



comune
Carsoli



regione
Abruzzo

provincia
L'Aquila



PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO STRUTTURALE DELL'EDIFICIO SEDE DEL MUNICIPIO DI CARSOLI (AQ)

localizzazione

CARSOLI,
P.zza della Libertà, n°1
Fg. 69 - Part.IIIa 16

data

Ottobre 2015

tavola

R2_STR

scale

-

descrizione

elaborato

Relazione Specialistica sui Materiali

committente

COMUNE DI CARSOLI
P.zza della Libertà n°1
67061 - CARSOLI (AQ)

Revisione elaborato:

data

PROGETTO INTEGRATO **STA** STUDIO TECNICO ASSOCIATO

Studio Tecnico Associato Progetto Integrato, Via Silvio Spaventa n°10, SULMONA (AQ)
tel.0864-51619 - fax. 0864-950372 - email: studiotecnico@progettointegrato.it - www.progettointegrato.it

Ing. Massimo Gerosolimo Porziella

COMUNE DI CARSOLI
PROVINCIA DI L'AQUILA

**ADEGUAMENTO STRUTTURALE DELL'EDIFICIO SEDE DEL
MUNICIPIO DI CARSOLI (AQ)**

-Progetto Esecutivo-

Relazione specialistica sui materiali
--

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DEL REPORT	3
1.2	RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	3
2	CAMPAGNA DI INDAGINI, LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	4
2.1	SUNTO DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SPERIMENTALI	7
2.1.1	<i>RILIEVO DELLA GEOMETRIA STRUTTURALE E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI DELLE STRUTTURE ESISTENTI</i>	7
2.1.2	<i>INDAGINI E RILIEVI SULLE STRUTTURE PORTANTI IN MURATURA</i>	7
2.1.3	<i>INDAGINI E RILIEVI SULLE STRUTTURE PORTANTI IN C.A.</i>	7
2.2	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	9
2.2.1	<i>STRUTTURE IN MURATURA</i>	9
2.2.2	<i>STRUTTURE IN C.A.</i>	9
3	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE STRUTTURE ESISTENTI	11
3.1	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE MURATURE	11
3.1.1	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DELLE MURATURE NELLO STATO DI FATTO</i>	11
3.1.2	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DELLE MURATURE DOPO CONSOLIDAMENTO CON INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI</i>	12
3.1.3	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE DI CALCOLO DELLE MURATURE</i>	13
3.2	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE STRUTTURE IN C.A.	14
3.2.1	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DEI MATERIALI COSTITUENTI LE STRUTTURE IN C.A.</i>	14
3.2.2	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE DI CALCOLO DEI MATERIALI COSTITUENTI LE STRUTTURE IN C.A.</i>	14
4	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI PER LE OPERE DI CONSOLIDAMENTO ED OPERE EX-NOVO	16
4.1	CALCESTRUZZO	16
4.1.1	<i>LEGANTI</i>	16
4.1.2	<i>AGGREGATI</i>	16
4.1.3	<i>ADDITIVI</i>	16
4.1.4	<i>ACQUA DI IMPASTO</i>	16
4.1.5	<i>MISCELE PRECONFEZIONATE DI COMPONENTI PER IL CALCESTRUZZO</i>	16
4.1.6	<i>CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CALCESTRUZZO</i>	17
4.1.7	<i>CALCESTRUZZI DI PROGETTO</i>	18
4.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	19
4.3	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	19
4.3.1	<i>CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO UTILIZZATO</i>	20
4.3.2	<i>BULLONI</i>	20
4.3.3	<i>SALDATURE</i>	21
4.3.4	<i>PROCESSO DI SALDATURA</i>	21
4.3.5	<i>CARATTERISTICHE SALDATURE UTILIZZATE</i>	22
4.4	ELEMENTI IN LATERIZIO PER INTERVENTI DI CHIUSURA NICCHIE E SCUCI E CUCI	22
4.5	TESSUTI IN FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO	22
4.5.1	<i>CARATTERIZZAZIONE DEL MECCANISMO DI DELAMINAZIONE</i>	24
4.6	MALTE ED ADESIVI STRUTTURALI	25
4.6.1	<i>MALTA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE PER INTERVENTI DI SCUCI E CUCI, CHIUSURA NICCHIE, STUCCATURA E RINZEPPATURA</i>	25
4.6.2	<i>MALTA TIXOTROPICA PER IL RIPRISTINO DI STRUTTURE IN C.A.</i>	25
4.6.3	<i>MALTA TIXOTROPICA PER L'APPLICAZIONE DI TESSUTI DI RINFORZO IN FIBRA DI ACCIAIO TIPO GEOSTEEL G2000 SU STRUTTURE IN MURATURA</i>	25
4.6.4	<i>ADESIVO MINERALE EPOSSIDICO TIPO GEOLITE GEL PER L'APPLICAZIONE DI TESSUTI DI RINFORZO IN FIBRA DI ACCIAIO TIPO GEOSTEEL G2000 SU STRUTTURE IN C.A.</i>	25

4.6.5	ADESIVO PER L'INCOLLAGGIO STRUTTURALE DI ELEMENTI METALLICI SU STRUTTURE IN C.A.	26
4.6.6	ANCORANTE CHIMICO PER L'INGHISAGGIO DI BARRE IN ACCIAIO ENTRO STRUTTURE IN C.A.	26
4.6.7	MALTA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE PER INIEZIONI ED INGHISAGGIO DI BARRE IN ACCIAIO NELLE MURATURE	26

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2-1	Livelli di Conoscenza per strutture in muratura secondo Tabella C8A.1.1 Circolare 617/09.	4
Tabella 2-2:	Fattori di confidenza in funzione del Livello di Conoscenza conseguito secondo Tabella C8A.1.2 Circolare 617/09.	4
Tabella 2-3:	Numerosità delle indagini sulle strutture in c.a. ai sensi della tabella C8A.1.3a della Circolare 617/09.	5
Tabella 2-4:	risultati delle prove di compressione di provini di cls.	8
Tabella 2-5:	risultati delle prove di trazione di spezzoni di barra di armatura.	8
Tabella 2-6:	Numerosità delle prove da eseguirsi sulle strutture in c.a. per conseguimento Livello di Conoscenza "LC1 - Limitata" secondo Tabella C8A.1.3a Circolare 617/09.	9
Tabella 3-1:	Valori di riferimento dei parametri meccanici delle murature secondo Tabella C8A.2.1 Circolare 617/09.	11
Tabella 3-2:	Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature secondo Tabella C8A.2.2 Circolare 617/09.	12
Tabella 3-3:	Caratteristiche meccaniche e fisiche medie delle murature nello stato di fatto.	12
Tabella 3-4:	Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature in caso di iniezioni leganti, secondo Tabella C8A.2.2 Circolare 617/09.	13
Tabella 3-5:	Caratteristiche meccaniche e fisiche medie delle murature nello stato di progetto.	13
Tabella 3-6:	Caratteristiche meccaniche di calcolo delle murature nello stato di progetto – Verifiche sismiche.	14
Tabella 3-7:	Caratteristiche meccaniche di calcolo delle murature nello stato di progetto – Verifiche statiche.	14
Tabella 3-8:	Resistenza media a compressione del conglomerato cementizio.	14
Tabella 3-9:	Resistenza media a trazione delle barre di armatura.	14
Tabella 3-10:	resistenze di calcolo per i materiali costituenti le strutture in c.a. esistenti.	15
Tabella 4-1:	cls per getto di livellamento delle fondazioni.	18
Tabella 4-2:	cls per strutture di fondazione.	18
Tabella 4-3:	Tipologia bulloni	20
Tabella 4-4:	Caratteristiche dei bulloni	20
Tabella 4-5:	Requisiti per le giunzioni saldate	22
Tabella 4-6:	Proprietà meccaniche rinforzo in fibra di acciaio ad altissima resistenza del tipo GeoSteel G2000	23

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1:	Stralcio del progetto originale dell'Edificio Comunale.	6
-------------	---	---

1 PREMESSA

1.1 DESCRIZIONE DEL REPORT

Il presente documento riporta:

- Le caratteristiche dei materiali delle strutture esistenti, determinate a partire dalle indagini sperimentali condotte sull'edificio;
- Le caratteristiche dei materiali utilizzati per le nuove realizzazioni previste nell'ambito degli interventi di consolidamento ed adeguamento sismico.

