



rev. n.	data	descrizione	redatto	controllato	approvato
2	28/11/2013	Revisione a seguito modifiche distributive.	F.M.	F.M.	D.G.
1	09/08/2013	Modifiche dettagli esecutivi.	Ing. S. Zanfabro	F.M.	D.G.
0	18/05/2013	Emissione.	Ing. Stefano Cerri	F.M.	F. M.

progetto strutturale (D.M. 14.01.2008): RELAZIONE DI CALCOLO, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE					elaborato str D1 es
commessa	codice file	revisione	data	num. elaborati	scala
13-015	13-015_strD1df_r2.pdf	2	28/11/2013	1/3	---

progetto e direzione lavori:

archimede
s.r.l. - servizi di ingegneria

Viale Puccini, 311/C S. Anna - 55100 LUCCA
tel. e fax: +39 0583 583460
Info@archimedeIngegneria.com
www.archimedeingegneria.com

gliarchitettiassociati

Via Guidiccioni, 111 - 55100 LUCCA
tel.: +39 0583 316948 fax: +39 0583 318948
info@gliarchitettiassociati.com
www.gliarchitettiassociati.com

Il progettista strutturale

Ing. Davide Giangrandi

P.P.V. il direttore dei lavori

Ing. Francesco Mauro

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3	MATERIALI	2
	3.1 Stato attuale	2
	3.2 Stato di progetto	3
	3.3 Coefficienti di sicurezza	3
4	AZIONI	4
	4.1 Localizzazione	4
	4.2 Pesì propri dei materiali strutturali	4
	4.3 Carichi permanenti non strutturali	4
	4.4 Carichi variabili	4
	4.5 Neve 4	
	4.6 Azione sismica	4
5	TERRENO DI FONDAZIONE	5
6	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	6
	6.1 Piano interrato	6
	6.2 Piano terra	6
	6.3 Copertura	7
7	VERIFICHE STRUTTURALI	7
	7.1 Tipologia dell'intervento	7
	7.2 Analisi dei carichi	8
	7.3 Murature	9
	7.4 Solai in legno	10
	7.4.1 Travicello 8x8 cm	10
	7.4.2 Trave principale 25x30 cm	10
	7.5 Solai a volta	11
	7.6 Scale 12	
	7.6.1 Cosciali sez. 10x145 mm	12
	7.7 Solaio leggero in acciaio	12
	7.7.1 Profili longitudinali	12
	7.7.2 Profili trasversali	13
	7.7.3 Colonna	13
	7.8 Soppalco	14
	7.8.1 Lamiera	14
	7.8.2 Trave principale	14
8	PIANO DI MANUTENZIONE	14

METODO DI VERIFICA:

STATI LIMITE (D.M. 14/01/2008)

1 Premessa

La presente relazione si riferisce al “**progetto di recupero dell'ex canile delle mura, antica casermetta del baluardo San Salvatore**”. Si tratta di un edificio vincolato ai sensi della parte II del D.Lgs. 42/2004 (ex L. 1089/39). Il progetto, nel suo complesso, prevede la riorganizzazione interna del fabbricato con interventi concentrati al livello del piano interrato, dove sarà ricavato un nuovo volume nella parte intermedia in analogia alle porzioni laterali, e del piano terra, dove sono previste lievi modifiche alle murature portanti interne ed il rifacimento dei solai attualmente assenti. Al livello della copertura non sono previsti interventi strutturali.

La presente relazione riguarda esclusivamente le opere strutturali, per le quali si è valutata la sicurezza statica. Le opere non strutturali (tramezzature, massetti, tamponamenti, impianti, ...) sono prese in considerazione esclusivamente per una corretta valutazione delle azioni trasmesse, ma, per le medesime, non sono condotte verifiche di sicurezza.

Il progetto architettonico è stato redatto dalla società di ingegneria *Archimede s.r.l.* con la collaborazione dello studio tecnico *gliarchitettiassociati*.

Il fabbricato oggetto d'intervento ha pianta approssimativamente rettangolare, con lati di lunghezza rispettivamente pari a 24,00 x 11,40 m; esso si sviluppa su due livelli, di cui uno interrato, con copertura a padiglione ed altezza in gronda di circa 3,90 m.

L'intervento può essere classificato come “locale” ai sensi delle N.T.C. 14/01/2008 paragrafo 8.4.3.

L'intervento ricade in zona 3 secondo la classificazione sismica regionale.

2 Normativa di riferimento

I calcoli statici sono stati eseguiti in ottemperanza alle seguenti normative:

- Legge 5/11/1971, n° 1086** - "Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 2/2/1974, n° 64** – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. Infrastrutture 14/01/2008** – “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 02/02/2009 n.617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – “Nuova Circolare delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- UNI EN 206-1** – “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.

