Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo

Direzione Regionale
per i Beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici

Comune di Rende

Regione Calabria
Dipartimento 12 -Turismo e Beni Culturali-

Accordo di Programma Quadro (APQ)
"Beni e attività culturali per il territorio della Regione Calabria"



RENDE (CS): Castello Normanno Svevo
Restauro conservativo e interventi di adeguamento e di rifunzionalizzazione per destinazione culturale di parte del complesso monumentale

Codice APQ	SC.20	Finanziamento	**APQ Beni e attività culturali della Calabria 2° Atto integrativo**

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO N.	TITOLO ELABORATO :	SCALA:
St.1	**Relazione strutture**	

REDAZIONE		VISTI E PARERI	FIRMA E SIGLE
Ufficio di progettazione interno		Perizia di spesa N. del Approvata con Decreto N. del	**I PROGETTISTI**
Responsabile del procedimento	arch. Francesco PROSPERETTI		
Progettazione	arch. Luciano GARELLA rest. Giancarlo DEL SOLE		
Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione	dott. Giovanni PICCOLO		
Consulenze e collaborazioni esterne			
Consulenza tecnica	ing. Angelo Gerardo MAIORINO arch. Raffaele MARTINELLI arch. Amelia ROCHIRA		**IL DIRETTORE REGIONALE** ***Francesco PROSPERETTI***

Relazione tecnica interventi strutturali

Il fabbricato oggetto di restauro conservativo situato nel comune di Rende (CS) ha una forma composita con dimensioni massime in pianta di mt. 45x44. La struttura principale è in muratura di pietrame con orizzontamenti parte voltati (al primo livello) e parte con solai in putrelle di acciaio e voltine di mattoni pieni ad interasse di cm 80 circa.

A vista il complesso non presenta evidenti dissesti dovuti a cedimenti, a meno di alcune problematica localizzate in parti limitate della struttura.

In particolare si sono rilevati i seguenti dissesti:

- cantonale della muratura di contenimento del terrapieno nel piazzale antistante il complesso, dovuti essenzialmente alla presenza di alcune alberature le cui radici hanno comportato un parziale distacco della muratura.

In questa fase si è previsto l'eliminazione della causa (abbattimento degli alberi) e il completo ripristino del cantonale mediante una serie di operazioni che consistono (cfr. elaborato grafico St.2):

- Realizzazione di perforazioni (ϕ 45 mm) armate con barre di acciaio inox (ϕ 20 mm) della lunghezza di mt. 2.00 lungo le due direzioni ortogonali, per l'aggancio dei due setti ortogonali, iniettati con malta tixotropica fino a rifiuto;
- Scavo del lato interno del cantonale per una ampiezza di mt. 3,00 x 1.00 su entrambi i lati per una profondità di mt. 2.00;
- Scarnitura delle connessure e successivo lavaggio e depolverizzazione della superficie muraria;
- Perforazioni (minimo 6 a mq di superficie) di profondità pari a 2/3 dello spessore della muratura, armate con tondini ϕ 6 mm previo lavaggio e pulitura del foro con acqua a pressione controllata;
- Iniezione di boiacca di cemento con antiritiro;
- applicazione di rete elettrosaldata in quantità non inferiore a 4 Kg/mq ancorata ai tondini di acciaio;
- strato di rifinitura con malta cementizia antiritiro dosata a Kg 300 di cemento per uno spessore minimo non inferiore a cm 4 a protezione della rete.
- rinterro e successiva ripavimentazione.

- ammaloramento delle architravi sul prospetto principale del complesso, e loro sostituzione con analoghe per caratteristiche.

si riporta di seguito l'analisi numerica di verifica.