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

Per la stesura del presente documento si è fatto riferimento alle normative ed alla bibliografia seguente:

- Regio Decreto n° 431 del 13/03/1927;
- Regio Decreto n° 640 del 25/03/1935: "Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti.";
- Regio Decreto 2229 del 16/11/39: "Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.";
- Circolare 1472 del 23 maggio 1957: "Armatura delle strutture in cemento armato";
- DM Infrastrutture e Trasporti del 14 gennaio 2008: "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M.14/01/2008;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive" (Febbraio 2008);
- Relazione Tecnica Illustrativa "Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio sede Comunale - Campagna di indagini, saggi e prove" e relativi allegati, emessa in data 30 aprile 2013 dall'Arch. Paolo Mori.

2 CAMPAGNA DI INDAGINI, LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

La conoscenza di un edificio è di fondamentale importanza per poter svolgere una adeguata analisi e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento che dipendono dall'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche e delle indagini sperimentali. Una valutazione del livello di conoscenza conseguibile può essere eseguita secondo le indicazioni del capitolo C8A degli allegati alla Circolare 02.02.2009, n.617 e più in particolare, nel caso di edifici in muratura, in funzione del disposto dalla tabella C8A.1.1 di detta Circolare, qui riportata in Tabella 2-1 e nel caso di edifici in c.a., in funzione del disposto dalla tabella C8A.1.2 di detta Circolare, qui riportata in Tabella 2-2.

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2		verifiche in situ estese	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esauritive	Indagini in situ esauritive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Tabella 2-1 Livelli di Conoscenza per strutture in muratura secondo Tabella C8A.1.1 Circolare 617/09.

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esauritive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esauritive prove in-situ	Tutti	1.00

Tabella 2-2: Fattori di confidenza in funzione del Livello di Conoscenza conseguito secondo Tabella C8A.1.2 Circolare 617/09.

Le tipologie di indagini da effettuarsi sulle strutture in muratura e la loro numerosità sono definiti in funzione dei diversi livelli di indagine sono indicate nei capitoli “C8A.1.A.1 Costruzioni in muratura: geometria”, “C8A.1.A.2 Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi” e “C8A.1.A.3 Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali” delle Appendici alla Circolare 02.02.2009, n.617.

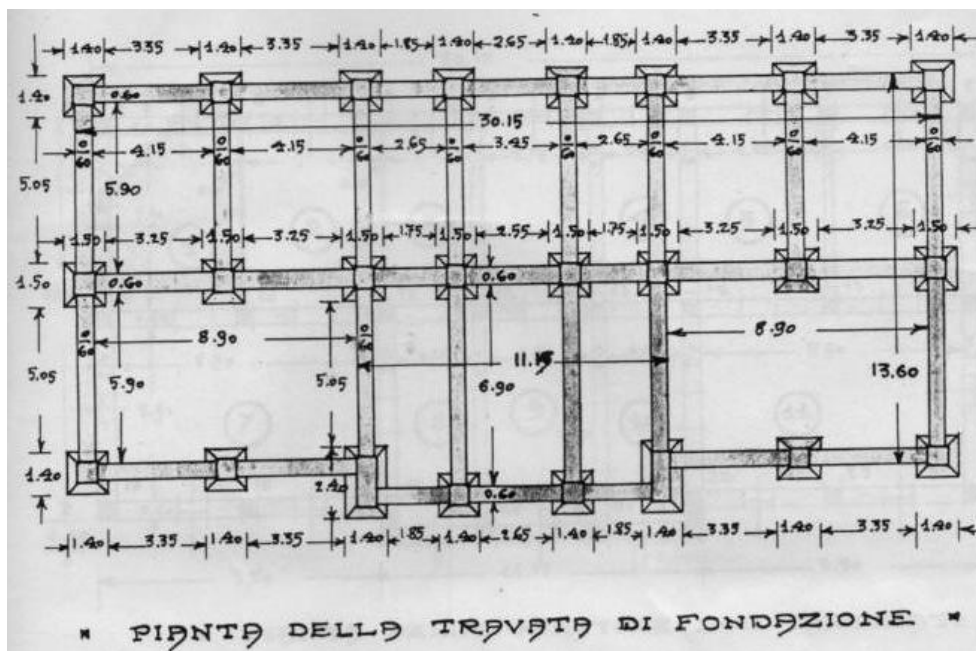
Le tipologie di indagini da effettuarsi sulle strutture in c.a. e la loro numerosità in funzione dei diversi livelli di indagine sono indicate nella tabella C8A.1.3a delle Appendici della Circolare 02.02.2009, n.617, qui riportata in Tabella 2-3.

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento “primario” (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella 2-3: Numerosità delle indagini sulle strutture in c.a. ai sensi della tabella C8A.1.3a della Circolare 617/09.

Nel caso del fabbricato in esame gli elaborati progettuali reperiti forniscono informazioni relative alle caratteristiche geometriche e dimensionali dell'edificio originario, risalente presumibilmente agli anni '30 del secolo scorso, come mostrato in stralcio Figura 2-1. Non è invece stato possibile reperire alcuna informazione circa le caratteristiche meccaniche di progetto dei materiali ed i dettagli costruttivi del fabbricato originario mentre per quanto riguarda il rifacimento della copertura con struttura portante in c.a., non è stato reperito alcun elaborato progettuale.



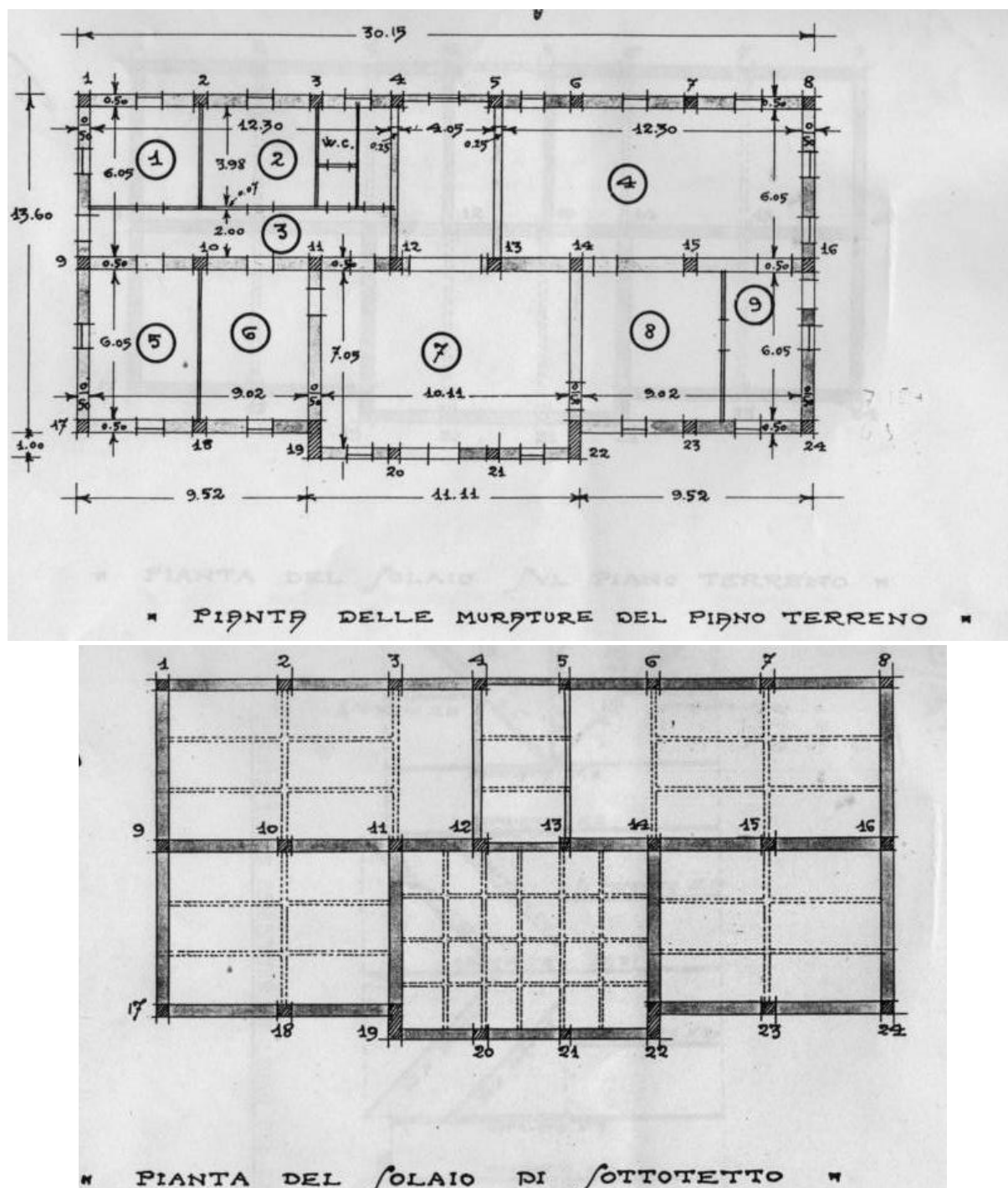


Figura 2-1: Stralcio del progetto originale dell'Edificio Comunale.