3 Materiali

3.1 Stato attuale

Sono state effettuate indagini in-situ limitate. Ci si è basati su esami visivi dei paramenti murari giudicando forma e dimensione dei blocchi, l'ammorsatura tra le pareti murarie negli angoli e la compattezza della malta. Si intende raggiunto il livello di conoscenza LC1, in quanto sono stati effettuati il rilievo geometrico e le verifiche in-situ limitate. Non sono presenti quadri fessurativi attribuibili a cedimenti e/o difetti di fondazione, ad esclusione di una lesione verticale in corrispondenza di un cambio di muratura.

- LC1

FC = 1,35

- Muratura esistente in pietrame disordinata $f_m = 10,0 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_0 = 0,20 \text{ daN/cm}^2$
- Legno di Castagno (assimilabile alla classe strutturale) $f_{m,k} = 280 \text{ daN/cm}^2$

3.2 Stato di progetto

Per l'intervento in oggetto si utilizzano i seguenti materiali:

- Calcestruzzo strutturale ordinario:

classe del calcestruzzo	C20/25
resistenza caratteristica	$R_{ck} = 250 \text{ daN/cm}^2$
classe di consistenza	S4
classe di esposizione	XC2
diametro aggregato	$D_{max} \leq 30 \text{ mm}$
- Calcestruzzo strutturale alleggerito per completamento solai:

classe del calcestruzzo	LC20/22
resistenza caratteristica	$R_{ck} = 220 \text{ daN/cm}^2$
classe di consistenza	S4
classe di esposizione	X0
classe di massa volumica	D1,5
diametro aggregato	$D_{max} \leq 15 \text{ mm}$
- Acciaio per cemento armato:

classe dell'acciaio	B450C
tensione di snervamento	$f_{y \text{ nom}} = 4.500 \text{ daN/cm}^2$
tensione di rottura	$f_{t \text{ nom}} = 5.400 \text{ daN/cm}^2$
	$1,15 \geq (f_t/f_y)k < 1,35$
- Acciaio per carpenteria metallica tipo S235

	$f_{yk} = 2.350 \text{ daN/cm}^2$
	$f_{tk} = 3.600 \text{ daN/cm}^2$
- Legno di Castagno (di provenienza italiana) $f_{m,k} = 280 \text{ daN/cm}^2$
- Tirafondi classe 4.6 $f_{tb} = 4.000 \text{ daN/cm}^2$
- Connettori $\varnothing 12$ certificati (Tecnaria base od eq.) $T_k = 2.400 \text{ daN/cm}^2$

3.3 Coefficienti di sicurezza

- Coefficiente parziale di sicurezza muratura portante $\gamma_m = 2,0$
- Coefficiente parziale di sicurezza C.A. $\gamma_m = 1,5$
- Coefficiente parziale di sicurezza Acciaio da C.A. $\gamma_m = 1,15$
- Coefficiente parziale di sicurezza Acciaio $\gamma_m = 1,05$

4 Azioni

4.1 Localizzazione

Il fabbricato è ubicato nel centro storico di Lucca, sulle mura urbane, in fregio al baluardo S. Salvatore.

coordinate (WGS84):	longitudine 10,5149
	latitudine 43,8451
altitudine:	<200 m s.l.m.
vita nominale:	>=50 anni
classe d'uso:	C _u =II

4.2 Pesì propri dei materiali strutturali

Peso proprio elementi in C.A. ordinario:	2.500 daN/m ³
Peso proprio elementi in C.A. alleggerito:	1.900 daN/m ³
Peso proprio muratura in pietrame:	1.900 daN/m ³
Peso proprio solai di copertura:	180 daN/m ²
Peso proprio solai in legno e calcestruzzo:	150 daN/m ²
Peso proprio solai preesistenti (stimato):	150 daN/m ²
Peso proprio solai voltati:	250 daN/m ²
Peso proprio soppalchi e scale:	70 daN/m ²

4.3 Carichi permanenti non strutturali

Permanenti portati solaio di piano:	150 daN/m ²
Permanenti solai preesistenti (stimato):	150 daN/m ²
Permanenti portati solaio di copertura:	100 daN/m ²
Permanenti portati scale:	25 daN/m ²
Permanenti portati soppalco:	160 daN/m ²
Incidenza tramezzi:	160 daN/m ²

4.4 Carichi variabili

Locali suscettibili di affollamento:	300 daN/m ²
Variabili solai preesistenti (stimato magazzino):	300 daN/m ²
Scale:	400 daN/m ²
Copertura:	80 daN/m ²

4.5 Neve

Zona 2; Altitudine <200 m s.l.m.:	80 daN/m ²
-----------------------------------	-----------------------

4.6 Azione sismica

I seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale a_g , F_0 e T_C , in funzione del periodo di ritorno T_R , sono stati valutati utilizzando il foglio di calcolo "Spettri-NTCver.1.0.3.xls" distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici di cui si riporta un estratto.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle posì individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,043	2,544	0,237
50	0,053	2,554	0,252
72	0,060	2,583	0,265
101	0,068	2,560	0,272
140	0,077	2,573	0,277
201	0,090	2,493	0,282
475	0,129	2,372	0,290
975	0,164	2,382	0,296
2475	0,217	2,397	0,310

5 Terreno di fondazione

Sulla struttura attuale non sono presenti quadri fessurativi attribuibili a carenze delle strutture di fondazione o a cedimenti del terreno di fondazione.