DIMENSIONAMENTO ARCHITRAVE IN ACCIAIO SECONDO NTC 2008



TIPOLOGIA E PARAMETRI MECCANICI DELLA MURATURA

◉ **Inserimento parametri Tabella C8A.2.1 NTC 2008**

Tipologia della muratura: Muratura a conci di pietra tenera

Livello di confidenza: Livello di conoscenza LC=1

○ **Inserimento parametri utente**

Questa opzione va utilizzata nel caso di LC=3, inserendo i valori sperimentali, secondo quanto indicato al § C8A.1.A.4 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (Istruzioni NTC 2008)

Resistenza media a compressione della muratura:	f_m =	N/cm^2
Resistenza media a taglio della muratura:	τ_0 =	N/cm^2
Valore medio del modulo di elasticità normale:	E =	N/mm^2
Valore medio del modulo di elasticità tangenziale:	G =	N/mm^2

Coefficienti correttivi dei parametri meccanici, indicati dalla Tabella C8A.2.2 delle NTC2008

Malta buona:	NO	1
Giunti sottili (< 10mm):	SI	1,5
Ricorsi o listature:	NO	1
Connessione trasversale:	NO	1
Nucleo scadente e/o ampio:	SI	0,9
Iniezione di miscele leganti:	NO	1
Intonaco armato:	NO	1

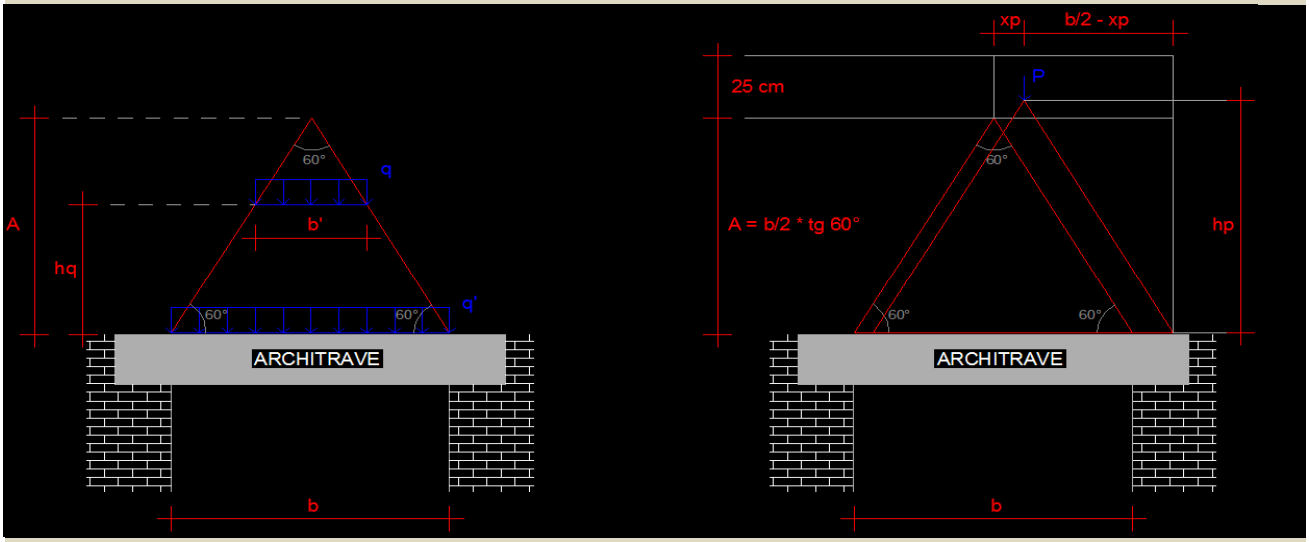
Ulteriori correttivi dei parametri meccanici

Livello di conoscenza:	LC=1	→	Fattore di confidenza (Tabella C8A.1.1 NTC 2008):		FC= 1,35
			Rigidezza (fessurata/non fessurata):	Fessurata	rigidezza = 2
			Coefficiente parziale di sicurezza:	Analisi non lineare	γs = 1

Resistenza media a compressione della muratura:	f_m =	145,2	N/cm^2
Resistenza media a taglio della muratura:	τ_0 =	2,9	N/cm^2
Valore medio del modulo di elasticità normale:	E =	560	N/mm^2
Valore medio del modulo di elasticità tangenziale:	G =	187	N/mm^2
Peso specifico medio della muratura:	w =	16	kN/m^3

