

Durante la verifica sismica effettuata nel 2012

per la caratterizzazione dei materiali si è optato per un insieme di *indagini in situ estese*, sulla muratura e sul calcestruzzo, con il raggiungimento di un livello di conoscenza LC2, con relativo fattore di confidenza FC=1,2, in particolare :

- per la caratterizzazione della muratura sono stati sottoposti ad indagine i due materiali componenti: sono stati prelevati e sottoposti a rottura n.5 campioni di laterizio, mentre la malta è stata caratterizzata con estese prove in situ mediante apposito penetrometro;
- per il calcestruzzo sono stati sottoposti a rottura n.5 campioni cilindrici (carote) estratti da pilastri e travi. A queste prove distruttive si è associata una serie di prove non distruttive con martello di Schmidt e alcuni saggi per la determinazione dell'armatura presente nelle travi non indicate nel progetto.
- per l'acciaio di armatura non è stato possibile procedere con prove sperimentali, in quanto non è stato possibile prelevarne un quantitativo sufficiente senza compromettere la stabilità dell'edificio. Per la scelta del tipo di acciaio da utilizzare nelle verifiche si è fatto riferimento ai certificati di prova originali.

STRUTTURE ESISTENTI : PARETI PORTANTI

Le prove di rottura sui campioni di laterizio, effettuate in funzione della varifica sismica del 2012, hanno riportato un valore di resistenza a rottura del laterizio superiore a $37,5 \text{ N/mm}^2$, che è stato preso come valore di riferimento della resistenza media a compressione f_{bm} dell'elemento.

Le prove di caratterizzazione della malta hanno dato risultati variabili, ovvero per il valore della resistenza caratteristica della muratura f_m :

- piano seminterrato $f_m = 10,20 \text{ N/mm}^2$;
- piano terra $f_m = 7,20 \text{ N/mm}^2$;
- piano primo $f_m = 10,20 \text{ N/mm}^2$;

i dati di cui sopra e la tipologia e dimensione dei campioni di laterizio hanno permesso, inoltre, di stabilire che la muratura in oggetto appartiene alla classe della "**muratura a mattoni semipieni con malta cementizia**" di cui alla tabella C.8A.2.1 della circolare 617/2009; nel rispetto del paragrafo C8A.1.A.4 della circolare, e nell'ipotesi di livello di conoscenza LC2, sono stati adottati per i parametri della muratura i valori medi di cui alla sopra indicata tabella, pur essendo il valore di f_k ricavato dalle prove in situ evidentemente superiore.

Sono stati così considerati i seguenti valori:

	f_m [kg/cm ²]	f_m/FC [kg/cm ²]	τ_o [kg/cm ²]	τ_o/FC [kg/cm ²]	E [kg/cm ²]	E/FC [kg/cm ²]	G [kg/cm ²]	G/FC [kg/cm ²]	w [kg/m ³]
Muratura a mattoni semipieni con malta cementizia	65	54,17	2,8	2,3	22750*	18960*	5690*	4740*	1500

*il valore dei moduli elastici E e G così come rilevati dalla tabella C.8A.2.1 della circolare sono riferiti a condizioni non fessurate. Nel rispetto di quanto prescritto dal paragrafo §7.2.6 delle NTC, tali valori sono stati ridotti del 50% per tenere conto delle condizioni fessurate della muratura.

STRUTTURE ESISTENTI : TRAVI IN CLS

Si riportano le caratteristiche utilizzate nella verifica :

Cemento Armato

Dati di progetto: nel progetto originale è dichiarata la classe di resistenza $R_{ck}=250$ per il calcestruzzo delle strutture in elevazione, ed una classe FeB38k controllata in stabilimento per l'acciaio dell'armatura.

Dati del collaudo: dalla relazione del collaudo si ricavano valori molto maggiori della resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo, valori tipici per una classe di resistenza $R_{ck}=350$.

Dati di prova: i risultati delle prove di compressione sui provini cilindrici hanno tuttavia evidenziato valori di resistenza non molto alti, tali da far supporre l'utilizzo di un calcestruzzo della classe $R_{ck}=250$ dichiarata nel progetto originale per quanto riguarda le travi, mentre per i pilastri il valore di compressione è risultato molto inferiore. Per la verifica dei pilastri si è quindi considerata una classe inferiore, ovvero un $R_{ck}=150$.

Nel rispetto del paragrafo 8.7.2 delle NTC2008 per il calcolo della capacità resistente nell'ipotesi di meccanismi di rottura di tipo *fragile*, si divide la resistenza dei materiali per il fattore di confidenza e per i coefficienti parziali.