La campagna di indagini svolta in sede di valutazione della vulnerabilità sismica e di redazione del progetto definitivo, ha avuto il fine di conseguire:

- 1) **Geometria:** rilievo geometrico strutturale ex-novo;
- 2) **Strutture in muratura:** *“limitate verifiche in situ”* sui dettagli costruttivi delle strutture in muratura e *“limitate indagini in situ”* sulle proprietà dei materiali delle strutture in muratura;
- 3) **Strutture in c.a.:** *“limitate verifiche in situ”* sui dettagli costruttivi delle strutture in c.a. e *“limitate indagini in situ”* sulle proprietà dei materiali delle strutture in c.a.

2.1 SUNTO DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SPERIMENTALI

2.1.1 RILIEVO DELLA GEOMETRIA STRUTTURALE E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI DELLE STRUTTURE ESISTENTI

Il rilievo della geometria strutturale ha permesso di conoscere la geometria esterna delle strutture e dei dettagli costruttivi. Nel caso di dettagli costruttivi occultati alla vista sono stati eseguiti rilievi a campione e valutazioni per analogia. Il rilievo della geometria strutturale è stato compiuto in maniera completa e dettagliata.

2.1.2 INDAGINI E RILIEVI SULLE STRUTTURE PORTANTI IN MURATURA

Tra i dettagli costruttivi degli elementi in muratura esaminati vi sono quelli relativi alla presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento tra pareti verticali e orizzontamenti, all'esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture, nonché alla tipologia ed alla fattura costruttiva della muratura. Le indagini in-situ hanno completato le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura e dalle regole in vigore all'epoca della costruzione.

Esami visivi della superficie muraria sono stati condotti, dopo la rimozione dell'intonaco, al fine di individuare forma e dimensione degli elementi resistenti di cui la muratura è costituita ed in maniera qualitativa la consistenza della malta di calce. I rilievi visivi sono stati integrati da una serie di indagini diagnostiche al fine di completare la conoscenza delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle murature costituenti l'edificio.

Tali indagini hanno permesso di identificare le tipologie di muratura esistenti e di classificarle entro le tipologie descritte nella tabella C8.A.2.1 della Circolare 617/09.

Oltre alle indagini visive sopra menzionate si è fatto uso anche di rilievi diretti o magnetometrici per identificare la presenza dei pilastri, dei cordoli di piano, delle architravi sulle aperture e degli elementi in calcestruzzo inseriti nelle murature.

Per una descrizione dettagliata delle indagini eseguite e dei loro risultati si faccia riferimento agli allegati 5, 6 e 7 alla Relazione Tecnica Illustrativa "Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio sede Comunale - Campagna di indagini, saggi e prove" emessa in data 30 aprile 2013 dall'Arch. Paolo Mori.

2.1.3 INDAGINI E RILIEVI SULLE STRUTTURE PORTANTI IN C.A.

Le indagini svolte sulle strutture in c.a. del fabbricato hanno compreso una serie di rilievi magnetometrici e saggi localizzati per l'individuazione della geometria delle barre di armatura, prelievi di cls e prove di compressione, prelievi di barre d'armatura e prove di trazione.

Per quanto riguarda le prove atte a determinare le resistenze dei materiali posti in opera, sono stati prelevati n° 9 campioni di calcestruzzo da sottoporre a prova di compressione e n° 5 spezzoni di barre di armatura da sottoporre a prova di trazione.

Considerando, come indicato nel §C11.2.6 della Circolare 617/09, i risultati delle prove di compressione su provini cilindrici di calcestruzzo indurito aventi rapporto altezza/diametro unitario corrispondono a valori di resistenza cubica del conglomerato, il corrispettivo valore della resistenza cilindrica è stato calcolato utilizzando la relazione (11.2.1) riportata nel §11.2.10.1 del DM 14/01/08.

I risultati di delle prove eseguite per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali componenti le strutture in c.a. sono ricapitolati in Tabella 2-4 per le prove di compressione sui provini di cls ed in Tabella 2-5 per le prove di trazione sugli spezzoni di barre di armatura.

PROVE A COMPRESSIONE DEL CLS - STRUTTURA ORIGINARIA					
Provino	Piano / Elev.	Ubicazione	$R_{provino}$ (MPa)	R_c (MPa)	f_c (MPa)
C1	Fondazione	Trave	12,89	12,89	10,70
C2	1° Solaio	Trave	3,32	3,32	2,76
C3	Seminterrato	Pilastro est.	5,23	5,23	4,34
C4	Seminterrato	Pilastro est.	3,06	3,06	2,54
C5	Rialzato	Pilastro ang	7,1	7,10	5,89
C6	Rialzato	Pilastro int.	11,79	11,79	9,79
C7b	Primo	Pilastro int.	5,55	5,55	4,61
Resistenze medie a compressione				6,99	5,80
PROVE A COMPRESSIONE DEL CLS - RIFACIMENTO COPERTURA					
Provino	Piano / Elev.	Ubicazione	$R_{provino}$ (MPa)	R_c (MPa)	f_c (MPa)
C9	Sottotetto	Cordolo	10,34	10,34	8,58
C10	Sottotetto	Pilastro int.	12,53	12,53	10,40
Resistenze medie a compressione				11,44	9,49

Tabella 2-4: risultati delle prove di compressione di provini di cls.

PROVE A TRAZIONE ARMATURE - STRUTTURA ORIGINARIA					
Prelievo	Piano / Elev.	Ubicazione	ϕ (mm)	f_y (MPa)	f_t (MPa)
F1	Seminterrato	Pilastro est.	19,8	454,2	469,5
F2	1° Impalcato	Trave	9,7	598,9	665,3
F3	Rialzato	Pilastro int.	17,8	484,9	489,7
F4	Primo	Pilastro int.	14,1	514,0	545,8
Resistenze Medie a trazione:				513,0	542,6
PROVE A TRAZIONE ARMATURE - RIFACIMENTO COPERTURA					
Prelievo	Piano / Elev.	Ubicazione	ϕ (mm)	f_y (MPa)	f_t (MPa)
F5	Sottotetto	Pil. Interno	15,9	550,7	651,7
Resistenze Medie a trazione:				550,7	651,7

Tabella 2-5: risultati delle prove di trazione di spezzoni di barra di armatura.

Per il rilievo dei dettagli costruttivi delle strutture in c.a. sono state eseguite indagini di tipo magnetometrico e saggi diretti che hanno permesso di rilevare le dimensioni e le armature di alcuni degli elementi strutturali in c.a. del fabbricato.

Per una descrizione dettagliata delle indagini eseguite e dei loro risultati si faccia riferimento agli allegati 2, 3 10 ed 11 alla Relazione Tecnica Illustrativa "Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio sede Comunale - Campagna di indagini, saggi e prove" emessa in data 30 aprile 2013 dall'Arch. Paolo Mori.

2.2 LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

2.2.1 STRUTTURE IN MURATURA

Mediante i rilievi visivi, sia superficiali che nello spessore, eseguiti sulle strutture in muratura si considera di aver eseguito "*indagini in situ limitate*" dei dettagli costruttivi ai sensi del disposto del capitolo C8A.1.A.2 della Circolare 617/09 ed "*indagini in situ limitate*" sulle caratteristiche meccaniche ai sensi del disposto dal capitolo C8A.1.A.3 della Circolare 617/09.