ANALISI DEI CARICHI

Per valutare i carichi agenti sull'architrave vengono seguite le indicazioni della norma DIN 1053 (dicembre 1952). In pratica il problema viene semplificato ipotizzando che sopra di esso si generi un effetto di volta scaricantesi ai lati, quindi si considerano gravanti solo il peso della porzione di muratura inclusa in un triangolo equilatero al di sopra dell'architrave avente per lato la luce dell'architrave stesso.
I carichi uniformemente distribuiti, al di sopra del triangolo di carico, dovuti ad eventuali solai sono trascurati nel calcolo dell'architrave, mentre i carichi dei solai che agiscono all'interno del triangolo di carico si considerano solo per il tratto intercettato dal triangolo di carico.
Se entro la luce della trave agiscono carichi concentrati essi dovranno essere considerati ammettendo una distribuzione del carico a 60°, anche se il loro punto d'applicazione è al di fuori del triangolo ma sia tuttavia al di sotto della linea orizzontale posta 25 cm al di sopra della sommità del triangolo stesso. Dovrà essere inoltre aggiunto il peso della muratura.



Per determinare i carichi a metro lineare agenti sull'architrave, occorre determinare le caratteristiche geometriche del triangolo equilatero di carico che sovrasta l'architrave stesso.

Luce netta dell'architrave:	L =	2.000	mm
Luce di calcolo dell'architrave (Luce netta + 5%):	b =	2.100	mm
Altezza del triangolo di carico:	A=	1.819	mm
Spessore della muratura sopra l'architrave:	t =	600	mm
Altezza del solaio sovrastante rispetto all'architrave:	hq =	900	mm
Larghezza della striscia di solaio intercettata dall'architrave:	b'=	1.061	mm
Carichi permanenti strutturali agenti sul solaio:	G_{1k} =	2,8	kN/m^2
Carichi permanenti non strutturali agenti sul solaio:	G_{2k} =	3,5	kN/m^2

Inserire I carichi accidentali agenti sul solaio (utilizzando l'inserimento automatico nel menù a tendina):

Cat. E1: Biblioteche, archivi, magazzini e depositi, laboratori,... Q_k = 6,0 kN/m^2

Oppure inserire i carichi accidentali agenti sul solaio con scelta dell'utente (in tal caso impostare prima nel menù a tendina l'opzione "INSERIMENTO MANUALE"): Q_k = 2,0 kN/m^2

Carico da neve:	Q_k =	1,0	kN/m^2
Luce totale del solaio sul primo lato della muratura:	L_1 =	875	mm
Luce totale del solaio sul secondo lato della muratura:	L_2 =	875	mm
Luce media del solaio gravante sulla muratura:	$L_m = (L1+L2)/2$ =	875	mm

Carico scaricato dai solai sulla muratura: $F_d = L_m * (\gamma_{g1} * G_{1k} + \gamma_{g2} * G_{2k} + \gamma_q * Q_k)$

γ_{g1} =	1,3	
γ_{g2} =	1,5	
γ_{gq} =	1,5	
F_d =	15,654	kN/m

Carico trasmesso dal solaio sull'architrave: $F_d' = F_d * b' / b$

F_d' = 7,907 kN/m

Carico trasmesso dalla muratura: $F_m = g_{g1} * w * t * A$

Fm = 22,697 kN/m

CARATTERISTICHE DELLA TRAVE IN ACCIAIO

SCELTA DEL PROFILATO:

Tipologia del profilato: HEA 160

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE:

Altezza della sezione trasversale	h =	152,00	mm
Larghezza della sezione trasversale	b =	160,00	mm
Spessore dell'anima	t_w =	6,00	mm
Spessore delle ali	t_f =	9,00	mm
Raggio di raccordo	r =	15,00	mm

CARATTERISTICHE MECCANICHE:

Altezza tra le ali	h_i =	134,00	mm
Area della sezione trasversale	A =	38,77	cm^2
Area della sezione resistente a taglio agente lungo z	A_{vz} =	13,21	cm^2
Area della sezione resistente a taglio agente lungo y	A_{vy} =	28,80	cm^2
Momento d'inerzia attorno all'asse forte	I_{yy} =	1.672,97	cm^4
Momento d'inerzia attorno all'asse debole	I_{zz} =	615,57	cm^4
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,yy}$ =	220,13	cm^3
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,zz}$ =	76,95	cm^3
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,yy}$ =	245,15	cm^3
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,zz}$ =	117,63	cm^3
Momento statico di metà sezione rispetto all'asse baricentrico	S_y =	122,57	cm^3
Peso a metro lineare	p =	0,30	kN/m