Trattandosi di intervento locale che non determina un incremento di carico significativo sulle fondazioni e non essendo previsti cambi di tipologia delle fondazioni stesse, possono essere omessi gli allegati di cui all'art. 3, comma 2 lettere c) e d) del D.P.G.R. del 9 luglio 2009, n°36/R della Regione Toscana.

Non essendo previsti interventi significativi sulle murature portanti l'incremento di carico è dovuto esclusivamente alle modifiche sui solai di piano terra.

6 Descrizione degli interventi

Il presente progetto è basato sulla struttura esistente individuabile dalla stato attuale. Durante la fase esecutiva sarà cura della Direzione lavori verificare che la situazione effettiva sia conforme a quanto ipotizzato in sede di progetto anche alla luce di eventuali ulteriori saggi che si rendessero necessari.

Particolare cura dovrà porsi per la realizzazione dello scavo interno, assicurando la continuità strutturale di tutte le murature portanti fin oltre il piano di fondo scavo. Se necessario dovranno predisporre interventi di sottofondazione a tratti non contigui di lunghezza inferiore al metro.

Gli interventi strutturali previsti sono elencati nei seguenti paragrafi.

6.1 Piano interrato

Scavo della parte centrale dell'edificio dal piano terra attuale alla quota di imposta del nuovo solaio aerato ed eventuale approfondimento tramite sottofondazione delle parti laterali (già presenti) anch'esse fino alla quota di imposta del nuovo solaio aerato.

Realizzazione di solaio aerato del piano interrato mediante utilizzo di moduli plastici tipo IGLOO con soletta di completamento in c.a. di spessore minimo 4 cm armata con rete $\varnothing 6$ maglia 15x15 cm. Perimetralmente ad ogni campo di solaio realizzazione di cordoli in affiancamento alle fondazioni esistenti, con dimensioni circa 30x40 cm, collegati alle murature mediante spezzoni di profilo HEA100 a passo di 100 cm, intradossati rispetto alla soletta di base di spessore 15 cm armata con doppia rete elettrosaldata $\varnothing 6$ maglia 15x15 cm.

Consolidamento di tutte le murature portanti esistenti in muratura di pietrame mista a mattoni pieni, su tutte le facce visibili, mediante idropulitura, rimozione delle parti mobili, intasamento dei vuoti e stilatura dei giunti. Eventuali lesioni saranno risarcite localmente con la tecnica dello "scuci e cuci" Internamente saranno realizzate contropareti in blocchi di calcestruzzo alveolare per ridurre il rischio di infiltrazioni di umidità.

Apertura di n. 2 porte sulle pareti portanti interne e ripristino di una "bocca di lupo" sul prospetto est (lato sud). Tutte le nuove aperture saranno architravate con doppio profilo metallico HEB140.

Realizzazione di n°1 nuovo corpo scala a struttura leggera in carpenteria metallica costituito da colonne metalliche tubolari 100x100x3 mm, cosciali laterali in lamiera sp. 10 mm e gradini in lamiera pressopiegata di sp. 4 mm.

6.2 Piano terra

Realizzazione dei solai mancanti con struttura tradizionale in legno a doppia orditura con soletta collaborante così costituiti: travi e travicelli in legno massiccio di castagno di sezione minima ed interasse rispettivamente di 25x30 passo circa 170 cm e 8x8 passo 30 cm; scempiato in tavolato di abete di spessore 25 mm; getto di completamento in calcestruzzo alleggerito armato con rete elettrosaldata $\varnothing 6$ maglia 10x10 cm di spessore 5 cm; connettori metallici $\varnothing 12$ mm (tipo Tecnaria base) di altezza 13 cm disposti ad interasse di 7,5 e 15 cm rispettivamente per tratti di lunghezza pari ad L/4 a partire dalle estremità delle travi e per il restante tratto centrale. Perimetralmente ad ogni campo di solaio si

prevede un incatenamento mediante n°3 barre $\varnothing 12$ inserite nello spessore della soletta ed il collegamento alle murature mediante barre $\varnothing 12$ passo 50 cm.

Consolidamento dei solai esistenti con struttura a volte di laterizio costituite da mezzane in foglio con raddoppio dello spessore in corrispondenza delle sovrastanti pareti in mattoni pieni, disposte ad interasse di circa 35 cm, a sostegno dell'orizzontamento mediante realizzazione di soletta orizzontale in calcestruzzo alleggerito armato con rete elettrosaldata $\varnothing 6$ maglia 10x10 cm di spessore 5 cm. Perimetralmente ad ogni campo di solaio si prevede un incatenamento mediante n°3 barre $\varnothing 12$ inserite nello spessore della soletta ed il collegamento alle murature mediante barre $\varnothing 12$ passo 50 cm.