Si considera quindi raggiunto un livello di conoscenza "**LC1: Conoscenza Limitata**" per le strutture in muratura, al quale si associa un **Fattore di Confidenza FC = 1,35** ai sensi del disposto dai capitoli C8A.1.A.1 e C8A.1.A.3 in appendice alla Circolare 02.02.2009 n.617.

2.2.2 STRUTTURE IN C.A.

La numerosità delle indagini da eseguirsi sulle strutture in c.a. per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e dei dettagli costruttivi delle strutture in c.a. può essere valutata, in funzione delle dimensioni dell'edificio e del numero di elementi strutturali, secondo quanto riportato nella tabella C8A.1.3a in appendice alla Circolare 02.02.2009 n.617, qui riportata in Tabella 2-6.

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella 2-6: Numerosità delle prove da eseguirsi sulle strutture in c.a. per conseguimento Livello di Conoscenza "**LC1 - Limitata**" secondo Tabella C8A.1.3a Circolare 617/09.

Poiché il numero di prove eseguite il rilievo dei dettagli costruttivi è stato sufficiente a verificare la disposizione delle armature in almeno il 15% degli elementi strutturali del fabbricato, tenendo conto della ripetibilità degli elementi indagati nello schema strutturale, si ritiene pertanto che sono stati eseguiti rilievi dei dettagli costruttivi delle strutture in c.a. corrispondenti a "*verifiche limitate*" ai sensi del disposto dal combinato del D.M. 14/01/2008 e della Circolare 02.02.2009 n. 617.

Il numero di prove eseguite per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del conglomerato cementizio sono state in numero minore rispetto alle indicazioni della tabella C8A.1.3a della Circolare 617/09, la quale tuttavia si riferisce ad edifici con struttura portante interamente in c.a. Si ritiene pertanto che siano state eseguite prove per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del conglomerato cementizio delle strutture in c.a. corrispondenti ad "*limitate prove in situ*" ai sensi del disposto dal combinato del D.M. 14/01/2008 e della Circolare 02.02.2009 n. 617.

Il numero di prove eseguite per la determinazione delle caratteristiche meccaniche delle barre di acciaio sono state in numero minore rispetto alle indicazioni della tabella C8A.1.3a della Circolare 617/09, numero tuttavia sufficiente ad identificare la classe di acciaio utilizzato ("**ferro omogeneo**" per l'edificio originario ed "**FeB44k**" per il rifacimento della copertura) in relazione alle normative vigenti all'epoca di costruzione come richiesto dalla nota (c) alla tabella C8A.1.3a della Circolare 02.02.2009 n. 617. Si ritiene pertanto che siano state eseguite prove per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio delle barre di armatura delle strutture in c.a. corrispondenti a "*limitate prove in situ*" ai sensi del disposto dal combinato del D.M. 14/01/2008 e della Circolare 02.02.2009 n. 617.

Si considera quindi raggiunto un livello di conoscenza "**LC1: Conoscenza Limitata**" per le strutture in c.a., al quale si associa un **Fattore di Confidenza FC = 1,35** ai sensi del disposto dalla tabella C8A.1.2 in appendice alla Circolare 02.02.2009 n.617.

3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE STRUTTURE ESISTENTI

3.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE MURATURE

3.1.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DELLE MURATURE NELLO STATO DI FATTO

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali, coerentemente con quanto indicato nella Tabella C8A.1.1 della Circolare 617/09, non sono stati derivati dai valori associati alle classi discrete della tabella C8.A.2.1 della Circolare 617/09 qui riportata in Tabella 3-1.

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	300 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Tabella 3-1: Valori di riferimento dei parametri meccanici delle murature secondo Tabella C8A.2.1 Circolare 617/09.

La Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/09 assume per ciascuna tipologia di materiale catalogata due valori per ciascuna caratteristica meccanica e fisica presa in esame, rispettivamente definiti come minimo e massimo. Il valore da assumere nelle analisi e nelle verifiche di sicurezza viene definito nella Tabella C8A.1.1 della stessa Circolare 617/09 in funzione del livello di conoscenza raggiunto. Poiché per l'edificio in esame, è stato raggiunto un livello di conoscenza limitato (**LC1 "Conoscenza Limitata"**) la norma prevede l'utilizzo delle seguenti proprietà medie dei materiali:

- **Resistenza** = Valore minimo di Tabella C8A.2.1;
- **Modulo Elastico** = Valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1.

In relazione ai valori indicati nella Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/09, la normativa prevede inoltre la possibilità di applicare alle caratteristiche meccaniche delle murature una serie di coefficienti migliorativi che tengano conto di caratteristiche migliori rispetto agli elementi di valutazione considerati dalla norma. Tali coefficienti sono riportati nella Tabella C8A.2.2 della Circolare 617/09.

Nel caso dell'edificio in oggetto le indagini eseguite evidenziato la presenza di listature in elementi di laterizio pieno sulle murature in pietra naturale (conformemente alle normative vigenti all'epoca della costruzione del fabbricato) nonché la presenza di elementi di collegamento tra i paramenti. Su tale tipologia di muratura sono quindi applicabili i pertinenti coefficienti migliorativi relativi a "*Ricorsi e listature*" ed a "*Connessione trasversale*". Per quanto riguarda le murature in mattoni pieni, la disposizione degli elementi resistenti in laterizio è tale da potersi applicare il coefficiente migliorativo dovuto alla presenza di "*Connessione trasversale*". Sono stati pertanto considerati i coefficienti migliorativi della Tabella C8A.2.2 della Circolare 617/09 evidenziati in Tabella 3-2.

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Tabella 3-2: Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature secondo Tabella C8A.2.2 Circolare 617/09.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche medie delle murature nel loro stato di fatto assumono quindi i valori riportati in Tabella 3-3.

	E_m	G_m	f_{cm}	T_{0m}	w
Muratura in pietrame disordinata	870 MPa	290 MPa	1,95 MPa	0,039 MPa	19 kN/m ³
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1500 MPa	500 MPa	3,12 MPa	0,078 MPa	18 kN/m ³

Tabella 3-3: Caratteristiche meccaniche e fisiche medie delle murature nello stato di fatto.

3.1.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DELLE MURATURE DOPO CONSOLIDAMENTO CON INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

Nel caso di **consolidamento delle murature mediante iniezioni di miscele leganti**, la Circolare 917/09 consente di amplificare i parametri di resistenza (f_m e τ_n) ed i moduli elastici (E e G) utilizzando i pertinenti coefficienti migliorativi della Tabella C8A.2.2 della Circolare 617/09 evidenziati in Tabella 3-4.

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversali	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Tabella 3-4: Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature in caso di iniezioni leganti, secondo Tabella C8A.2.2 Circolare 617/09.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche medie delle murature nel loro stato di progetto assumono quindi i valori riportati in Tabella 3-5.

	E_m	G_m	f_{cm}	T_{0m}	w
Muratura in pietrame disordinata	1740 MPa	580 MPa	3,90 MPa	0,078 MPa	19 kN/m ³
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2250 MPa	750 MPa	4,68 MPa	0,117 MPa	18 kN/m ³

Tabella 3-5: Caratteristiche meccaniche e fisiche medie delle murature nello stato di progetto.

3.1.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DI CALCOLO DELLE MURATURE

I valori di progetto delle caratteristiche meccaniche delle murature sono state derivate da quelle medie come di seguito specificato:

- Moduli Elastici di progetto

Conformemente a quanto indicato nel §7.2.6 del DM 14/01/08, i valori dei moduli elastici di progetto sono stati calcolati applicando sui valori medi un fattore di riduzione pari al 50% in modo da tenere conto della rigidezza fessurata delle murature;

- Resistenze di progetto

Le resistenze di calcolo delle murature vengono calcolate, come prescritto dal combinato dal DM 14/01/08 e dalla Circolare 617/09 applicando le seguenti relazioni ai valori medi:

$$f_{cd} = \frac{f_m}{FC \gamma_m} \quad T_{od} = \frac{T_{0m}}{FC \gamma_m}$$

ove si ha:

f_m, τ_{lm} = Resistenza media della muratura;

FC = Fattore di Confidenza = 1,35 per un Livello di Conoscenza LC1;

γ_m = Coefficiente di sicurezza del materiale, $\gamma_m = 2$ per le verifiche sismiche ed un coefficiente $\gamma_m = 3$ per le verifiche statiche.