Nel prospetto seguente si riportano i valori finali utilizzati nelle verifiche delle opere in cemento armato:

Calcestruzzo				
Tipo di Verifica	Elemento	f_{ck} [kg/cm ²]	f_{cd} [kg/cm ²]	E_c [kg/cm ²]
Flessione o Pressoflessione	Travi	200	141,66	133333*
	Pilastri	120	85	266666
Taglio	Travi	200	94,44	133333*
	Pilastri	120	56,66	266666
Acciaio				
Tipo di Verifica	Elemento	f_{yk} [kg/cm ²]	f_{yd} [kg/cm ²]	E_s [kg/cm ²]
Flessione o Pressoflessione	Travi e Pilastri	3750	3125	2100000
Taglio	Travi e Pilastri	3750	2717	2100000

*Così come per la muratura il valore del modulo elastico E è stato ridotto del 50% negli elementi orizzontali per tener conto della condizione fessurata (§7.2.6 delle NTC). Per i pilastri invece è stata considerata la rigidezza degli elementi non fessurati, in quanto non interessati dal fenomeno della fessurazione risultando prevalentemente compressi.

MATERIALI RELATIVI AI NUOVI INTERVENTI PREVISTI

CALCESTRUZZO per strutture di fondazione (plinti)

Riferimenti: D.M. 17.01.2018, par. 11.2;

Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale;

UNI EN 206-1/2006;

Classe di resistenza necessaria ai fini **C25/30** N/mm² (Rck=300 daN/cm²)

statici:

Condizioni ambientali: *ORDINARIE (XC2 UNI 11104)*

Lavorabilità *S4/S5*

Contenuto minimo cemento *280 kg/m³*

Diametro massimo dell'aggregato *20 mm*

Rapporto acqua/cemento max *0.60*

Copriferro netto minimo *25mm*

Copriferro netto minimo fondazioni *40mm*

Parametri caratteristici e tensioni limite

<i>R_{ck}</i>	<i>f_{ck}</i>	<i>f_{cd}</i>	<i>f_{ctm}</i>
300	249.0 kg/cm ²	141.1 kg/cm ²	11.9 kg/cm ²

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO (armatura plinti)

Riferimenti: D.M. 14.01.2008, par. 11.3.2

Acciaio per C.A. B450C	
f_{yk} tensione nominale di snervamento:	≥ 4580 kg/cm ² (≥ 450 N/mm ²)
f_{tk} tensione nominale di rottura:	≥ 5500 kg/cm ² (≥ 540 N/mm ²)
f_{td} tensione di progetto a rottura:	f _{yk} / g _s = f _{yk} / 1.15 = 3980 kg/cm ² (= 391 N/mm ²)

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} \leq 1.35$$

$$f_t / f_y \geq 1.15$$

ACCIAIO PER PROFILATI (controventi e piatti di collegamento)

Riferimenti:

D.M. 17.01.2018

Acciaio per Struttura Metallica S275	
f_{td} tensione nominale di rottura	430 N/mm ²
f_{yk} tensione nodi snervamento	275 N/mm ²

Saldature

Le saldature tra i vari profili che compongono il telaio saranno eseguite a filo.

Il materiale, sia dei profili che dell'apporto, è S 275 con le seguenti caratteristiche:

- resilienza ≥ 27 ;
- allungamento percentuale a rottura ≥ 24 ;
- tensione di rottura a trazione ≥ 430 N/mm²;
- tensione di snervamento ≥ 275 N/mm².

Massa Volumica Media :7950 kg/mc

Bulloni (giunti di collegamento dei controventi)

sono previsti bulloni di serraggio di classe 8.8

Tabella 11.3.XII.b

Tensioni di snervamento e rottura dei bulloni

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

e si adottano i seguenti coefficienti per le resistenze di calcolo :

Tabella 4.2. XII Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.

Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza dei chiodi	
Resistenza delle connessioni a perno	
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	
Resistenza dei piatti a contatto	
Resistenza a scorrimento per SLU	$\gamma_{M3} = 1,25$
per SLE	$\gamma_{M3} = 1,10$
Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Precarico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7} = 1,10$

MATERIALI PER RINFORZO TRAVI ESISTENTI (tessuti FRP, resina, connettori)

E' previsto l'utilizzo di un sistema di rinforzo composto da tessuti in carbonio, dotati di Certificato di Valutazione Tecnica, e di connettori tipo ardfix dotati di Certificato di Idoneità Tecnica.

Estratto della scheda tecnica del sistema tessuto+resina :

	Descrizione	Rif.
Nome Commerciale	Betontex FB-GV420U-HT-RC02	CVT n. 415/2018
Produttore	Fibre Net SpA	
Qualifica	Classe 210C	
Numero di strati per il quale il sistema risulta qualificato	1, 2, e 3 strati	
Tipo di rinforzo	Unidirezionale in fibra di carbonio di alta tenacità	
Peso di fibra di carbonio (g/m ²)	400	ISO 3374

Caratteristiche fisiche, geometriche e meccaniche

Caratteristiche fisico-meccaniche del sistema di rinforzo				
Proprietà	1 strato	2 strati	3 strati	Rif.
Modulo elastico del laminato riferito all'area netta di fibre, E _l , GPa (val. medio) (Nota 1)	269	266	270	UNI EN 2561
Resistenza a trazione del laminato riferito all'area di fibre, f _{lt} , MPa (val. caratteristico) (Nota 1)	3352	3603	3507	UNI EN 2561
Deformazione a rottura del laminato, ε _{lt} , (val. medio) (Nota 1)	1.62 %	1.62 %	1.50 %	UNI EN 2561
Frazione in peso delle fibre nel composito	32 %	37 %	41 %	interno
Frazione in volume delle fibre nel composito	22 %	26 %	30 %	interno
Temperature limite di utilizzo	-15 °C / +58 °C			interno
Temperature limite di utilizzo con primer Betontex FB-RC01 (Nota 2)	-15 °C / +54 °C			interno