Consolidamento di tutte le murature portanti esistenti in muratura di pietrame mista a mattoni pieni, su tutte le facce visibili, mediante idropulitura, rimozione delle parti mobili, intasamento dei vuoti e stilatura dei giunti. Eventuali lesioni saranno risarcite localmente con la tecnica dello "scuci e cuci".

Ripristino di aperture preesistenti nelle murature portanti interne mediante ripristino di vecchi vani semplicemente tamponati, chiusura e/o spostamento di vani esistenti. Tutte le aperture saranno architravate con doppio profilo metallico HEB140.

Realizzazione, nella parte nord-est del fabbricato, di porzioni di solaio a struttura leggera costituiti da profili principali in tubolare 100x100x3 mm (affiancati da piatti 10x350 mm), profili secondari in tubolare 100x100x3 mm ad interasse 840 mm e piano di calpestio in lamiera nervata di spessore 4 mm con pavimentazione in ciocciopesto di spessore 8 cm.

In corrispondenza dei servizi per disabili e del locale 3 saranno realizzati soppalchi a quota variabile, per la realizzazione di un vano tecnico sottotetto, costituiti da profili principali IPE200 e lamiera grecata HI-BOND E/S 4000 AM sp. 0,80 mm e soletta di completamento sp. 10 cm, di cui la porzione a quota superiore con funzione di mera controsoffittatura.

Sostituzione di una catena metallica esistente sul muro trasversale interno nord mediante inserimento di tondo pieno $\varnothing 24$ mm ancorato alle murature ortogonali con capo chiave diagonale e tenditore a cuneo. Per l'esatto posizionamento si rimanda agli elaborati grafici.

6.3 Copertura

L'unico intervento strutturale previsto al livello della copertura è il consolidamento del cornicione di gronda mediante realizzazione di soletta in calcestruzzo alleggerito armata con rete e.s. $\varnothing 3/10$. Detto consolidamento assume anche la funzione di incatenamento perimetrale sommitale della muratura in elevazione.

7 Verifiche strutturali

7.1 Tipologia dell'intervento

L'intervento può essere classificato come "locale" ai sensi delle N.T.C. 14/01/2008 paragrafo 8.4.3. in quanto:

- gli interventi previsti sono tali da mantenere inalterato il comportamento globale del fabbricato, sia in termini di rigidità e resistenze, sia in termini di carichi applicati;
- la creazione di nuove aperture all'interno dell'edificio non determina riduzione della sezione resistente delle murature portanti in quanto si riapriranno esclusivamente vani preesistenti tamponati sommariamente con materiali di recupero;

- la variazione di carico complessiva al livello delle fondazioni risulta pari al 6,9%.
- la variazione di carico dei solai di piano terra oggetto di intervento, valutata nei confronti dei permanenti portati e dei variabili, è pari al 9%, inferiore al 10 %.

Considerando inoltre che il solaio, essendo al livello del terreno, non influisce sulla risposta sismica del fabbricato in elevazione, mentre, trattandosi di una struttura rigida, migliora il comportamento fuori piano delle pareti perimetrali soggette alla spinta del terreno, oltre che alle altre azioni orizzontali, in quanto realizza un vincolo sommitale attualmente assente, può ritenersi soddisfatto il principio richiesto dalla normativa per l'individuazione di un intervento come "locale".

Non si rende quindi necessaria la verifica globale del fabbricato, e nel proseguimento si illustrano le verifiche locali relative alle sole strutture oggetto di intervento.

7.2 Analisi dei carichi

STATO ATTUALE

Pesi propri

Piano interrato ($l \cdot b \cdot h \cdot \gamma$): $108,5 \cdot 0,60 \cdot 3,00 \cdot 1.900 \cdot 100\% =$ 371.036 daN

Piano terra ($l \cdot b \cdot h \cdot \gamma$): $99,6 \cdot 0,55 \cdot 4,65 \cdot 1.900 \cdot 90\% =$ 435.245 daN