Utilizzando le relazioni sopra descritte e le caratteristiche meccaniche medie delle murature riportate in Tabella 3-5, si ottengono le caratteristiche meccaniche di progetto delle murature riportate in Tabella 3-6 per le verifiche in condizioni sismiche ed in Tabella 3-7 per le verifiche in condizioni statiche.

	E_{cd}	G_{cd}	f_{cd}	T_{0d}	w
Muratura in pietrame disordinata	870 MPa	290 MPa	1,44 MPa	0,0289 MPa	19 kN/m ³
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1125 MPa	375 MPa	1,73 MPa	0,0433 MPa	18 kN/m ³

Tabella 3-6: Caratteristiche meccaniche di calcolo delle murature nello stato di progetto – Verifiche sismiche.

	E_{cd}	G_{cd}	f_{cd}	T_{0d}	w
Muratura in pietrame disordinata	870 MPa	290 MPa	0,96 MPa	0,0193 MPa	19 kN/m ³
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1125 MPa	375 MPa	1,16 MPa	0,0289 MPa	18 kN/m ³

Tabella 3-7: Caratteristiche meccaniche di calcolo delle murature nello stato di progetto – Verifiche statiche.

3.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE STRUTTURE IN C.A.

3.2.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE DEI MATERIALI COSTITUENTI LE STRUTTURE IN C.A.

Mediante la campagna di indagini svolta nell'ambito della valutazione di vulnerabilità sismica e di progetto definitivo degli interventi di consolidamento ed adeguamento sismico dell'edificio, sono stati determinati i valori di resistenza media dei materiali costituenti le strutture in c.a. esistenti come ricapitolato in Tabella 3-8 per il conglomerato cementizio ed in Tabella 3-9 per le barre di armatura.

RESISTENZE MEDIE DEL CONGLOMERATO CEMENTIZIO IN OPERA		
STRUTTURA ORIGINARIA	R_{cm} (MPa)	f_{cm} (MPa)
Resistenze medie a compressione del cls in opera	6,99	5,80
RIFACIMENTO COPERTURA	R_{cm} (MPa)	f_{cm} (MPa)
Resistenze medie a compressione del cls in opera	11,44	9,49

Tabella 3-8: Resistenza media a compressione del conglomerato cementizio.

RESISTENZE MEDIE A TRAZIONE DELLE BARRE DI ARMATURA		
STRUTTURA ORIGINARIA	f_{ym} (MPa)	f_{tm} (MPa)
Resistenze medie a trazione delle armature	512,99	542,58
RIFACIMENTO COPERTURA	f_{ym} (MPa)	f_{tm} (MPa)
Resistenze medie a trazione delle armature	550,69	651,68

Tabella 3-9: Resistenza media a trazione delle barre di armatura.

3.2.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE DI CALCOLO DEI MATERIALI COSTITUENTI LE STRUTTURE IN C.A.

Il DM 14/01/2008 al §8.7.2 e la Circolare 617/09 al §C8.7.2.5 classificano gli elementi ed i meccanismi resistenti in:

- “**duttili**”: travi, pilastri e pareti inflesse con e senza sforzo normale;
- “**fragili**”: meccanismi di taglio in travi, pilastri e pareti ed i nodi.

Nel caso dei meccanismi duttili, la valutazione della capacità della struttura viene effettuata con riferimento alle resistenze medie dei materiali divise per il fattore di confidenza FC:

- resistenza a compressione cilindrica del cls: $f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC}$;

- resistenza a snervamento dell'acciaio: $f_{yd} = \frac{f_{ym}}{FC}$.

mentre nel caso dei meccanismi fragili la valutazione della capacità viene effettuata con riferimento alle resistenze medie dei materiali divise per il fattore di confidenza FC e per il coefficiente di sicurezza parziale del materiale:

- resistenza a compressione cilindrica del cls: $f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC}$;

- resistenza a trazione del cls: $f_{ctd} = \frac{0.27 \cdot \sqrt[3]{(0.7 \cdot R_{cm})^2}}{\gamma_c \cdot FC}$;

- resistenza a snervamento dell'acciaio: $f_{yd} = \frac{f_{ym}}{\gamma_s \cdot FC}$.

La Tabella 3-10 riporta i coefficienti parziali di sicurezza dei materiali, il fattore di confidenza (FC = 1,35), le resistenze medie dei materiali desunte dalle prove e le resistenze di calcolo dei materiali costituenti le strutture in c.a. esistenti.

Coefficienti Parziali		STRUTTURA ORIGINARIA	RIFACIMENTO COPERTURA
$\gamma_c =$	1,50	Resistenze Medie	Resistenze Medie
$\gamma_s =$	1,15	$f_{cm} = 5,80$ (MPa)	$f_{cm} = 9,49$ (MPa)
FC =	1,35	$f_{ym} = 513,0$ (MPa)	$f_{ym} = 550,7$ (MPa)
		Elem./Meccan. DUTTILI	Elem./Meccan. DUTTILI
		$f_{cd} = 4,30$ (MPa)	$f_{cd} = 7,03$ (MPa)
		$f_{yd} = 380,0$ (MPa)	$f_{yd} = 407,9$ (MPa)
		Elem./Meccan. FRAGILI	Elem./Meccan. FRAGILI
		$f_{cd} = 2,87$ (MPa)	$f_{cd} = 4,69$ (MPa)
		$f_{ctd} = 0,38$ (MPa)	$f_{ctd} = 0,53$ (MPa)
		$f_{yd} = 330,4$ (MPa)	$f_{yd} = 354,7$ (MPa)

Tabella 3-10: resistenze di calcolo per i materiali costituenti le strutture in c.a. esistenti.

4 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI PER LE OPERE DI CONSOLIDAMENTO ED OPERE EX-NOVO

4.1 CALCESTRUZZO

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza ed il diametro massimo dell'aggregato secondo § 11.2.1 del D.M. 14/01/2008.

4.1.1 LEGANTI

Nelle opere oggetto delle vigenti norme, devono impiegarsi esclusivamente i leganti idraulici, dotati di certificato di conformità, rilasciato da un organismo europeo notificato ad una norma armonizzata della serie UNI EN 197 ovvero ad uno specifico Benestare Tecnico Europeo (ETA), purché idonei all'impiego previsto nonché, per quanto non in contrasto, conformi alle prescrizioni di cui alla Legge 26 maggio 1965 n.595.

E' escluso l'impiego di cementi alluminosi.

Qualora il calcestruzzo risulti esposto a condizioni ambientali chimicamente aggressive si devono utilizzare cementi per i quali siano prescritte, da norme armonizzate europee e fino alla disponibilità di esse, da norme nazionali, adeguate proprietà di resistenza ai solfati e/o dilavamento o ad eventuali altre specifiche azioni aggressive.

4.1.2 AGGREGATI

Sono idonei alla produzione di calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1.

Il sistema di attestazione della conformità di tali aggregati, ai sensi del D.P.R. n.246/93, è indicato nella Tab. 11.2.II del § 11.2.9.2 del D.M. 14/01/2008.

E' consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo a condizione che la miscela di calcestruzzo confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata attraverso idonee prove di laboratorio. Per tali aggregati, le prove di controllo devono essere quelle riportate nel § 11.2.9.2 del D.M. 14/01/2008.

Per individuare i requisiti chimico-fisici aggiuntivi, nelle prescrizioni di progetto si rimanda alle norme UNI 8520-1:2005 e UNI 8520-2:2005.

Per quanto riguarda gli eventuali controlli di accettazione da effettuarsi a cura del D.L., questi sono finalizzati alla determinazione delle caratteristiche tecniche riportate in tabella 11.2.IV del § 11.2.9.2 del D.M. 14/01/2008.

4.1.3 ADDITIVI

Gli additivi devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 934-2.

4.1.4 ACQUA DI IMPASTO

L'acqua di impasto, ivi compresa l'acqua di riciclo, dovrà essere conforme alla norma UNI EN 1008:2003.

4.1.5 MISCELE PRECONFEZIONATE DI COMPONENTI PER IL CALCESTRUZZO

In assenza di specifica norma armonizzata europea, il produttore di miscele preconfezionate di componenti per calcestruzzi, cui sia da aggiungere in cantiere l'acqua d'impasto, deve documentare per ogni componente utilizzato la conformità alla relativa norma armonizzata europea.

