico permanente strutturale agente secondo x	
g _{2kx}	0,00 kN/ml	valore caratteristico carico permanente non strutturale agente secondo y	
g _{2ky}	0,00 kN/ml	valore caratteristico carico permanente non strutturale agente secondo x	
g _{kx}	0,04 kN/ml	valore caratteristico del carico permanente totale agente secondo y	
g _{ky}	0,00 kN/ml	valore caratteristico del carico permanente totale agente secondo x	
q _{kx}	1,00 kN/ml	valore caratteristico del carico variabile agente sulla trave secondo y	
q _{ky}	0,00 kN/ml	valore caratteristico del carico variabile agente sulla trave secondo x	
f _{kx}	1,04 kN/ml	valore caratteristico (comb. rara) del carico totale agente secondo y	
f _{ky}	0,00 kN/ml	valore caratteristico (comb. rara) del carico totale agente secondo x	

VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU ELASTICO (approccio 2)			
γ_{G1}	1,3		coefficiente parziale per pesi propri (A1)
γ_{G2}	1,5		coefficiente parziale per permanenti non strutturali (A1)
γ_Q	1,5		coefficiente parziale per carichi variabili (A1)
f_{SLUx}	1,55	kN/ml	valore di combinazione allo SLU del carico agente secondo y
f_{SLUy}	0,00	kN/ml	valore di combinazione allo SLU del carico agente secondo x
Verifica a Taglio (sezione d'appoggio)			
V_dSLUx	1	kN	taglio di progetto agente secondo y
V_dSLUy	0	kN	taglio di progetto agente secondo x
$f_{v,d}$	0,8	N/mm ²	resistenza di progetto a taglio
τ_x	0,14	N/mm ²	tensione tangenziale sollecitante agente secondo y
τ_y	0,00	N/mm ²	tensione tangenziale sollecitante agente secondo x
τ_d	0,14	N/mm ²	tensione tangenziale risultante
VERIFICA SODDISFATTA			
Verifica a Momento Flettente (sezione di mezzeria)			
M_dSLUx	0,3	kNm	momento di progetto agente secondo y
M_dSLUy	0,0	kNm	momento di progetto agente secondo x
$f_{m,x,d}$	9,3	N/mm ²	resistenza di progetto a flessione secondo x
$f_{m,y,d}$	7,5	N/mm ²	resistenza di progetto a flessione secondo y
$\sigma_{m,x,d}$	3,4	N/mm ²	tensione normale sollecitante dovuta a M_dSLUx
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	N/mm ²	tensione normale sollecitante dovuta a M_dSLUy
$\sigma_{m,x,d}/f_{m,x,d} + 0,7 \cdot \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}$	0,36	<1	verifica flessione secondo y
$0,7 \cdot \sigma_{m,x,d}/f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}$	0,25	<1	verifica flessione secondo x
VERIFICA SODDISFATTA			
VERIFICA ALLO SLE DI DEFORMAZIONE (per combinazione caratteristica)			
$\Delta 1_{kx,0}$	0,01	cm	valore caratteristico della freccia permanente istantanea secondo y
$\Delta 1_{ky,0}$	0,00	cm	valore caratteristico della freccia permanente istantanea secondo x
$\Delta 1_{k,0}$	0,01	cm	valore caratteristico risultante della freccia permanente istantanea
$\delta 1_{k,\infty}$	0,01	cm	valore caratteristico risultante della freccia permanente a lungo termine
$\delta 2_{kx}$	0,16	cm	valore caratteristico della freccia variabile secondo y
$\delta 2_{ky}$	0,00	cm	valore caratteristico della freccia variabile secondo x
$\delta 2_k$	0,16	cm	valore caratteristico risultante della freccia variabile
$\delta 2$	0,34	cm	freccia limite per carichi variabili = L/350
$\delta k_{max,0}$	0,17	cm	valore caratteristico della freccia massima istantanea
δ_{max}	0,48	cm	freccia limite totale (permanenti+variabili) = L/250
$\delta k_{max,\infty}$	0,17	cm	valore caratteristico della freccia massima a lungo termine
VERIFICA SODDISFATTA			

4.4.2. VERIFICHE DEI PROFILI DI IMPALCATO

Il calcolo è stato eseguito sulla luce massima dei profili e, cautelativamente, vincolati con schema appoggio/appoggio.

