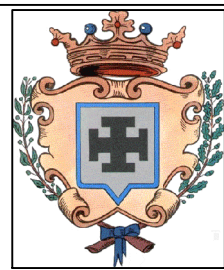




AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI COSENZA
COMUNE DI ACRI



Progetto

ADEGUAMENTO SISMICO ALLE NTC 2008
AUDITORIUM
LICEO CLASSICO V. JULIA DI ACRI (CS)



PROGETTO PRELIMINARE ☐
PROGETTO DEFINITIVO ☐
PROGETTO ESECUTIVO ☒

TAVOLA n°

1.0

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Marzo 2019

Scala

Responsabile del procedimento
ing. Enrico Naccarato

Progettista
ing. Sergio Pagano

Direttore dei lavori
ing. Straface Gianluca Salvatore

respons. progetto		controllo		approvazione		
EMISSIONE	REV.1	REV.2				data
						marzo 2019

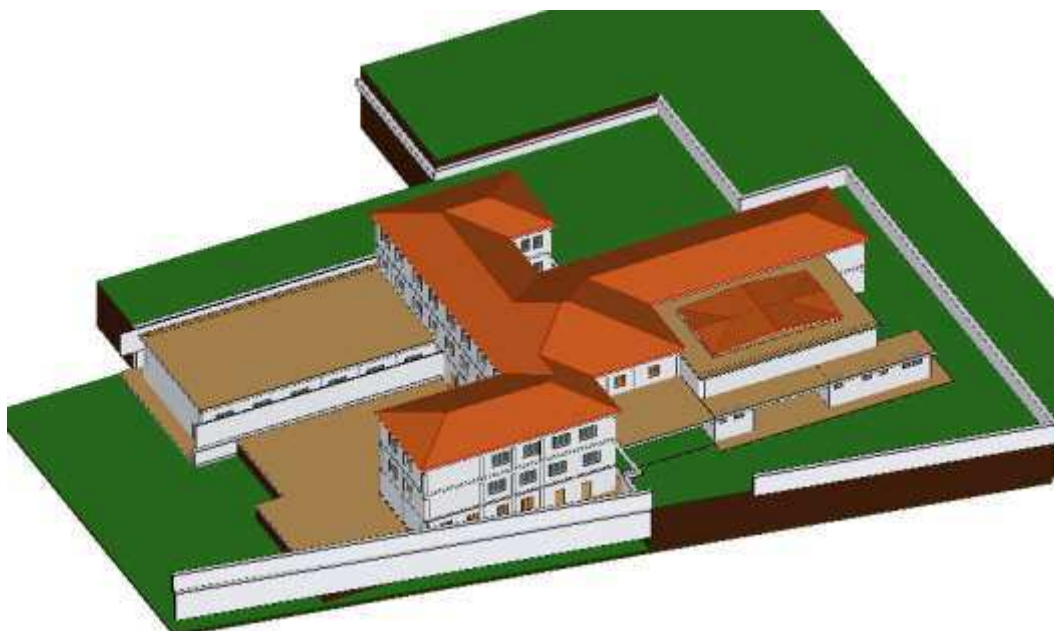
1. PREMESSA

Su incarico affidatogli dall'Amministrazione Provinciale di Cosenza, il sottoscritto ing. Sergio Pagano, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cosenza al n° 1508, ha proceduto alla stesura della presente relazione tecnica, parte integrante del progetto esecutivo di adeguamento sismico dell'Auditorium del Liceo Classico V. Julia di Acri (Cs) sito alla Via Don Luigi Sturzo n° 16. Alla stesura del presente progetto ha collaborato l'ing. Maria Francesca Villella, iscritta all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Vibo Valentia al n° 336.

Il presente progetto segue il progetto definitivo di adeguamento sismico redatto a Marzo 2017 a seguito di determina del Dirigente del Settore dell'Amministrazione Provinciale di Cosenza n° 44 del 09/02/2017 a valere sui fondi POR Calabria FESR 2014/2020 – Azione 10.7.1. **Per tale ragione, essendo stato redatto il progetto definitivo prima dell'entrata in vigore delle NTC 2018, il presente progetto esecutivo è redatto a norma NTC 2008.**

Complessivamente, l'edificio scolastico è composto da auditorium, palestra e corpo aule.

Il corpo aule, è già stato oggetto di intervento di adeguamento sismico redatto dallo stesso scrivente e conclusosi nel dicembre 2015.



Il complesso scolastico V. Julia di Acri (CS)

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle opere si è svolta nel rispetto della seguente normativa vigente:

- ✓ D.M 14.01.2008 - Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- ✓ Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- ✓ UNI EN 1504: parti da 1 a 10 – Prodotti e sistemi per la protezione e riparazione del calcestruzzo.

2.1 ATTIVITÀ PRELIMINARI

Preliminarmente alle verifiche strutturali, al fine di poter procedere con la valutazione dell'esistente, sono state necessarie le seguenti attività:

Identificazione dell'organismo strutturale; Identificazione delle strutture di fondazione; Identificazione della categoria di suolo;

Individuazione delle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;

Individuazione dei possibili difetti locali dei materiali e nei dettagli costruttivi;

Descrizione della destinazione d'uso attuale e futura con identificazione della classe di appartenenza;

Informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

Le suddette attività, eseguite in situ, sono state supportate da un dettagliato studio del progetto originale dell'epoca. Sono stati reperiti, contrariamente a quanto affermato nel progetto preliminare, i disegni costruttivi del progetto originale e le relative relazioni di calcolo, redatte a suo tempo dagli ing. Macri e Cimino.

2.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA STRUTTURALE ESISTENTE

La scuola, risalente agli anni '70 del secolo scorso, è costituita, come detto, da 3 corpi di fabbrica separati da giunti di dilatazione, la cui ampiezza, indagata in fase di progetto definitivo, risulta adeguata alle prescrizioni normative (circa 8,0 cm). I corpi di fabbrica, denominati "corpo aule" "corpo auditorium" e "corpo palestra", sono del tipo intelaiato in c.a. con travi bidirezionali e solai di tipo latero-cementizio a nervature unidirezionali. Le fondazioni del "corpo aule", che costituisce l'edificio interno dell'aggregato strutturale, sono disposti su due piani sfalsati; le fondazioni dell'"auditorium" e della "palestra", edifici d'estremità, si sviluppano su unico livello. La geometria degli elementi strutturali è riportata negli allegati elaborati grafici.