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELL'ACCIAIO:

Tipologia dell'acciaio: S275 (UNI EN 10025-2)

Snervamento dell'acciaio:	f_y =	275,00	MPa
Coefficiente ε	ε =	0,92	
Modulo Elastico dell'acciaio:	E =	210.000	MPa

CLASSIFICAZIONE DELL'ANIMA:

Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c =	104,00	mm
Spessore dell'anima	t_w =	6,00	mm
Rapporto tra altezza e spessore	c/t_w =	17,33	
Classificazione dell'anima per flessione		CLASSE 1	

CLASSIFICAZIONE DELLE ALI:

Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c =	62,00	mm
Spessore delle ali	t_f =	9,00	mm
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t_f =	6,89	
Classificazione delle ali per flessione		CLASSE 1	

SCELTA DELLA CLASSE DELLA SEZIONE:

Classificazione della sezione: Classe 3

CALCOLO SOLLECITAZIONI

Per il calcolo delle sollecitazioni massime, l'architrave viene assimilato ad una trave semplicemente appoggiata caricata da un carico uniformemente distribuito, dato dalla somma del carico dovuto al solaio, da quello dovuto al peso proprio del profilo utilizzato e da un carico triangolare dovuto al peso proprio della muratura sovrastante.

Momento flettente massimo: $M_{max}' = F_d * b^2 / 8 + p * b^2 / 8 + F_m * b^2 / 12$

M_{max}' = 12,918 kNm

Taglio massimo: $T_{max}' = F_d * b / 2 + p * b / 2 + F_m * b / 4$

T_{max}' = 20,634 kN

Inserire il numero dei profili da utilizzare: n = 1

Momento massimo su ogni profilo: $M_{max} = M_{max'} / n$

M_{max} = 12,918 kNm

Taglio massimo su ogni profilo: $T_{max} = T_{max'} / n$

T_{max} = 20,634 Kn

VERIFICHE

Verifica a flessione monoassiale (NTC 4.2.4.1.2) $M_{Ed} / M_{c,Rd} < 1$

classi 1 e 2: $M_{c,Rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0}$

classe 3: $M_{c,Rd} = W_{el,min} * f_{yk} / \gamma_{M0}$

$M_{c,Rd}$ = 20,153 kNm

M_{Ed} = 12,918 kNm

La verifica è soddisfatta!

Verifica a taglio (NTC 4.2.4.1.2) $V_{Ed} / V_{c,Rd} < 1$

$V_{c,Rd} = A_v * f_{yk} / \gamma_{M0} / (3^{0,5})$

$V_{c,Rd}$ = 199,771 kN

V_{Ed} = 20,634 kN

La verifica è soddisfatta!

Verifica di deformabilità $fm < L / 500$

$F_d = (G_{1k} + G_{2k} + Q_k) * i$

F_d = 10,763 kN/m

$F_m = w * A * t$

F_m = 17,459 kN/m

$f_m = b^4 / nEJ * (5 * F_d / 384 + F_m / 120)$

f_m = 1,58 mm

L / 500 = 4,20 mm

f_m = 1,58 mm

La verifica è soddisfatta!

Verifica agli SLU per carichi concentrati

Il D.M. 14.01.2008, punto 4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi, suggerisce di effettuare le verifiche facendo riferimento a normative di compravata validità: Eurocodice 6, D.M. 14.09.2005. Di seguito viene condotta la verifica secondo il D.M. 14.09.2005, punto 5.4.6.2.4.

Ndc = valore di progetto del carico concentrato (reazione agli appoggi dell'architrave).
NRd = resistenza di progetto.
βc = coefficiente di amplificazione per carichi concentrati, valutato in funzione del tipo di muratura, a favore di sicurezza;
(può essere considerato= 1)
fd = resistenza di progetto a compressione della muratura: fk/γM.
γM = coefficiente di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura (Tabella 4.5.II del D.M. 14.01.2008).