4.1.6 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CALCESTRUZZO

Le caratteristiche del calcestruzzo sono state desunte, in sede di progettazione, dalle formulazioni riportate nel D.M.14/01/2008.

Resistenza a compressione

In sede di progetto si è fatto riferimento alla resistenza caratteristica a compressione su cubi R_{ck} così come definita nel § 11.1.1.7. del D.M. 14/01/2008.

Dalla resistenza cubica si è passato alla resistenza cilindrica, utilizzata nelle verifiche mediante l'espressione:

$$f_{ck} = 0.83 * R_{ck} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Sempre in sede di previsioni progettuali è stato desunto il valor medio della resistenza cilindrica mediante l'espressione: $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2009, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- Prove di trazione diretta;
- Prove di trazione indiretta (secondo UNI EN 12390-6:2009);
- Prove di trazione per flessione (secondo UNI EN 12390-5:2010).

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore:

$$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3} \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ per classi } < \text{C50/60}$$

Il valore medio della resistenza a trazione per flessione è assunto, in mancanza di sperimentazione diretta, pari a:

$$f_{ctm} = 1.20 * f_{ctm} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Modulo elastico

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e $0.40 * f_{cm}$ determinato sulla base di apposite prove, da seguirsi secondo la norma UNI EN 12390-13:2013.

In sede di progettazione si può assumere il valore:

$$E_{cm} = 22000 * [f_{cm}/10]^{0.30} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Coefficiente di Poisson

Per il coefficiente di Poisson può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (cls fessurato) e 0.20 (cls non fessurato).

Durabilità

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si sono adottati i seguenti provvedimenti atti a limitare l'effetto del degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature:

- copriferri in fondazione pari a: 40 mm.

4.1.7 CALCESTRUZZI DI PROGETTO

Impiego	MAGRONE		
Classe di resistenza	C12/15		
- Rapporto minimo acqua/cemento	0.50		
- Slump	S4		
- Tipo di cemento	CEM I-V		
- Diametro massimo inerte	20	[mm]	
- Contenuto minimo di cemento	150	[kg/mc]	

Tabella 4-1: cls per getto di livellamento delle fondazioni.

Impiego	STRUTTURE DI FONDAZIONE			
Classe di resistenza	C25/30			
- Rapporto minimo acqua/cemento	0.60			
- Slump	S4/S5			
- Tipo di cemento	CEM I-II			
- Diametro massimo inerte	25		[mm]	
- Contenuto minimo di cemento	300		[kg/mc]	
- Classe di esposizione	XC2			
- Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]	
- Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	24.9	[MPa]	
- Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1.5	[-]	
- Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85	[-]	
- Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32.9	[MPa]	
- Valore medio della resistenza a trazione assiale del cls	$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$	2.8	[MPa]	
-	$f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + f_{cm}/10)$			
- Valore caratteristico resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1.79	[MPa]	
- Valore caratteristico resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3.32	[MPa]	
- Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	$E_{cm} = 22000[f_{cm}/10]^{0.3}$	31.447	[MPa]	
- Resistenza di progetto a compressione del cls	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	14.11	[MPa]	
- Resistenza di progetto a trazione del cls	$f_{ctd} = f_{ctk;0.05} / \gamma_c$	1.19	[MPa]	
- Tensione ammissibile nel cls nella comb. CA	$\sigma_{c,caratt.} = 0.6 f_{ck}$	15.54	[MPa]	
- Tensione ammissibile nel cls nella comb. QP	$\sigma_{c,q.p.} = 0.45 f_{ck}$	11.20	[MPa]	

Tabella 4-2: cls per strutture di fondazione.

4.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Sono ammessi esclusivamente acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al §11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel §11.3.2.11 del D.M. 14/01/2008.

Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo B450C

- Resistenza a snervamento dell'acciaio		f_{yk}	450	[MPa]
- Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1.15	[-]
- Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	200000	[MPa]
- Deformazione a snervamento dell'acciaio	$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$	ϵ_{yd}	0.001957	[-]
- Deformazione ultima dell'acciaio	$\epsilon_{su} = 1\%$	ϵ_{su}	0.01	[-]
- Rapporto tra resistenza caratteristica a rottura e a snervamento	$(f_t/f_y)_k$		$\geq 1.15; > 1.35$	[-]
- Rapporto tra resistenza a snervamento di prova e nominale	$(f_y/f_{ynom})_k$		≤ 1.25	[-]
- Allungamento caratteristico a rottura	$(A_{gt})_k$		≥ 7.5	%
- Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	f_{yd}	391.3	[MPa]
- Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s = 0.8 f_{yk}$	σ_s	360	[MPa]

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quando indicato al § 11.3.2.3 del D.M. 14/01/2008.

4.3 ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA

Per la realizzazione di strutture metalliche si utilizzeranno acciai conformi alle norme armonizzate, recanti la marcatura CE secondo norma UNI EN 1090-1:2012.

Le strutture in acciaio dovranno essere realizzate in classe di esecuzione EXC3 secondo norma UNI EN 1090.

Si dovranno utilizzare acciai conformi alla norme armonizzate della serie

- UNI EN 10025 (per il laminati)
- UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura)
- UNI EN 10219-1 (per tubi saldati)

In sede di progettazione si possono assumere i seguenti valori nominali delle proprietà:

- Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
- Coefficiente di espansione termica lineare (per temperature fino a 100 °C)	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Densità	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme europee EN 10025, EN 10210 ed EN 10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati nella Tabella 11.3.IX del § 11.3.4.1 del D.M. 14/01/2008 di seguito riportata.

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

4.3.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO UTILIZZATO

L'acciaio utilizzato è del tipo **S275 J0** avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$

Si prevede come trattamento protettivo una zincatura.

Il coefficiente parziale di sicurezza associato a questo materiale è, in accordo con le normative vigenti, $\gamma_m = 1,05$.

4.3.2 BULLONI

I bulloni utilizzati nella progettazione degli interventi di miglioramento sismico sono conformi alle caratteristiche dimensionali definite dalle norme UNI EN ISO 4016:2011 ed appartengono ad una delle sottoclassi indicate dalla norma UNI EN ISO 898-1:2013 ed associate alla Tab. 11.3.XII delle D.M. 14/01/2008 di seguito riportata.

	Normali			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4	5	6	8	10

Tabella 4-3: Tipologia bulloni

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} dei bulloni appartenuti alle classi indicate nella precedente tabella 11.3.XII. sono riportate nella tabella 11.3.XII.b delle D.M. 14/01/2008, di seguito riportata

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (\text{N/mm}^2)$	240	300	480	649	900
$f_{tb} (\text{N/mm}^2)$	400	500	600	800	1000

Tabella 4-4: Caratteristiche dei bulloni

I bulloni utilizzati nella progettazione degli interventi di miglioramento sismico della struttura in esame sono definiti come “*bulloni ad alta resistenza*” ed appartengono alla **classe 8.8**, le cui caratteristiche meccaniche sono:

- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 649 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 800 \text{ N/mm}^2$

Si prevede come trattamento protettivo una zincatura.

4.3.3 SALDATURE

Il processo di saldatura deve essere conforme a quanto indicato nel punto 11.3.4.5 del D.M. 14/01/2008, nel rispetto delle prescrizioni della norma UNI EN 1090.

4.3.4 PROCESSO DI SALDATURA

La saldatura degli acciai deve essere effettuato utilizzando uno dei procedimenti codificati secondo dalla norma UNI EN ISO 4063:2011. Tale norma ammette l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

Ai sensi della norma UNI EN 287-1:2012, i saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali devono essere qualificati da parte di un Ente terzo. A deroga di quanto richiesto nella norma UNI EN 287-1:2012, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo devono essere specificamente qualificati all'esecuzione di tali metodi di saldatura e non possono essere qualificati soltanto all'esecuzione di giunti testa-testa. Gli operatori dei procedimenti automatici o robotizzati devono essere certificati ai sensi della norma UNI EN ISO 14732:2013. Tutti i procedimenti di saldatura devono essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1:2012. Le prove di qualifica dei saldatori, degli operatori e dei procedimenti dovranno essere eseguite da un Ente terzo; in assenza di prescrizioni in proposito l'Ente sarà scelto dal costruttore secondo criteri di competenza e di indipendenza.