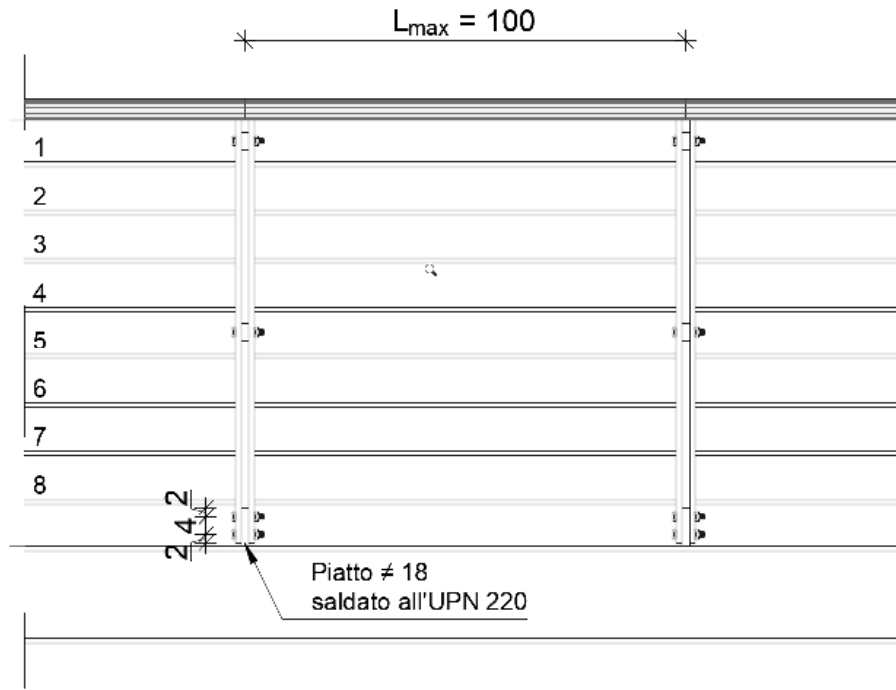
CARATTERISTICHE PROFILO					
UPN 220		Acciaio S	275		
Modulo plastico					
γ_s	1,05	F.C.	1,00		
J_y [cm ⁴]	2690,00	J_x [cm ⁴]	197,00		
$W_{y,el}$ [cm ³]	245,00	$W_{y,pl}$ [cm ³]	292,00		
$W_{x,el}$ [cm ³]	33,60	$W_{y,pl}$ [cm ³]	64,10		
A [cm ²]	37,40	b [mm]	80,00		
t_f [mm]	12,50	t_w [mm]	9,00		
h [mm]	220,00	r [mm]	12,50		
A_v [cm ²]	21,65	$V_{y,Rd}$ [kN]	327,37		
$M_{y,Rd}$ [kNm]	64,17	$M_{y,pl,Rd}$ [kNm]	76,48		
$M_{x,Rd}$ [kNm]	8,80	$M_{x,pl,Rd}$ [kNm]	16,79		
J_T [cm ⁴]	16,00	g [kg/ml]	29,40		
CARATTERISTICHE TRAVE					
L [m]	4,50	i [m]	1,20		
Inclinazione [°]	0,00	J'_y [cm ⁴]	2690,00		
N° profili	2				
ANALISI DEI CARICHI					
G_1 Distribuito	0,00	[kN/mq]	0,29	[kN/ml]	
G_2 Distribuito	0,50	[kN/mq]	0,50	[kN/ml]	
Q Distribuito	5,00	[kN/mq]	0,00	[kN/ml]	
STATO LIMITE ULTIMO					
q [kN/m]	11,03	$M_{q,Ed}$ [kNm]	27,93	$V_{q,Ed}$ [kN]	24,82
P_1 [kN]	0,00	$M_{1,Ed}$ [kNm]	0,00	$V_{1,Ed}$ [kN]	0,00
P_2 [kN]	0,00	$M_{2,Ed}$ [kNm]	0,00	$V_{2,Ed}$ [kN]	0,00
$V_{y,Ed}/V_{y,Rd}$	0,04	$M_{y,Ed}/M_{y,Rd}$	0,18	$M_{x,Ed}/M_{x,Rd}$	0,00
$M_{y,Ed}/M_{y,Rd} + M_{x,Ed}/M_{x,Rd} \leq 1$				0,18	≤ 1
VERIFICA SODDISFATTA					
STATO LIMITE DI ESERCIZIO					
Tipologia strutturale:					
Solai in generale					
$(G_1+G_2)_q$ [kN/m]	1,39	Q_q [kN/m]	6,00		
$G_{2,POS.1}$ [kN]	0,00	$Q_{POS.1}$ [kN]	0,00		
$G_{2,POS.2}$ [kN]	0,00	$Q_{POS.2}$ [kN]	0,00		
$\delta_{2,LIM}$ [cm]	1,50	δ_2 [cm]	0,28	$\delta_{2,LIM}/\delta_2 > 1$	OK
$\delta_{max,LIM}$ [cm]	1,80	δ_{max} [cm]	0,35	$\delta_{max,LIM}/\delta_{max} > 1$	OK
VERIFICA SODDISFATTA					