2.3 LIVELLO DI CONOSCENZA

Benché la scuola sia attualmente in uso, in fase di progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva, si è svolta una campagna di indagine conoscitiva estesa e completa, tale da raggiungere il massimo livello conoscitivo, ovvero quello denominato LC3.

Acquisire un livello di conoscenza più alto (LC3), ha consentito l'utilizzo di un fattore di struttura F_c pari ad 1 e la possibilità di utilizzare in fase di adeguamento un'analisi di tipo non lineare.

	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di Analisi	F_c
LC3	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	disegni costruttivi completi + limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali + estese oppure esaustive prove in situ	Tutte	1.00

Sul corpo fabbrica in esame, sono state altresì condotte indagini visive in situ, che, non hanno evidenziato

lesioni, fessurazioni e degrado delle strutture. Le indagini sono state estese alle fondazioni al fine di identificare le strutture stesse, sia in termini geometrici sia per quel che concerne le proprietà meccaniche dei materiali.

2.4 IL PROGETTO ORIGINALE

Il complesso di edifici costituenti la scuola è antecedente alla Legge 1086/71. La normativa di riferimento è la Legge 1684/62.

La fase conoscitiva della struttura e del modello strutturale è stata eseguita integrando i dati derivanti dal progetto preliminare, definitivo ed esecutivo dell'intero complesso scolastico, con i disegni esecutivi originali e l'esecuzione di indagini in situ.

2.5 INDAGINI DIAGNOSTICHE E LIVELLO DI CONOSCENZA

Come già detto in precedenza, al progetto sono allegate le indagini effettuate nel progetto preliminare e nel progetto esecutivo di adeguamento del Corpo Aule, progettato e diretto dal sottoscritto nel periodo 2011-2015. Sia il progetto preliminare che quello di adeguamento del corpo aule hanno comunque interessato tutti e tre i corpi fabbrica dell'edificio scolastico, compreso l'Auditorium oggetto del presente progetto di adeguamento alle NTC 2008.

Quindi, fine di conseguire un livello di conoscenza **LC3**, benché la scuola sia in funzione e quindi sia stato necessario non interferire con le attività ivi svolte, anche al fine di non arrecare danno alle strumentazioni e agli arredi e finiture esistenti, sono state eseguite le seguenti attività:

- ✓ Indagine preliminare riguardanti il periodo di progettazione e di costruzione. Tali dati sono stati individuati con la revisione critica del progetto originale redatto dall'ing. Antonio Macrì, e del documento di collaudo statico redatto dall'ing. Corina Cosmo. Il progetto originale è stato reperito dai sottoscritti presso l'archivio comunale del Comune di Acri, mentre il certificato di collaudo è stato fornito dall'Amministrazione Provinciale. Il collaudo, risalente al 1987, ha documentato che il progetto del complesso è stato effettuato in due lotti tra il 1966 e il 1967 e che i lavori di costruzione sono eseguiti a partire dal 1970 e ultimati nel 1973. Da tali informazioni si è potuto dedurre che la normativa di riferimento per la redazione del progetto strutturale è la Legge 25 novembre 1962, n.1684. Dal progetto originale con relazioni, carpenterie e dettagli costruttivi si è appurato che per la realizzazione delle strutture portanti si è previsto l'impiego di calcestruzzo ad alta resistenza tipo 730 e ferro di armatura Aq 42/50 (barre lisce).
- ✓ Esame visivo accurato delle strutture sulla base sia del progetto originale che del rilievo geometrico effettuato in fase di progetto preliminare (fornito dall'Ente Committente). Tale esame ha evidenziato delle non corrispondenze tra le dimensioni geometriche di alcuni elementi delle strutture e quanto invece documentato nel suddetto progetto preliminare. Lo stesso rilievo è stato integrato con l'esecuzione di pozzi ispettivi in corrispondenza delle fondazioni dei tre corpi di fabbrica. I dati rilevati sono riportati nella specifica tavola di progetto.
- ✓ Campionamento in termini di numero ed ubicazione dei punti da esaminare (anche in relazione a quanto precedentemente detto).
- ✓ Saggi e prove in situ per individuare i dettagli costruttivi e valutare le condizioni dei materiali in opera. In particolare è stata rilevata l'esistenza della struttura di copertura sul corpo "aule" realizzata non in struttura leggera, come asserito nel progetto preliminare, ma con di tipo a padiglione con piani di falda realizzati con travetti gettati in opera e caldana in laterizi. È stata altresì documentata l'adeguatezza dei giunti tecnici tra gli edifici. I dati rilevati sono riportati nella specifica tavola di progetto.
- ✓ Prelievo di campioni da esaminare e prove distruttive di laboratorio nel numero definito dal livello di conoscenza LC3. Poiché sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali dal progetto originale e dal certificato di collaudo, le prove in situ sono state effettuate in quantità "estesa", da integrare in "esaustiva" qualora i risultati fossero stati inferiori di quelli dichiarati nel progetto originale.

I risultati di tali prove distruttive e l'interpretazione dei dati sono riportati nella apposita tavola di progetto. Indagini geologiche e geotecniche mirate alla identificazione della categoria di sottosuolo. Tale campagna di indagini è stata commissionata dall'Ente Provinciale al dott. Carmine Nigro e i risultati sono riportati nella apposita tavola di progetto.

2.6 INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO PRELIMINARE

Di seguito vengono riassunte le indagini svolte con il progetto di vulnerabilità nel 2008 con particolare riferimento ai carotaggi C4 e C5 ed ai prelievi di barre di armatura P85-1 e P91-2, appartenenti al corpo Auditorium. Sono, inoltre, allegati al presente progetto esecutivo del Corpo Auditorium i saggi visivi effettuati con il progetto di vulnerabilità nel 2008.