Le durezze eseguite sulle macrografie non dovranno essere superiori a 350 HV30. Per la saldatura ad arco di prigionieri di materiali metallici (saldatura ad innesco mediante sollevamento e saldatura a scarica di condensatori ad innesco sulla punta) si applica la norma UNI EN ISO 14555:2014; valgono perciò i requisiti di qualità di cui al prospetto A1 della appendice A della stessa norma.

Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base. Nell'esecuzione delle saldature devono inoltre essere rispettate le norme UNI EN 1011 parti 1 e 2 per gli acciai ferritici e della parte 3 per gli acciai inossidabili. Per la preparazione dei lembi si applicherà, salvo casi particolari, la norma UNI EN ISO 9692-1:2013.

Le saldature devono essere sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione. In assenza di tali dati per strutture non soggette a fatica si adotterà il livello C della norma UNI EN ISO 5817:2014 e il livello B per strutture soggette a fatica. L'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, saranno definiti dal Collaudatore e dal Direttore dei Lavori; per i cordoni ad angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno metodi di superficie (ad es. liquidi penetranti o polveri magnetiche), mentre per i giunti a piena penetrazione, oltre a quanto sopra previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o gamma o ultrasuoni per i giunti testa a testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.

Per le modalità di esecuzione dei controlli ed i livelli di accettabilità si potrà fare utile riferimento alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 17635:2010. Tutti gli operatori che eseguiranno i controlli devono essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9712:2012.

In relazione alla tipologia dei manufatti realizzati mediante giunzioni saldate, il costruttore deve essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006 parti 2 e 4; il livello di conoscenza tecnica del personale di coordinamento delle operazioni di saldatura deve corrispondere ai requisiti della normativa di comprovata validità. I requisiti sono riassunti nella Tab. 11.3.XI del D.M. 14/01/2008 di seguito riportata. La certificazione dell'azienda e del personale

dovrà essere operata da un Ente terzo, scelto, in assenza di prescrizioni, dal costruttore secondo criteri di indipendenza e di competenza.

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica in modo significativo
Riferimento	A	B	C	D
Materiale Base: Spessore minimo delle membrature	S235, $s \leq 30\text{mm}$ S275, $s \leq 30\text{mm}$	S355, $s \leq 30\text{mm}$ S235 S275	S235 S275 S355 S460, $s \leq 30\text{mm}$	S235 S275 S355 S460 (Nota 1) Acciai inossidabili e altri acciai non esplicitamente menzionati (Nota 1)
Livello dei requisiti di qualità secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006	Elementare EN ISO 3834-4	Medio EN ISO 3834-3	Medio EN ISO 3834-3	Completo EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di coordinamento della saldatura secondo la norma UNI EN 719:1996	Di base	Specifico	Completo	Completo

Nota 1) Vale anche per strutture non soggette a fatica in modo significativo

Tabella 4-5: Requisiti per le giunzioni saldate

4.3.5 CARATTERISTICHE SALDATURE UTILIZZATE

Le saldature dovranno essere realizzate in officina.

4.4 ELEMENTI IN LATERIZIO PER INTERVENTI DI CHIUSURA NICCHIE E SCUCI E CUCI

Per la realizzazione di interventi di scuci e cucì su murature esistenti e per la chiusura di nicchie si prevede l'utilizzo di elementi portanti in laterizio pieno aventi le caratteristiche minime riportate nella tabella seguente. Come indicato nel §11.10.1 del D.M. 14/01/2008, gli elementi devono essere conformi alle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771 e recare la Marcatura CE.

- Tipologia Blocco portante in laterizio pieno
- Percentuale di foratura $\leq 15 \%$
- Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} $> 15 \text{ [MPa]}$

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quando indicato al § 11.10.1.1 del D.M. 14/01/2008

4.5 TESSUTI IN FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO

La progettazione degli interventi di rinforzo con tessuti in fibre di acciaio è stata effettuata considerando tessuti unidirezionali formati da micro-trefoli di acciaio ad altissima resistenza galvanizzati di cui si riportano brevemente i dati tecnici. Per la realizzazione è possibile adoperare prodotti “**diversi**” purché con caratteristiche geometriche e meccaniche non inferiori a quelle riportate in Tabella 4-6 e previa autorizzazione da parte del progettista strutturale e della DL. Per il rinforzo delle murature è stato previsto l'impiego di un tessuto del tipo GeoSteel G2000 applicato con matrice del tipo GEOLITE o similare mentre per il rinforzo delle strutture in c.a. il medesimo tessuto sarà applicato mediante adesivo minerale epossidico tipo GEOLITE GEL o similare

Tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza Geosteel G2000

Fibra secca (singolo filamento)

- Tensione caratteristica a trazione, σ_{filo}	2900	MPa
- Modulo elastico fibra, E_{filo}	> 205	GPa
- Area filo, A_{filo}	0.1076	mm ²

Nastro

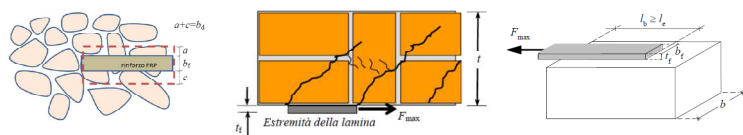
- Area effettiva di un trefolo (5 fili), A_{trefolo}	0.538	Tex
- N°trefoli/cm	4.72	Trefoli/cm
- Massa	2000	g/m ²
- Spessore equivalente del rinforzo, t_{nastro}	0.254	mm
- Carico di rottura caratteristica di un trefolo	> 1500	N
- Resistenza caratteristica del rinforzo, σ_{nastro}	2800	MPa
- Modulo di elasticità normale del rinforzo, E_{nastro}	> 190	GPa
- Deformazione a rottura del rinforzo, ϵ_{nastro}	> 1.5	%

Tabella 4-6: Proprietà meccaniche rinforzo in fibra di acciaio ad altissima resistenza del tipo GeoSteel G2000

Per le condizioni di fornitura e le modalità di impiego si rimanda alle indicazioni fornite dal produttore sulle schede tecniche allegate alla presente relazione ed alle indicazioni del progettista strutturale riportate negli elaborati grafici.

4.5.1 CARATTERIZZAZIONE DEL MECCANISMO DI DELAMINAZIONE

Valutazione della resistenza a delaminazione per le murature



Caratteristiche meccaniche e geometriche della muratura

FC =	1.35	Fattore di Confidenza
γ_m =	3.00	Coefficiente parziale del materiale per la muratura
f _{bm} =	25.00 [Mpa]	Resistenza media a compressione del blocco
f _{btm} =	2.5 [Mpa]	Resistenza media a trazione del blocco (f _{btm} =0,1f _{bm} CNR-DT 200 R1/2004)
f _{mk} =	3.90 [Mpa]	Resistenza caratteristica a compressione della muratura
f _{mb} =	0.96 [Mpa]	Resistenza a compressione (§ 3.3.3(6) CNR-DT 200R1/2012)
f _{mk} ^b =	1.95 [Mpa]	Resistenza a compressione in direzione dei ricorsi di malta (0,5 f _{mk} CNR-DT 200 R1/2012)

Caratteristiche meccaniche e geometriche del rinforzo FRP

E _f =	190.00 [Gpa]	Modulo di elasticità normale nella direzione della forza
f _{fk} =	2800.00 [Mpa]	Resistenza caratteristica del rinforzo in FRP
ϵ_{fk}	0.01474	Deformazione caratteristica a rottura per trazione del rinforzo in FRP
n _f =	1.00	Numero di strati di rinforzo
b _f =	300.00 [mm]	Larghezza della striscia di rinforzo
t _f =	0.254 [mm]	Spessore della striscia di rinforzo

Caratteristiche del sistema rinforzo

$\gamma_{f,d}$ =	1.20	Coefficiente parziale per delaminazione
γ_{Rd} =	1.50	Coefficiente parziale di resistenza per delaminazione
η_a =	0.45	Fattore di conversione ambientale
$\epsilon_{fk}/\gamma_{f,d}$	0.0055263	Deformazione a rottura per trazione
Su =	0.40 [mm]	Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto (0,40 per laterizio tufo)