TOTALE 806.280 daN

Permanenti strutturali

Solai piano terra ($A \cdot q$): $43,8 \cdot 250 + 101,7 \cdot 150 =$ 26.211 daN

Solai piano copertura ($A \cdot q$): $312,5 \cdot 180 =$ 56.250 daN

TOTALE 82.461 daN

Permanenti non strutturali

Solai piano terra ($A \cdot q$): $43,8 \cdot 150 + 101,7 \cdot 250 =$ 31.997 daN

Solai piano copertura ($A \cdot q$): $312,5 \cdot 100 =$ 31.250 daN

TOTALE 63.247 daN

Variabili

Solai piano terra ($A \cdot q$): $43,8 \cdot 300 + 101,7 \cdot 300 =$ 43.656 daN

Solai piano copertura ($A \cdot q$): $312,5 \cdot 80 =$ 25.000 daN

TOTALE 68.656 daN

INCREMENTI DI PROGETTO

Permanenti strutturali

Solai piano terra ($A \cdot q$): $72,1 \cdot 150 =$ 10.815 daN

Soppalco ($A \cdot q$): $19,3 \cdot 190 =$ 3.670 daN

TOTALE 14.485 daN

Permanenti non strutturali	
Solai piano terra (A·q): $72,1 \cdot 310 + 101,7 \cdot 60 =$	28.452 daN
Soppalco (A·q): $19,3 \cdot 30 =$	<u>580 daN</u>
TOTALE	29.032 daN
Variabili	
Solai piano terra (A·q): $72,1 \cdot 300 =$	21.630 daN
Soppalco (A·q): $9,65 \cdot 500 =$	<u>4.825 daN</u>
TOTALE	26.455 daN
INCREMENTO DI CARICO IN FONDAZIONE	
ATTUALE: $806.208 + 82.461 + 63.247 + 68.656 =$	1.020.644 daN
INCREMENTO: $14.485 + 29.032 + 26.455 =$	69.972 daN
DIFFERENZA PERCENTUALE: $60.897 / 1.020.644 \cdot 100 =$	6,9%

7.3 Murature

PIANO TERRA

Tutte le modifiche previste al piano terra riguardano il ripristino, la chiusura e lo spostamento di aperture preesistenti, attualmente tamponate con materiale eterogeneo e non ammorsato alle parti portanti perimetrali. Non risultano quindi variazioni alle rigidezze ed alle resistenze rispetto alla configurazione attuale. Si prevede comunque la realizzazione di nuovi architravi metallici in doppio profilo HEB140 ammorsati per almeno 25 cm all'interno delle murature laterali per garantire il corretto trasferimento dei carichi verticali.

PIANO INTERRATO

È prevista l'apertura di n°1 porta in ognuna delle pareti trasversali interne.

La rigidezza delle pareti nelle configurazioni di progetto, valutata considerando una muratura in pietrame disordinata, risulta minore di quella dello stato attuale per entrambe le pareti. Considerando che si tratta di pareti interrato non direttamente soggette all'applicazione delle azioni sismiche e che la riduzione di rigidezza risulta inferiore al 15% (punto 1.2 di "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti" dell' Uff. Genio Civile di Firenze), si ritiene non necessario realizzare cerchiature metalliche di confinamento delle nuove aperture (che necessitando di una demolizione maggiore comporterebbero un rischio di allentamento delle strutture). Si prevede comunque la realizzazione di nuovi architravi metallici in doppio profilo HEB140 ammorsati per almeno 25 cm all'interno delle murature laterali per garantire il corretto trasferimento dei carichi verticali.

Si procede a calcolare la rigidezza del setto murario pre e post-intervento.

PRE-INTERVENTO

Lunghezza setti ($b/l > 2,5$ si considerano 2 setti indipendenti):	5,70-5,70 m
Altezza setti murari:	2,30 m
Spessore setti murari:	60 cm

Rigidità parete iniziale K_0 :	343.799 daN/cm
<i>POST-INTERVENTO</i>	
Lunghezza setti ($b_7/l > 2,5$ si considerano setti indipendenti):	5,70-3,60-1,20 m
Altezza setti murari:	2,30 m
Spessore setti murari:	60 cm
Rigidità muratura finale $K_{1,m}$:	292.543 daN/cm
Differenza rigidità ΔK :	-51.256 daN/cm
Differenza percentuale:	14,9%

7.4 Solai in legno

I nuovi solai di piano terra saranno realizzati con struttura tradizionale in legno a doppia orditura con soletta collaborante così costituiti: travi e travicelli in legno massiccio di castagno di sezione minima ed interasse rispettivamente di 25x30 passo circa 170 cm, e 8x8 passo 30 cm; tavolato di abete di spessore 25 mm; getto di completamento in calcestruzzo alleggerito armato con rete elettrosaldata $\phi 6$ maglia 10x10 cm di spessore 5 cm; connettori metallici $\phi 12$ mm (tipo Tecnaria base o equivalenti) di altezza 13 cm disposti ad interasse di 7,5 e 15 cm rispettivamente per tratti di lunghezza pari ad $L/4$ a partire dalle estremità delle travi e per il restante tratto centrale. Perimetralmente ad ogni campo di solaio si prevede un incatenamento mediante n°3 barre $\phi 12$ inserite nello spessore della soletta ed il collegamento alle murature mediante barre $\phi 12$ passo 50 cm.

I solai sono dimensionati per un carico permanente portato (oltre peso proprio) pari a 310 daN/m² ed un sovraccarico variabile pari a 300 daN/m².

7.4.1 Travicello 8x8 cm

La condizione di calcolo più gravosa risulta quella con soli carichi permanenti. Si considera una classe di servizio 2.