RISULTATI DELLA PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI

Sigla del provino	Dimensioni d x h (mm)	Area (mm ²)	Massa (kg)	λ (h/d)	¹ Rc (N/mm ²)	Rettifica	² Tipo di rottura	Data di prova
C1	104 x 102	8495	2,034	0,981	13,6	si	s	26/03/2008
C2	104 x 101	8495	2,038	0,971	12,6	si	s	26/03/2008
C3	104 x 101	8495	2,089	0,971	16,9	si	s	26/03/2008
C4	104 x 104	8495	2,086	1,000	17,0	si	s	26/03/2008
C5	104 x 101	8495	2,049	0,971	12,0	si	s	26/03/2008
C6	104 x 102	8495	2,051	0,981	13,1	si	s	26/03/2008

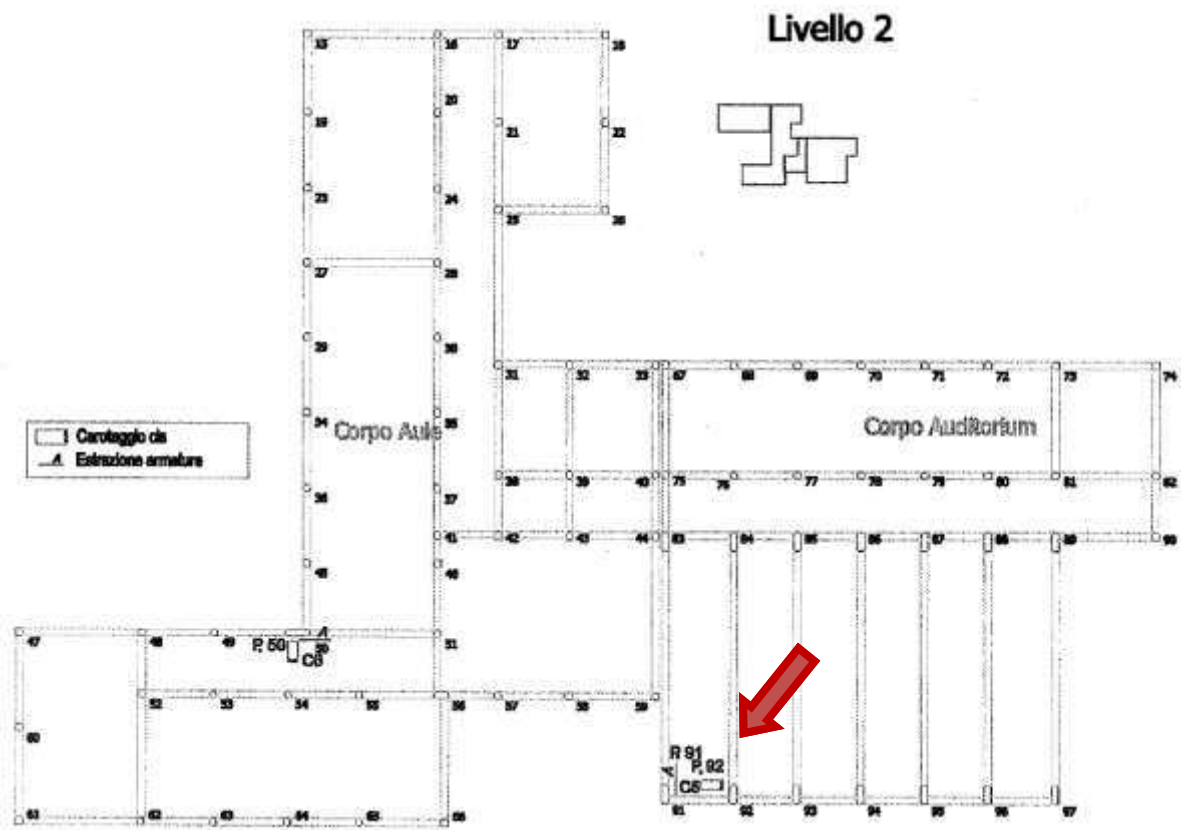
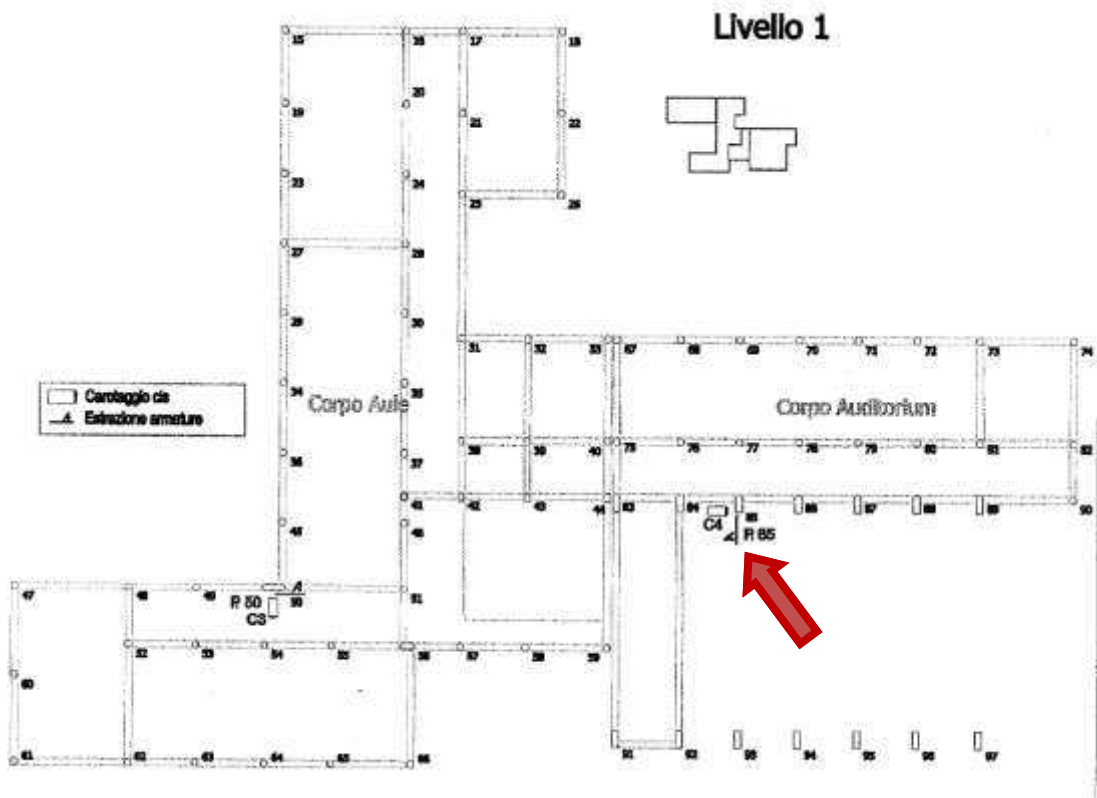
¹Rc: resistenza a compressione; ²s) rottura soddisfacente; ns) rottura non soddisfacente