4.4.3. VERIFICHE DEL PARAPETTO METALLICO

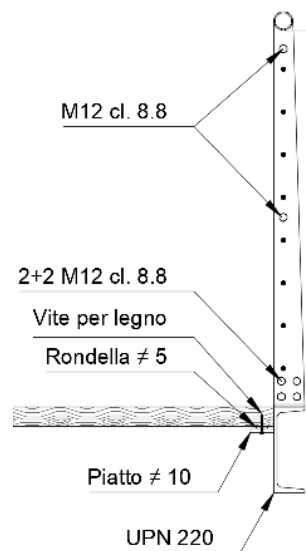
Secondo quanto riportato nella Tab. 3.1.II delle NTC 2018 per quanto attiene la Cat. C3 i carichi orizzontali lineari da assumersi per le verifiche locali sono pari a 300 kg/m.

Pertanto essendo l'latezza del parapetto pari a 1 metro, considerando a favore di sicurezza un interasse tra i montanti pari a 1 metro, e combinando i carichi secondo la combinazione fondamentale indicata al punto 2.5.3 delle NTC2018, si ottiene momento flettente agente al piede dei montanti pari a 4.5 kNm.

Si riporta una rappresentazione grafica del parapetto



Vista frontale del parapetto



Vista laterale del parapetto

Le azioni al piede del doppio montante vengono assorbite da un fazzoletto metallico di spessore 18mm base 80mm e altezza 80mm, saldato in officina a completo ripristino all'ala superiore del profilo metallico di cui si compone la passerella. Il momento resistente del fazzoletto, calcolato in accordo con le NTC 2018, risulta essere pari a 5.03 kNm. Pertanto risulta:

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

Il collegamento dei montanti che formano gli elementi di parapetto viene invece realizzato attraverso l'inserimento di un gruppo di 4 viti M12 classe 8.8.

Difatti assumendo le piastre di collegamento rigide, essendo poste le viti ad un interasse pari a 40mm si ottiene uno sforzo tranciante agente sul gambo del bullone, per ogni bullone, per ogni piano di taglio pari a 28.125kN, pertanto si avrà:

Classe bullone 8.8 diametro d 12 f_{yb} 640 f_{ub} 800 N/mm²

Sezione filettata
 Sezione lorda

Area 84.3 mm²

Resistenza a taglio [per piano di taglio] $F_{v,Rd}$ 32.37 kN

Resistenza a trazione $F_{t,Rd}$ 48.56 kN

Taglio e Trazione - EC3 #6.5.5.(5)

$F_{v,Sd}$ 28.125 $F_{t,Sd}$ 0 kN

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4 F_{t,Rd}} = 0.869 + 0 = 0.869$$

Rifollamento

Acciaio S275 (Fe430) f_u 430 N/mm²

spessore t 18 mm

diametro foro d_o 13 mm

distanze bordo e_1 20 e_2 20

passo p_1 40 p_2 40

α 0.513

Resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$ 95.26 kN Osservazioni