Luce di calcolo L :	170 cm
Interasse di competenza i :	30 cm
Carico flettente distribuito agli SLU:	236 daN/m
Momento sollecitante M_{Ed} :	85 daN·m
Momento resistente $M_{c,Rd}$:	96 daN·m; $M_{Ed}/M_{c,Rd} = 0,89$
Taglio sollecitante V_{Ed} :	200 daN
Taglio resistente $V_{c,Rd}$:	341 daN; $V_{Ed}/V_{c,Rd} = 0,59$
Pressione di contatto agli appoggi (8x4 cm) $\sigma_{c,90,Ed}$:	6,3 daN/cm ²
Pressione di contatto resistente $\sigma_{c,90,Rd}$:	15,2 daN/cm ²

7.4.2 Trave principale 25x30 cm

Si considera una trave a sezione mista legno-calcestruzzo mediante l'utilizzo di connettori a piolo e rampone $\phi 12$ (tipo Tecnaria base) disposti ad interasse di 7,5 e 15 cm rispettivamente per tratti di lunghezza pari ad $L/4$ a partire dalle

estremità delle travi e per il restante tratto centrale. Il cordolo superiore alla trave lignea sarà armato mediante n°2+2 $\varnothing 10$ e staffe $\varnothing 8$ passo 25 cm.

Luce di calcolo L:	700 cm
Interasse di competenza i:	170 cm
Carico flettente distribuito agli SLU:	1.881 daN/m
Momento massimo in mezzeria M_{Ed} :	11.521 daN·m
Taglio agli appoggi V_{Ed} :	6.584 daN
Tensione normale nel calcestruzzo σ_c (t=0):	56 daN/cm ²
Resistenza del legno a flessione (t=∞):	0,99 < 1,00
Tensione tangenziale nel legno τ_t (t=∞):	7,7 < 10,7 daN/cm ²
Sforzo nel connettore T_c :	1.228 daN < 1.293 daN
Freccia f (totale; variabile): [mm]	19,4 (L/732); 20,0 (L/360)

7.5 Solai a volta

Nella porzione nord del fabbricato sono presenti alcune porzioni di solaio con tipologia di volta a botte realizzata con mezzane di laterizio disposte in foglio.

La geometria delle volte è sostanzialmente la medesima, con larghezza di circa 210 cm e freccia di circa 45 cm.

Allo stato attuale, superiormente alle volte, sono presenti pareti in mattoni pieni ad interasse di circa 35 cm, con conformazione tale da riportare in piano l'estradosso della volta. Al livello dell'estradosso, alla base delle suddette pareti, è presente un raddoppio dello spessore della volta. Superiormente alle pareti è presente uno scempiato in laterizio con sovrastante caldana sciolta e pavimentazione in cotto.

Il consolidamento prevede la sostituzione della caldana con una soletta in calcestruzzo alleggerito armato con rete elettrosaldata $\varnothing 6$ maglia 10x10 cm di spessore 4 cm, con riposizionamento della attuale pavimentazione. L'inserimento consente una migliore ripartizione dei carichi tra le pareti affiancate, un incremento della sezione resistente in chiave della volta, senza modificare i carichi permanenti applicati.

Le verifiche di resistenza sono condotte con il metodo grafico, individuando il poligono funicolare interno alla sezione resistente, costituita dalla volta vera e propria, dalla parete in laterizio e dalla soletta in cls, con le corrispondenti sollecitazioni.

La sicurezza nei confronti della stabilità è garantita dall'aver mantenuto il poligono funicolare ad una distanza di 3 cm dalle estremità delle sezioni resistenti (considerando la sezione resistente in chiave di spessore pari a 12 cm si ottiene un coeff. di sicurezza geometrico pari a 2,0).

Le verifiche di resistenza sono condotte nei riguardi della sola soletta in cls in chiave e della parete in mattoni pieni alle imposte, considerando una sezione resistente pari rispettivamente a 15x5 e 15x10 cm.

Si riassumono nel seguito i risultati numerici ottenuti.

Luce di calcolo L:	210 cm
--------------------	--------

Interasse di competenza i:	35 cm
Carico flettente distribuito agli SLU:	350 daN/m
Reazione verticale V_{Ed} :	400 daN
Reazione orizzontale H_{Ed} :	450 daN
Reazione totale R_{Ed} :	620 daN
Resistenza di progetto in chiave H_{Rd} :	1.330 daN; $H_{Ed}/H_{Rd}=0,47$
Resistenza di progetto alle imposte R_{Rd} :	9.350 daN; $R_{Ed}/R_{Rd}=0,50$

7.6 Scale

Il nuovo corpo scala, a struttura leggera in carpenteria metallica, avrà gradini in lamiera pressopiegata di spessore 4 mm poggianti su piatti laterali di spessore 10 mm continui fino al terreno nella parte bassa e di altezza minima 145 mm nella rampa superiore.

Le verifiche di sicurezza sono condotte considerando un carico uniformemente distribuito pari a 400 daN/m² per gli elementi principali.