Descrizione del materiale: DICHIARATO: n.d.

Data delle prove 28/03/2008

RISULTATI DELLE PROVE

Sigla della barra	Diametro effettivo ϕ (mm)	* Area effettiva (mm ²)	TRAZIONE						PIEGAMENTO	
			A _s (%)	f_y (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	f_y/f_{yk}	f_t/f_y	**E (N/mm ²)	Diametro mandrino (mm)	Presenza di cricche
P20-0	7,93	49,38	33,55	355,3	523,8	1,13	1,47	--	--	--
P8-0	8,21	52,96	29,50	396,0	596,6	1,26	1,51	--	--	--
P50-1	8,23	53,14	32,52	398,6	609,0	1,27	1,53	--	--	--
P85-1	8,43	55,88	33,70	362,8	510,4	1,15	1,41	--	--	--
P91-2	8,42	55,69	34,53	362,8	519,7	1,15	1,43	--	--	--
P50-2	8,31	54,28	34,45	365,7	548,6	1,16	1,50	--	--	--



2.7 INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO ESECUTIVO 2011 UTILIZZATE NEL DEFINITIVO 2017

Le indagini svolte con il progetto esecutivo del 2011 di con particolare riferimento ai carotaggi C5-C6-C7-C8-C9-C10-C18-C19-C23-C24-C25-C29-C31-C34 appartenenti al corpo Auditorium, sono le seguenti:

RISULTATI DEI CAROTAGGI ESEGUITI IN FASE DEFINITIVA-ESECUTIVA								profondità
Provino	elemento strutturale	Ubicazione prelievo	diametro mm	altezza mm	massa campione Kg	Resistenza a compressione N/mm ²	Data prova	carbonatazione (mm)
Cg5	Trave 82-74	fondazione auditorium (zona aule)	93,62	94,90	1,55	29,70	26/10/2010	
Cg6	Pilastro 89	pilastro 1° livello auditorium	93,62	94,90	1,54	32,60	26/10/2010	
Cg7	Trave 89-90	trave 1° livello auditorium (zona aule)	93,62	94,81	1,52	31,00	26/10/2010	
Cg8	Trave 97-89	fondazione auditorium	93,62	93,44	1,54	28,40	26/10/2010	
Cg9	Pilastro 97	pilastro 1° livello auditorium	93,4	95,12	1,55	32,80	26/10/2010	
Cg10	Trave 92-93	fondazione auditorium	93,62	94,54	1,60	42,60	26/10/2010	
Cg18	Pilastro 72	p.t. auditorium (esterno lato aule)	93,90	95,50	1,56	24,70	16/02/2011	3 -3,6
Cg19	Trave 70-71	trave p.t. auditorium (esterno lato aule)	93,90	95,30	1,50	30,00	16/02/2011	2,7
Cg23	Trave 88-89	piano terra corpo auditorium interno lato aule	93,90	95,20	1,55	34,50	16/02/2011	3,1
Cg24	Pilastro 91	corpo auditorium lato esterno	93,80	94,90	1,52	16,10	17/02/2011	4,9
Cg25	Trave 83-91	corpo auditorium trave esterna in copertura	93,80	94,70	1,52	31,00	17/02/2011	4
Cg29	Trave 97-89	corpo auditorium esterno 1° livello	93,80	95,10	1,52	42,80	21/02/2011	4,1-5,1
Cg31	Pilastro 72	2° livello auditorium (esterno lato aule)	93,00	94,00	1,535	29,10	12/05/2011	
Cg34	Pilastro 69	2° livello auditorium (esterno lato aule)	93,00	94,00	1,475	15,00	12/05/2011	

2.8 INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO ESECUTIVO 2019

Di seguito vengono riassunte le indagini svolte di recente per il presente progetto esecutivo del corpo Auditorium eseguite nel mese di Marzo 2019.

RISULTATI PROVA DI COMPRESIONE													
PROVINO	DATA PRELIEVO	DIREZIONE PRELIEVO	UBICAZIONE	DATA PROVA	PESO	Ø	H/Ø	γ _c	F	f _c	TR	RE	CONFORMITÀ
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg)	(mm)	(-)	(kN/m³)	(kN)	(N/mm²)	(-)	(-)	(-)
C2	26.03.19	O	Trave 21-22	27.03.19	1,42	94	1,0	21,77	109,90	15,84	A	SI	SI
C1	26.03.19	O	Trave 3-4	27.03.19	1,38	94	1,0	21,15	108,50	15,63	A	SI	SI
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ANNOTAZIONI	Ubicazione: Vedi rapporto di prova 043/19 del 27.03.2019.												
CONFORMITÀ D.M 17/01/2018	Conformità: "SI": ai sensi del §8.5.3 del D.M. 17.01.2018, il prelievo dei campioni in opera è stato effettuato ad opera e sotto la responsabilità dei tecnici sperimentatori della CTM sas di Piccione Rocco & C.; "NO": ai sensi del §8.5.3 del D.M. 17.01.2018, il prelievo dei campioni in opera non è stato effettuato ad opera e sotto la responsabilità dei tecnici sperimentatori della CTM sas di Piccione Rocco & C.												
LISTA ACRONIMI	O: direzione prelievo orizzontale; V: direzione prelievo verticale; Ø: diametro del provino; H: altezza del provino dopo le operazioni di taglio; γ _c : peso specifico; f _c : resistenza a compressione; F: carico massimo a rottura; TR: Tipo di rottura (A: soddisfacente; B: non soddisfacente); RE: Rettifica dopo taglio mediante molatura a cappatura con malta di zolfo; ND: dato non dichiarato.												