Caratteristiche fisico-meccaniche del sistema di rinforzo				
Proprietà	1 strato	2 strati	3 strati	Rif.
Temperature limite di applicazione	+5 °C / +30 °C			interno
Resistenza al fuoco	n.p.d.			EN 13501-2
Reazione al fuoco	n.p.d.			EN 13501-1

Caratteristiche del tessuto e della resina

Caratteristiche fisico-meccaniche della fase tessuto		
Proprietà	Valore	Rif.
Prodotto	Betontex FB-GV420U-HT	
Tipo di tessuto	unidirezionale in fibra di carbonio HT	-
Densità delle fibre, ρ_{fb}	1.78 g/cm ³	ASTM D792, ISO 1183-1
Massa della fibra per unità di area, p_x	400 g/m ²	ISO 3374
Area equivalente di fibra, per ciascuno strato di tessuto, A_{f1}	225 mm ² /m	UNI EN 2561
Spessore equivalente di fibra, per ciascuno strato di tessuto, t_{eq}	0.225 mm	UNI EN 2561
Resistenza a trazione della fibra	5100 MPa	ISO 10618
Modulo elastico della fibra	245 GPa	ISO 10618
Allungamento a rottura della fibra	2.1 %	ISO 10618

Caratteristiche fisico-meccaniche della fase resina			
Proprietà	Valore		Rif.
Prodotto	Betontex FB-RC01 ^(Nota 2)	Betontex FB-RC02	-
Funzione	primer	resina impregnante	-
Tipo di resina	epossidica	epossidica	-
Rapporto di catalisi (A : B)	2:1	2:1	-
Densità della resina, ρ_m	1.05 g/cm ³	1.10 g/cm ³	ASTM D792, ISO 1183-1
Temperatura di transizione vetrosa ^(Nota 3) , T_g	69 °C	73 °C	ISO 11357-2:1999 (DSC)

Estratto della scheda tecnica del connettore Ardfix (barra di carbonio) :

BARRA IN FIBRA DI CARBONIO

FB-G06BAM-HT / FB-G08BAM-HT / FB-G10BAM-HT

ALTA TENACITA', diametri 6, 8 e 10 mm

adatto per realizzare collegamenti, ancoraggi e piolature integrate con i rinforzi unidirezionali su strutture in calcestruzzo o in muratura

FB-G BAM-HT Barra ad aderenza migliorata in fibra di carbonio ad alta tenacità di Fibre Net, prodotta con processo di pultrusione.

VOCE DI CAPITOLATO

Barra pultrusa in fibra di carbonio FB-G...BAM-HT di Fibre Net ad aderenza migliorata, o equivalente, per la realizzazione di cuciture su strutture in muratura o calcestruzzo armato o per l'ancoraggio di tessuti in fibra di carbonio alla struttura esistente, lunghezza 2000 o 6000 mm, diametro mm, sezione di fibra nella barra mm². Modulo elastico della barra 130 GPa. Realizzato con fibre di carbonio ad alta tenacità, caratterizzate da tensione di rottura 4200 MPa, modulo elastico 240 GPa, allungamento a rottura 2,1%.



Caratteristiche geometriche	Normativa	FB-G06BAM-HT	FB-G08BAM-HT	FB-G10BAM-HT
Aspetto	---	barra circolare		
Lunghezza	---	2 - 6 m		
Diametro	---	5,5 mm	7,5 mm	9,5 mm
Sezione di fibra nella barra	---	13 mm ²	25 mm ²	40 mm ²
Densità	---	1,5 g/cm ³		

**CONFORME A
LINEE GUIDA
CNR-DT 200 R1/2013
CNR-DT 203/2006**



Caratteristiche meccaniche	Normativa	FB-G06BAM-HT	FB-G08BAM-HT	FB-G10BAM-HT
Carico di rottura della barra	---	≥ 36 kN	≥ 74 kN	≥ 120 kN
Tensione di rottura media della barra	---	≥ 1700 MPa		
Modulo elastico medio della barra	---	130 GPa		
Tensione di rottura a trazione della fibra	---	4200 MPa		
Modulo elastico a trazione della fibra	---	240 GPa		
Allungamento a rottura della fibra	---	2,1 %		

VANTAGGI

- durabilità ed efficacia dell'intervento
- interventi puntuali e mirati
- dimensionamento secondo le esigenze di progetto

Caratteristiche chimico-fisiche	Normativa	Valore
Tipo di fibre	---	Tenax UTS 7.731
Densità della fibra	---	1,79 g/cm ³
Rapporto volumetrico fibra/resina	---	58 % / 42 %

CARATTERISTICHE

- elevate resistenze meccaniche
- elevata resistenza alla corrosione
- compatibilità con malte a base di calce