Calcolo della resistenza alla delaminazione

b _d =	300.00 [mm]	Larghezza della zona di diffusione delle tensioni di aderenza
b	600.00 [mm]	Larghezza dell'elemento rinforzato
k _d	1.291 [mm]	Coefficiente correttivo di tipo generico ((5.5 CNR-DT 200 R1/2012)
k _G =	0.031 [mm]	Coefficiente correttivo per tipo di muratura (0,031mm per laterizio)
α =	1.50	Coefficiente per calcolo del distacco intermedio $1 < \alpha < 2$
Γ_{fd}	0.23436 [N/mm]	Energia specifica di frattura
l _{ed}	134.34 [mm]	Lunghezza ottimale di ancoraggio
f _{bd}	1.172 [Mpa]	Resistenza di progetto alla delaminazione di estremità
f _{dd}	493.45 [Mpa]	Resistenza di progetto alla delaminazione di estremità
ϵ_{fdd}	0.00260	Deformazione massima del rinforzo per distacco alle estremità
f _{dd,2}	740.17 [Mpa]	Resistenza di progetto alla delaminazione intermedia
$\epsilon_{fdd,2}$	0.00390	Deformazione massima del rinforzo per distacco intermedio

Calcolo della tensione di progetto

l _b =	200.00 [mm]	Lunghezza di ancoraggio effettiva
f _{dd,rid}	493.45 [Mpa]	Resistenza efficace di calcolo per ancoraggio ridotto
NFRP	38 [KN]	Forza di trazione totale resistente

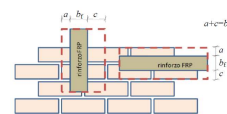


Tabella 3-2 - Coefficienti parziali γ_{Rd} per i materiali ed i prodotti			
Modalità di collasso	Coefficiente parziale	Applicazione tipo A ⁽¹⁾	Applicazione tipo B ⁽²⁾
Rottura	γ_t	1.10	1.25
Delaminazione	γ_{Rd}	1.20	1.50

⁽¹⁾ Sistemi di rinforzo certificati in accordo a quanto indicato al capitolo 2 di queste Istruzioni (§ 2.5).
⁽²⁾ Sistemi di rinforzo non certificati in accordo a quanto indicato al capitolo 7 di queste Istruzioni (§ 7.5).

Tabella 3-2 - Fattore di conversione ambientale η_a per varie condizioni di esposizione e vari sistemi di FRP.

Condizione di esposizione	Tipo di fibra / resina	η_a
Interna	Vetro / Epossidica	0.75
	Arammidica / Epossidica	0.85
	Carbonio / Epossidica	0.95
Esterna	Vetro / Epossidica	0.65
	Arammidica / Epossidica	0.75
	Carbonio / Epossidica	0.85
Ambiente aggressivo	Vetro / Epossidica	0.50
	Arammidica / Epossidica	0.70
	Carbonio / Epossidica	0.85

$$k_b = \sqrt{\frac{3 - b_f / b}{1 + b_f / b}}$$

- per una muratura di laterizio: $k_G = 0.031$ mm;
- per una muratura di tufo: $k_G = 0.048$ mm;
- per una muratura di calcarenite o pietra leccese: $k_G = 0.012$ mm;

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{bm} \cdot f_{btm}}$$

$$l_{ed} = \min \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}; 150 \text{ mm} \right\}$$

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

$$f_{fdd,rid} = f_{fdd} \cdot \frac{l_b}{l_{ed}} \cdot \left(2 - \frac{l_b}{l_{ed}} \right)$$

4.6 MALTE ED ADESIVI STRUTTURALI

4.6.1 MALTA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE PER INTERVENTI DI SCUCI E CUCI, CHIUSURA NICCHIE, STUCCATURA E RINZEPPATURA

Per il consolidamento delle strutture esistenti in muratura e la loro parziale ricostruzione ("scuci e cucì", chiusura nicchie etc.) si prevede di utilizzare una malta di calce idraulica naturale NHL 3.5, tipo GEOCALCE o similare, a norma EN 459-1, avente le seguenti caratteristiche:

- Materiale: Calce naturale NHL 3.5 e geolegante;
- Classe della malta: M15;
- Resistenza a compressione a 28 giorni: ≥ 15 MPa;
- Resistenza a trazione per flessione a 28 giorni: ≥ 5 MPa;
- Adesione su laterizio: ≥ 1 MPa;
- Legame di aderenza: $\geq 0,8$ MPa;
- Modulo elastico a compressione: 9,23 GPa;

4.6.2 MALTA TIXOTROPICA PER IL RIPRISTINO DI STRUTTURE IN C.A.

Per la preparazione e la rasatura di superfici di strutture esistenti in c.a." è stato previsto l'utilizzo di una malta tixotropica tipo Kerakoll "GeoLite40®" o similare avente le caratteristiche minime di seguito riportate.

- Resistenza a compressione 45 MPa
- Resistenza a trazione 9 MPa
- Modulo elastico a compressione 21 GPa

4.6.3 MALTA TIXOTROPICA PER L'APPLICAZIONE DI TESSUTI DI RINFORZO IN FIBRA DI ACCIAIO TIPO GEOSTEEL G2000 SU STRUTTURE IN MURATURA

Per l'applicazione in situ dei tessuti unidirezionali in fibra di acciaio galvanizzata ad altissima resistenza tipo Kerakoll "GeoSteel G2000" o similare su strutture esistenti in muratura è stato previsto l'utilizzo di una malta tixotropica tipo Kerakoll "GeoLite®" o similare avente le caratteristiche minime di seguito riportate. Per l'applicazione dei tessuti in fibra di acciaio è possibile utilizzare altre tipologie di malte od adesivi purché con caratteristiche meccaniche almeno equivalenti e conformi ai requisiti delle linee guida CNR-DT 200 R1/2013 per l'incollaggio dei sistemi di rinforzo.

- Resistenza a compressione 55 MPa
- Resistenza a trazione 10 MPa
- Modulo elastico a compressione 5,3 GPa
- Modulo elastico a flessione 2,5 GPa

4.6.4 ADESIVO MINERALE EPOSSIDICO TIPO GEOLITE GEL PER L'APPLICAZIONE DI TESSUTI DI RINFORZO IN FIBRA DI ACCIAIO TIPO GEOSTEEL G2000 SU STRUTTURE IN C.A.

Per il consolidamento di strutture esistenti in c.a. mediante applicazione di rinforzi in tessuto di fibra di acciaio tipo Kerakoll "GeoSteel G2000" o similare si prevede di utilizzare un adesivo minerale epossidico tipo GEOLITE GEL o similare con le seguenti caratteristiche:

- Resistenza a trazione: 14 MPa;
- Resistenza a taglio: 12 MPa;
- Ritiro lineare: 0.1%;
- Modulo elastico secante a compressione: 2,0 GPa;

4.6.5 ADESIVO PER L'INCOLLAGGIO STRUTTURALE DI ELEMENTI METALLICI SU STRUTTURE IN C.A.

Per l'incollaggio strutturale di piatti in acciaio su strutture in c.a. si utilizza una resina epossidica in pasta tipo Sika "Sikadur-30" od equivalente avente le caratteristiche minime di seguito riportate.

- Resistenza a compressione a 7 giorni	70	MPa
- Resistenza a taglio a 7 giorni	14	MPa
- Resistenza a trazione a 7 giorni	24	MPa
- Adesione sull'acciaio	21	MPa
- Modulo elastico a compressione	9,6	GPa
- Modulo elastico a trazione	11,2	GPa

4.6.6 ANCORANTE CHIMICO PER L'INGHISAGGIO DI BARRE IN ACCIAIO ENTRO STRUTTURE IN C.A.

Per l'installazione di barre filettate o di barre di armatura entro strutture in c.a. esistenti si utilizza un ancorante chimico tipo Hilti "HIT-RE 500-SD" od equivalente.

4.6.7 MALTA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE PER INIEZIONI ED INGHISAGGIO DI BARRE IN ACCIAIO NELLE MURATURE

Per l'inghisaggio di barre di armatura o barre filettate entro le murature e per realizzare il consolidamento delle murature mediante iniezioni si prevede di utilizzare leganti a base di calce idraulica naturale NHL 3.5, GEOCALCE FLUIDO o similare, a norma EN 459-1, avente le seguenti caratteristiche:

- Materiale:	Calce naturale NHL 3.5 e geolegante;
- Classe della malta:	M15;
- Resistenza a compressione a 28 giorni:	≥ 15 MPa;
- Modulo elastico statico:	9,5 GPa;
- Resistenza allo sfilamento di barre di acciaio:	$\geq 3,5$ MPa;

IL PROGETTISTA