RISULTATI PROVA DI TRAZIONE												
PROVINO	DATA PRELIEVO	ϕ Nominale	DATA PROVA	ϕ Effettivo	f_t	f_r	f_t/f_r	f_d/f_m	l_0	l_u	A_{gt}	CONFORMITÀ
(-)	(-)	(mm)	(-)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(%)	(-)
ALLUNGAMENTO												
F2	26.03.19	18	27.03.19	17,98	340,77	488,51	1,43	0,76	100	118,60	18,84	SI
F3	26.03.19	10	27.03.19	10,55	425,86	627,35	1,47	0,95	100	113,90	14,21	SI
F1	26.03.19	10	27.03.19	9,19	542,35	786,41	1,45	1,21	100	108,60	8,99	SI
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ANNOTAZIONI Ubicazione: Vedi rapporto di prova 043/19 del 27.03.2019. CONFORMITÀ D.M 17/01/2018 Conformità: "SI": ai sensi del §8.5.3 del D.M. 17.01.2018, il prelievo dei campioni in opera è stato effettuato ad opera e sotto la responsabilità dei tecnici sperimentatori della CTM sas di Piccione Rocco & C.; "NO": ai sensi del §8.5.3 del D.M. 17.01.2018, il prelievo dei campioni in opera non è stato effettuato ad opera e sotto la responsabilità dei tecnici sperimentatori della CTM sas di Piccione Rocco & C. LISTA ACRONIMI f_t : tensione di snervamento; f_r : tensione di rottura; f_m : tensione caratteristica di snervamento; l_0 : lunghezza tra i riferimenti prima dell'applicazione del carico; ND: dato non dichiarato; l_u : lunghezza tra i riferimenti dopo la rottura del provetto; A_{gt} : allungamento percentuale a carico massimo												

2.9 VALORI ASSUNTI DALLE INDAGINI ESEGUITE

Sulla base dei disegni esecutivi dell'epoca e delle indagini sopra esposte sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Dimensioni geometriche di travi, pilastri e solai in c.a.:

sono state ottenute dal rilievo eseguito in fase preliminare e definitivo verificato e corretto in situ in fase esecutiva col supporto dei disegni esecutivi originali. Tali dimensioni sono riportate negli elaborati grafici.

- Strutture esistenti:

dal progetto originale si desume che il cls utilizzato sia calcestruzzo ad alta resistenza tipo 730, corrispondente ad una resistenza pari a 250 Kg/cmq. Dalla media delle carote delle prove in situ si è ottenuto un valore maggiore di quello disponibile dai disegni del progetto originale e dal collaudo fornito, per cui si è ritenuto che la caratterizzazione meccanica del cls potesse essere fatta con estese prove in situ integrate con i valori di progetto.

Pertanto, le verifiche ante e post intervento sono state eseguite con la media delle caratteristiche meccaniche misurate mediante estrazione di campioni di cls prelevati in situ, su cui sono stati eseguiti di prove a compressione fino a rottura, opportunamente ridotta per tenere in conto delle incertezze dei materiali in opera. Il valore assunto quale f_{cm} (valore della resistenza media a compressione del cls) è stato cautelativamente posto pari a 210 Kg/cmq.

- Barre di armatura:

è stato identificato, sempre dal progetto originale, ferro di armatura Aq.42/50. I dati riportati nel documento di collaudo, come per il cls, hanno trovato riscontro con le prove sui campioni di materiali prelevati in situ; i dati sperimentali hanno fornito $\sigma_{rottura}=3735\text{Kg/cmq}$ e $\sigma_{snervamento}=5513\text{Kg/cmq}$; pertanto quale valore f_{cs} (valore della resistenza media a trazione dell'acciaio) si assume cautelativamente il valore 3200 Kg/cmq per le stesse motivazioni espresse per il cls.

- Si assume quale fattore di confidenza FC il valore pari ad uno, avendo raggiunto un livello di conoscenza LC3.

3. ANALISI ED INDICE DI VULNERABILITA'

3.1 PARAMETRI SISMICI

Come previsto dalle NTC 2008, è stata eseguita l'analisi di risposta sismica locale. Inoltre, dalla relazione di pericolosità sismica, è stata valutata l'azione sismica con riferimento al DM 14/1/2008 con i seguenti parametri principali:

Categoria suolo di fondazione: B

Categoria Topografica: T2

Longitudine Est del sito: 16,385 Latitudine Nord del sito: 39,492

Coeff. smorzam. viscoso equivalente ξ : 0,05

Classe di duttilità: bassa

Regolare in pianta e in altezza: NO

Vita nominale della struttura: ≥ 50 anni Classe d'uso: III

Percentuale eccentricità accidentale centro di massa: 0.05

Periodo di riferimento secondo paragrafo 2.4.3 del DM 14/1/2008. $V_R = V_N \times C_n = 50 \times 1.5 \geq 75$ (classe III).