7.6.1 Cosciali sez. 10x145 mm

Lo schema statico considerato è semplice appoggio. Si ottiene:

Luce di calcolo L:	200 cm
Carico flettente concentrato agli SLU:	473 daN
Momento sollecitante M_{Ed} :	236 daN·m
Momento resistente M_{Rd} :	784 daN·m; $M_{Ed}/M_{Rd}=0,30$
Taglio sollecitante V_{Ed} :	473 daN
Taglio resistente V_{Rd} :	1.809 daN; $V_{Ed}/V_{Rd} = 0,26$

Tutti i collegamenti tra elementi metallici saranno di tipo saldato a piena penetrazione.

7.7 Solaio leggero in acciaio

Negli ambienti nell'angolo nord-est, dove è prevista anche la realizzazione della scala di collegamento tra i piani terra ed interrato, sarà realizzata una porzione di solaio a struttura leggera costituito da travi principali ed arcarecci in acciaio e piano di posa della successiva pavimentazione in lamiera nervata.

I profili, trasversali e principale, sono previsti in tubolare 100x100x3 mm. Esternamente, lungo il bordo libero del solaio, è presente un piatto verticale di sezione 10x350 mm. Il piano orizzontale è realizzato in lamiera nervata di spessore 4 mm.

Si riassumono le verifiche di sicurezza.

7.7.1 Profili longitudinali

La condizione di carico più gravosa risulta quella con carico uniformemente distribuito. Si è utilizzato uno schema statico di semplice appoggio.

Luce di calcolo massima L:	330 cm
----------------------------	--------

Interasse di competenza i:	60 cm
Carico flettente complessivo agli SLU q_u :	515 daN/m
Momento sollecitante M_{Ed} :	701 daN·m
Momento resistente M_{Rd} :	817 daN·m; $M_{Ed}/M_{Rd}=0,86$
Taglio sollecitante V_{Ed} :	850 daN
Taglio resistente V_{Rd} :	13.430 daN; $V_{Ed}/V_{Rd} = 0,06$

I collegamenti tra i profili metallici sono tutti saldati a piena penetrazione.

7.7.2 Profili trasversali

La condizione di carico più gravosa risulta quella con carico uniformemente distribuito. Si è utilizzato uno schema statico di semplice appoggio ed una sezione resistente tubolare di dimensioni 100x100x3 mm.

Luce di calcolo massima L:	120 cm
Interasse di competenza i:	84 cm
Carico flettente agli SLU:	730 daN/m
Momento sollecitante M_{Ed} :	131 daN·m
Momento resistente M_{Rd} :	817 daN·m; $M_{Ed}/M_{Rd}=0,16$
Taglio sollecitante V_{Ed} :	438 daN
Taglio resistente V_{Rd} :	20.675 daN; $V_{Ed}/V_{Rd} = 0,02$

Il collegamento tra i profili tubolari e la muratura si prevede mediante inserimento nella stessa per almeno 25 cm.

7.7.3 Colonna

Le colonne in profilo tubolare 100x100x3 mm mm costituiscono appoggio sia per la scala, sia per il solaio leggero. Lo schema statico è di colonna cernierata alla base e impedita di spostarsi orizzontalmente in sommità. Considerata la continuità delle aste che si attestano alla sommità della colonna si ritiene ragionevole considerare come unica sollecitazione applicata lo sforzo normale centrato ed un momento flettente pari ad una eccentricità accidentale di 1/00 dell'altezza.

Sforzo normale sollecitante N_{Ed} :	2.175 daN
Momento flettente sollecitante M_{Ed} :	55 daN·m
Tensione ideale di progetto σ_{Ed} :	337 daN/cm ²
Tensione ideale resistente σ_{Rd} :	2.238 daN/cm ² ; $\sigma_{Ed}/\sigma_{Rd}=0,15$

I collegamenti di base con le colonne verticali sono realizzati mediante piatto di base di dimensioni 200x200x10mm saldato di testa al tubolare a piena penetrazione e n°4 tirafondi M12. In corrispondenza della base delle colonne gli elementi plastici (igloo) del solaio a terra saranno rimossi in modo da ottenere un plinto di base a cui ancorare i tirafondi.

7.8 Soppalco

Il soppalco per la realizzazione del locale tecnico sottotetto avrà orditura principale in profili IPE200 disposti ad interasse di 215 cm e piano di calpestio in lamiera collaborante HI-BOND serie E/S 4000 AM sp. 0,80 mm con getto di completamento di spessore totale 10 cm.

Si riassumono le verifiche di sicurezza.

7.8.1 Lamiera

Secondo scheda tecnica del produttore la configurazione individuata, su una luce di 215 cm con schema di semplice appoggio, ha una portata utile di 680 daN/m^2 , superiore a quanto richiesto.

7.8.2 Trave principale

La condizione di carico più gravosa risulta quella con carico uniformemente distribuito. Si è utilizzato uno schema statico di semplice appoggio.