$Ndc < NRdc$

$NRdc = \beta c * Ac * fd$

Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta, classe di esecuzione 1

γ_M = 2,50

Lunghezza dell'appoggio: L = 200 mm

$Ac = b * l$ = 32.000 mm^2

$fd = fm / \gamma M$ = 58,074 MPa

$NRdc = \beta c * Ac * fd$ = 1.858,370 kN

$N_{dc} = T_{max}$ = 20,634 kN

La verifica è soddisfatta!

Tuttavia, dato che le spalle dell'apertura da praticare sono caricate oltre che dal carico diretto trasmesso dall'architrave anche dai carichi delle sovrastanti strutture di muratura

e di solaio è opportuno predisporre opportune banchine di ripartizione in calcestruzzo agli appoggi dell'architrave. Le banchine devono coprire l'intero spessore del muro ed estendersi per l'intera lunghezza di appoggio delle travi mentre lo spessore può essere pari a 20 cm circa. In tali condizioni il carico diretto trasmesso sulla banchina da ogni trave è agevolmente assorbito dal calcestruzzo, trattandosi di tensioni di compressione, mentre lo spessore della banchina è tale da determinare una ripartizione del carico globale trasmesso dall'architrave sull'intera lunghezza del muro sottostante. Pertanto nella sezione di contatto tra la banchina e la muratura la ripartizione triangolare delle tensioni ha un'ordinata massima data da:

$A_c = t * l =$ 120.000 mm^2

$N_{Rdc} = \beta_c * A_c * f_d =$ 6.968,889 kN

$N_{dc} = T'_{max} =$ 20,634 kN

La verifica è soddisfatta!

- miglioramento dei solai al secondo livello: Per il miglioramento flessionale di tale impalcato non vi è la possibilità di intervento nella parte estradossata ma soltanto all'intradosso dello stesso.

L'ideale per una completa risoluzione della problematica dovuta al cambio di destinazione d'uso dei locali sarebbe la realizzazione di un intervento all'estradosso mediante la realizzazione di un intervento di consolidamento mediante l'installazione di connettori in acciaio e realizzazione di un massetto in c.a. avente la funzione di irrigidimento del solaio e di aumento delle caratteristiche meccaniche. Ma tale intervento presuppone la rimozione di tutte le pavimentazioni e degli impianti (al 3 livello), interventi non previsti in questa fase.

Pertanto in questa fase al fine di ripristinare lo stato iniziale dell'impalcato e di un miglioramento della resistenza flessionale delle travi esistenti si è optato per un intervento con lamina pultrusa di carbonio da inserire all'intradosso delle travi con le seguenti sequenze operative:

- Operazione di pulizia del supporto fino all'ottenimento di una superficie perfettamente pulita ed asciutta;
- Spazzolatura del profilo per l'eliminazione degli osssidi presenti (livello SA 2,5);
- lavaggio della superficie con acqua e immediata asciugatura;
- Sgrassatura con solventi;
- Verniciatura passivizzante;
- Regolarizzazione della superficie con adesivo di riempimento;
- Taglio della lamina della lunghezza della trave mediante flex con disco diamantato, ed eliminazione delle polveri eventualmente presenti sulla lamina;
- Applicazione di primer epossidico bicomponente sulle superfici oggetto di intervento di rinforzo;
- Applicazione a spatola sul primer "fresco" di adesivo epossidico bicomponente per incollaggio con uno spessore di 1-2 mm;
- Applicazione a spatola sulla lamina di adesivo epossidico bicomponente per incollaggio con uno spessore di 1-2 mm;
- Posa a fresco della lamina pultrusa di fibre di carbonio seguita da pressatura uniforme al supporto con un rullo di gomma in modo da eliminare qualsiasi vuoto o bolla d'aria;
- Realizzazione sul sistema ancora fresco di spolveratura manuale con sabbia di quarzo per aumentare la superficie utile di aggrappo.

Raccomandazioni: Evitare che il carbonio sia a diretto contatto con l'acciaio in modo da non innescare il processo di corrosione galvanica.

Per Lamine con modulo elastico di 640 Gpa e contenuto di fibre minimo del 68%, spessore 1,4 mm Larghezza 50 mm, resistenza a trazione < 3.100 MPa; modulo elastico 170 GPa, conforme al documento normativo CNR DT 202/2005.