I parametri di pericolosità sismica a norma NTC 2008 sono i seguenti:

Parametri di Pericolosità Sismica

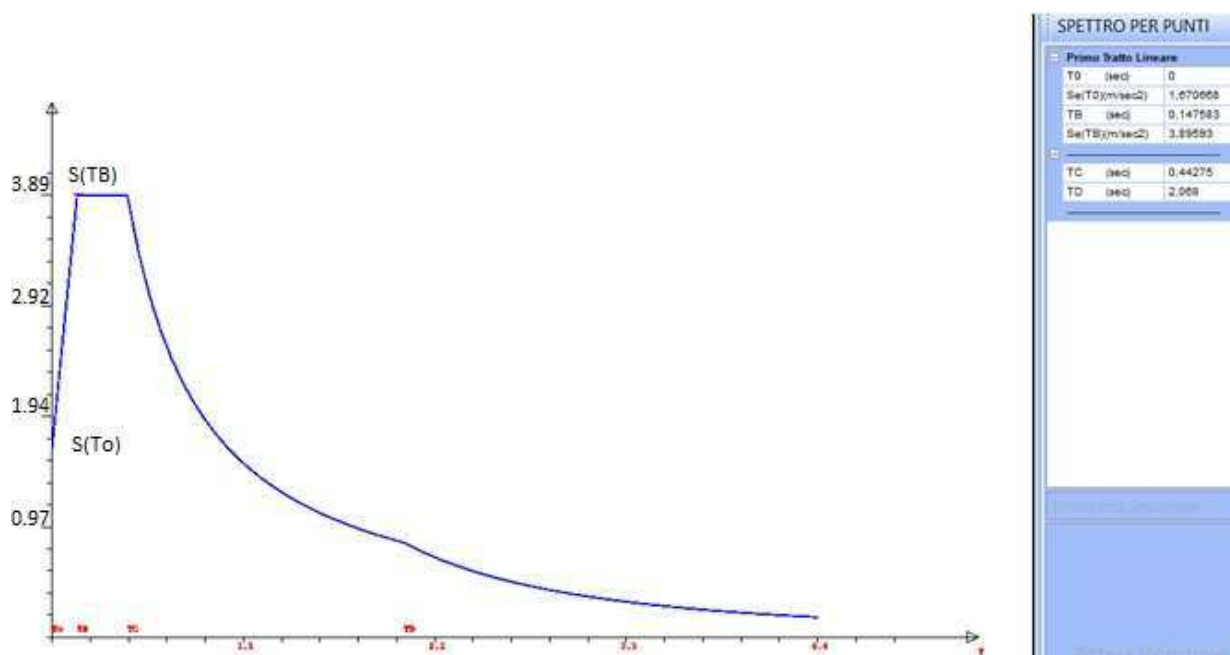
Stato Limite	Tr	$a_g=A_g/g$	F_0	T^*_c
Operatività (SLO)	45	0.09	2.279	0.294
Danno (SLD)	75	0.117	2.297	0.319
Salvag. Vita (SLV)	712	0.323	2.458	0.388
Collasso (SLC)	1462	0.425	2.497	0.42

Di seguito sono riportati i parametri degli spettri SLD, SLV di Risposta sismica locale utilizzati

3.2 Valori caratteristici dello spettro normalizzato per lo stato limite di danno

Amax (m/s ²)	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	PGA (m/s ²)	Ag (m/s ²)	S	F0
3.8959343	0.147583	0.44275	2.068	1.670668857	1.147378	1.456075	2.331961

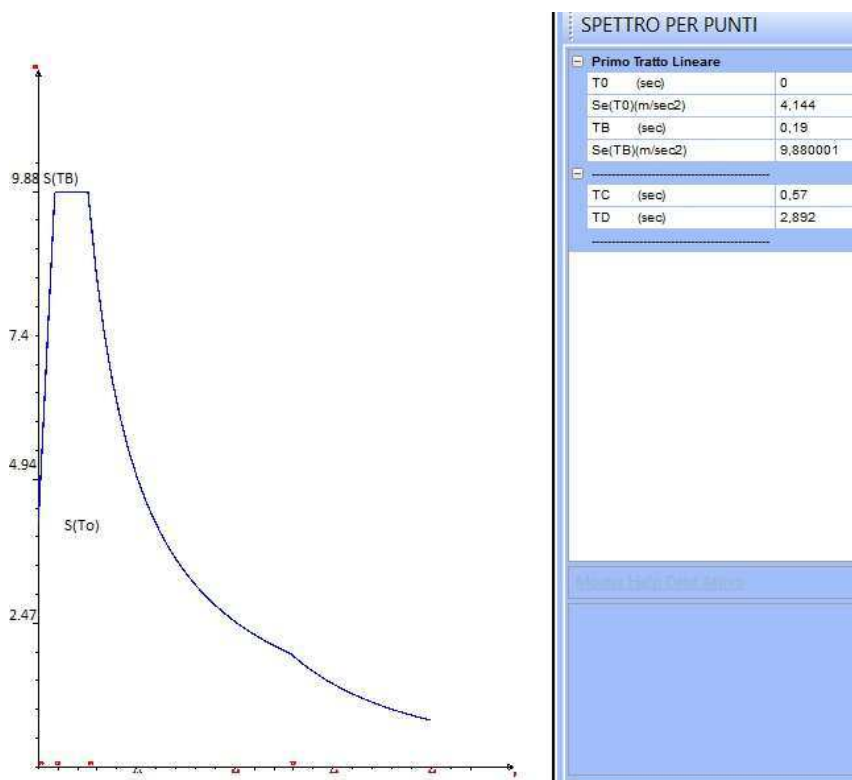
3.3 Spettro normalizzato SLD



3.4 Valori caratteristici dello spettro normalizzato per lo stato limite di salvaguardia della vita

Amax (m/s ²)	Tc (sec)	Tb (sec)	Td (sec)	PGA (m/s ²)	Ag (m/s ²)	S	F0
9.880844998	0.570606	0.190202	2.892	4.144312286	3.167548	1.308366	2.384194

3.5 Spettro SLV normalizzato



3.6 Livello di Sicurezza e Verifiche di Vulnerabilità

Considerando il livello di conoscenza raggiunto (LC3), ed i risultati della risposta sismica locale si è scelto di operare nel seguente modo:

- 1- analisi lineare dinamica con fattore di struttura pari a 2,76 per meccanismi duttili (assumendo il massimo valore per struttura irregolare in pianta ed in altezza) e pari ad 1,5 per meccanismi fragili escludendo la gerarchia delle resistenze, per le verifiche di vulnerabilità ante operam;
- 2- analisi non lineare tipo push over sia per meccanismi fragili che duttili per le aste in elevazione (travi e pilastri), per le verifiche post operam;
- 3- analisi lineare dinamica con fattore di struttura pari a 2,76 per meccanismi duttili e pari ad 1,5 per meccanismi fragili, per verificare in campo elastico le aste in fondazione. L'assunzione del fattore di struttura 2,76, in questo caso, è giustificato dalla analisi non lineare di cui al punto 2 i cui risultati push-over hanno fornito valori di $q > 2,76$.