Luce di calcolo massima L:	470 cm
Interasse di competenza i:	110 cm
Carico flettente agli SLU:	1.175 daN/m
Momento sollecitante M_{Ed} :	3.109 daN·m
Momento resistente M_{Rd} :	4.342 daN·m; $M_{Ed}/M_{Rd}=0,72$
Taglio sollecitante V_{Ed} :	2.703 daN
Taglio resistente V_{Rd} :	18.111 daN; $V_{Ed}/V_{Rd} = 0,15$

Il collegamento lato muratura si prevede mediante l'inserimento nella stessa per almeno 25 cm.

8 Piano di manutenzione

Devono effettuarsi ispezioni periodiche ad intervalli di tempo non superiori a 2 anni dalla data di collaudo per il primo controllo e 5 anni per i successivi, e, comunque, in presenza di fenomeni ossidativi, fessurativi e/o deformativi anomali.

Eventuali cedimenti differenziali delle fondazioni devono essere valutati da un tecnico qualificato.

Eventuali infiltrazioni d'acqua che interessino le strutture portanti e gli elementi di tamponamento, che devono essere eliminate tempestivamente. Le opere di protezione (guaine, intonaci, tinteggiature, ...) devono rimanere integre e svolgere compiutamente la loro funzione. Particolare attenzione dovrà essere posta in presenza di ponti termici e punti di condensa, in prossimità degli impianti idrici e dei sistemi di smaltimento delle acque meteoriche.

Le strutture metalliche devono essere controllate, con le scadenze di cui sopra, con particolare riferimento a:

BULLONATURE e TIRAFONDI, con verifica del serraggio, controllando che non vi siano fenomeni di ossidazione e/o fessurazione in nessuna parte. I bulloni intaccati dovranno essere sostituiti integralmente (vite, dado, rondella) ed i profili collegati eventualmente riparati e/o sostituiti;

RIVETTATURE e VITI di collegamento delle lamiere grecate, controllando che non vi siano fenomeni di ossidazione e/o fessurazione in nessuna parte. Gli elementi intaccati dovranno essere sostituiti integralmente ed i profili collegati eventualmente riparati e/o sostituiti;

SALDATURE, con verifica visiva e strumentale, controllando che non vi siano fenomeni di ossidazione e/o fessurazione o microfessurazione in nessuna parte. Le saldature intaccate dovranno essere riparate ed i piatti e profili collegati eventualmente riparati e/o sostituiti;

ZINCATURE e VERNICIATURE, con verifica del buono stato di conservazione, controllando che non vi sia necessità di procedere con ritocchi e/o rifacimenti. Procedere con la riverniciatura a seconda delle caratteristiche tecniche del prodotto e delle indicazioni del produttore.

Eventuali rigonfiamenti e/o distacchi superficiali (copriferro) delle parti in C.A. devono essere ripristinati tempestivamente mediante rimozione delle parti ammalorate, pulizia delle barre di armatura, trattamento con prodotti anticorrosione, ripristino delle superfici in cls mediante appositi prodotti. Per le parti a facciavista si dovrà verificare lo stato di conservazione delle eventuali tinteggiature protettive, controllando che non vi sia necessità di procedere con ritocchi e/o rifacimenti. Procedere con la riverniciatura a seconda delle caratteristiche tecniche del prodotto e delle indicazioni del produttore.

Gli elementi lignei dei solai devono essere controllati con particolare riferimento a: insorgenza di lesioni; deformazioni eccessive; tasso di umidità; consistenza delle testate. In particolare si dovrà escludere l'insorgenza di fenomeni di marcescenza e di attacco da organismi dannosi (termiti, tarli, funghi, ...). In caso di necessità procedere con la riparazione locale e/o sostituzione delle parti ammalorate.

Particolare attenzione dovrà essere posta alle zone di collegamento tra diversi elementi ed alle zone nascoste alla vista.

In caso di collegamenti con elementi metallici si dovrà procedere al controllo degli stessi, ed in particolare:

SALDATURE, con verifica visiva e strumentale, controllando che non vi siano fenomeni di ossidazione e/o fessurazione o microfessurazione in nessuna parte. Le saldature intaccate dovranno essere riparate ed i piatti e profili collegati eventualmente riparati e/o sostituiti;

ZINCATURE e VERNICIATURE, con verifica del buono stato di conservazione, controllando che non vi sia necessità di procedere con ritocchi e/o rifacimenti. Procedere con la riverniciatura a seconda delle caratteristiche tecniche del prodotto e delle indicazioni del produttore.

L'eventuale insorgenza di lesioni nelle strutture murarie devono essere valutate da un tecnico competente per escludere l'insorgenza di cedimenti strutturali e/o del terreno di fondazione.

Porre particolare attenzione in corrispondenza delle intersezione tra pareti ortogonali, di aperture architravate, di carichi concentrati (appoggio di travature) e di elementi spingenti (archi, volte, travi inclinate, puntoni di copertura, ...).

Lucca, dicembre 2013

Il progettista
Ing. Davide Giangrandi