I livelli di Sicurezza ottenuti dai calcoli sono:

- per la struttura non adeguata (calcolo di verifica effettuato con back analysis) $0,01/0,322 = \alpha = 0.031$
- per la struttura adeguata $\alpha = 1,329$.

4. PROPRIETA' DEI MATERIALI CLS ed ACCIAIO ALLO STATO ATTUALE

Per la verifica delle strutture esistenti secondo i dati forniti dalle prove meccaniche e dal progetto originale si considera la seguente classe di calcestruzzo:

CALCESTRUZZO IN FONDAZIONE-ELEVAZIONE E PILASTRI

Classe calcestruzzo – da provini

	<i>fck</i>	<i>fcd</i>	<i>rcd</i>
	----- <i>kg/cm²</i> -----		
<i>Travi in elevazione</i>	210,0	119,0	119,0
<i>Travi in fondazione</i>	210,0	119,0	119,0
<i>Pilastri</i>	210,0	119,0	119,0

Per la verifica delle strutture esistenti secondo i dati forniti dalle prove meccaniche e dal progetto originale si considera per le barre di armatura acciaio:

BARRE DI ARMATURA IN FONDAZIONE-ELEVAZIONE E PILASTRI

Classe acciaio – da provini

	<i>f_{yk}</i>	<i>f_{yd}</i>
	----- <i>kg/cm²</i> -----	
<i>Travi in fondazione</i>	3200	2782
<i>Travi in elevazione</i>	3200	2782
<i>Pilastri</i>	3200	2782

5. CARICHI AGENTI

5.1 ANTE OPERAM

Si assumono i seguenti valori per i materiali costituenti le strutture ed i materiali portanti :

$\gamma_{cls} = 2400 \text{ kg/cm}^3$ $\gamma_{c.a.} = 2500 \text{ kg/cm}^3$ $\gamma_{acciaio} = 7850 \text{ kg/cm}^3$.

I carichi agenti sulla struttura sono stati assunti secondo quanto riportato nel progetto originale (tav. calcolostruttureinc.a.), inlineaquantoprevistodallanormativavigenteall'epocadirealizzazione. In particolare sulla struttura sono stati considerati agenti i seguenti carichi verticali (pesi propri e sovraccarichi permanenti + sovraccarichi accidentali) secondo il seguente schema:

ambienti scolastici

peso proprio solaio:	325kg/mq
peso permanente:	250kg/mq
accidentale:	300 kg/mq

solaio di copertura

peso proprio solaio:	325kg/mq
peso permanente:	100kg/mq
accidentale:	100 kg/mq

5.2 POST OPERAM

I carichi agenti sulle strutture sono stati assunti secondo quanto prescritto dalla normativa vigente, in particolare dal D.M. 14-01-2008 "Norme tecniche per le costruzioni" al capitolo 3.1. e al capitolo 8.5.5.

ambienti scolastici

peso proprio solaio:	325kg/mq
peso permanente:	250kg/mq
accidentale:	300 kg/mq

solaio di copertura

peso proprio solaio:	325kg/mq
peso permanente:	100kg/mq
accidentale:	50 kg/mq

solaio in legno lamellare

peso proprio solaio:	60kg/mq
peso permanente:	50kg/mq
accidentale:	70 kg/mq

Dopo aver effettuato la verifica ai soli carichi statici, è stato, quindi, condotto lo studio di vulnerabilità a mezzo di una back-analysis dinamica. Avendo raggiunto un tempo di ritorno pari a 30 anni senza ottenere le dovute verifiche delle aste, è stato necessario scalare rigidamente lo spettro ottenuto dalla RSL fino ai valori allo SLV di ag/g pari a 0,01. Il rapporto tra ag/g di verifica uguale a 0,01 e quello di RSL pari a 0,322, **ha fornito il valore α di vulnerabilità sismica, ottenuto quale rapporto tra capacità e domanda e, pertanto, pari a 0,031.**

6. PROGETTO DI ADEGUAMENTO

Secondo quanto previsto dalla normativa, le strutture soggette a verifica sono state modellate tridimensionalmente secondo le effettive distribuzioni di massa, rigidità e resistenza. Le rigidità delle tamponature non sono state considerate tali da contribuire alla rigidità e alla resistenza del sistema strutturale. Gli orizzontamenti, solai laterocementizi di 24 cm di spessore con soletta collaborante, sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano. Il progetto di adeguamento dell'Auditorium è stato eseguito mediante un'analisi sismica statica non lineare di tipo push-over considerato il livello di conoscenza raggiunto (LC3).

L'analisi push-over è un'analisi statica incrementale non lineare effettuata per forze orizzontali monotonamente crescenti.

I livelli di Sicurezza ottenuti dai calcoli sono:

-per la struttura adeguata **$\alpha=1,329$.**

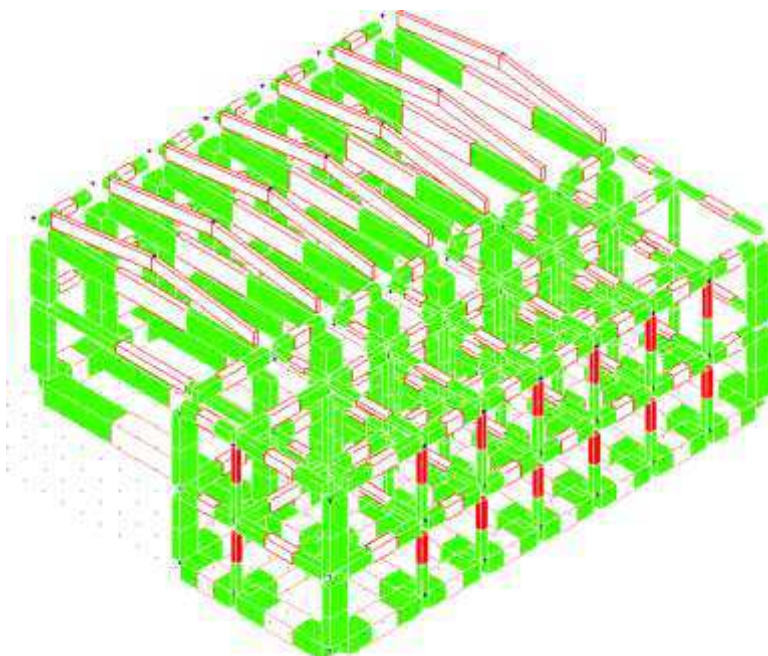
6.1 Strutture in Elevazione

Il "corpo auditorium", allo stato attuale, presenta pilastri 30x90÷110 orientati nella sola direzione Y di ingresso del sisma; ciò comporta elevatissima rigidità in tale direzione e rigidità di molto inferiore nella direzione X.

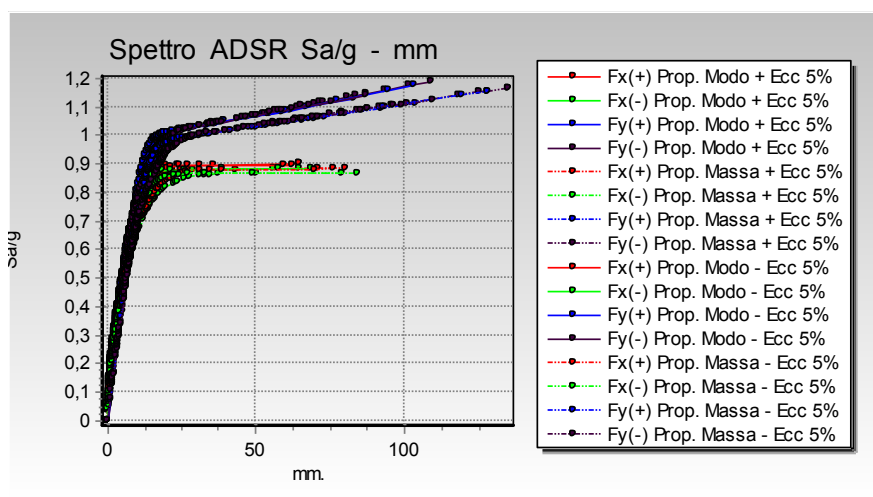
Gli interventi progettati, atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle norme vigenti cioè mirati ad ottenere dei livelli prestazionali prefissi per "l'adeguamento", così come definito al capitolo 8 del D.M. 14.01.08, sono i seguenti:

- ✓ confinamento dei nodi trave-pilastro (Circolare 617/2009 § C8.7.2.5), mediante l'utilizzo di materiali compositi in FRP;
- ✓ interventi di tipo tradizionale quali l'aumento di sezione di pilastri;

- ✓ demolizione della copertura a due falde del corpo “Auditorium” realizzata con solai latero cementizi posti su pilastri in c.a. in falso realizzati sulle travi 30x100 di sotto copertura dello stesso Auditorium e ricostruzione della copertura con una struttura leggera di tipo lamellare;
- ✓ demolizione e ricostruzione della struttura monopiano in acciaio antistante l’Auditorium.



*Interventi di adeguamento del “corpo auditorium”
(In rosso nodi confinati con FRP)*



*Curve di Capacità del “corpo auditorium”
(valori di Sa/g e Capacità dopo gli interventi di adeguamento e verifica SLE e SLU)*

Per maggiori dettagli si vedano gli appositi elaborati di progetto esecutivo.

6.2 Strutture in Fondazione

Dopo avere modellato l’edificio e condotto lo studio di adeguamento sopra descritto in campo non lineare delle aste in elevazione, secondo quanto previsto dalla normativa, per l’adeguamento delle fondazioni del

“corpo Auditorium”, è stata condotta un’analisi elastica lineare in campo elastico.

La verifica, condotta ha evidenziato carenza di armatura a taglio e di armatura longitudinale.

È stato quindi necessario aumentare la sezione e l’armatura delle travi di fondazione non verificate fino alla verifica delle sezioni in campo elastico secondo quanto previsto dalle NTC 2008.

Successivamente, sempre in campo lineare, è stata inoltre condotta la verifica geotecnica di portanza, utilizzando la seguente stratigrafia riportata dal dott. Carmine Nigro in Relazione Geologica

RICOSTRUZIONE DEI CARATTERI STRATIGRAFICI, LITOLOGICI, GEOTECNICI E SISMOSTRATIGRAFICI

Litologia	Descrizione	Spessore strato (m)	Profondità (m)	SISMOSTRATIGRAFLA (m)	Vs (m/s)	C (kPa)	φ	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)
SABBIA	Sabbia ghiaiosa limosa	8.00	-8.00	-2.00	270	2.2	27/33	18.82	26.80
				-5.00	300				
				-8.00	450				
GRANITO	Graniti fortemente alterati	18.00	-26.00	-17.00	520	--	36	25.00	25.00
				-26.00	600				
GRANITO	Graniti	5.00	>di -35.00	-35.00	600	--	38	25.00	25.00
				>-35.00	850				

Tale stratigrafia ha fornito un valore Vs30 , misurata al di sotto del piano di fondazione di 80 cm, pari a 488,45 e quindi fornito un suolo di tipo B.

Per le verifiche di portanza e cedimenti a vantaggio di sicurezza nella stratigrafia sono stati assunti i seguenti parametri

Peso Specifico: 1800 Kg/mc
Angolo d’attrito: 27°
Coesione: 0 Kg/cmq
Modulo elastico: 2500 Kg/cmq
Modulo edometrico : 250 Kg/cmq

Le verifiche di resistenza sono riportate nei tabulati di calcolo.

Le verifiche di portanza e cedimenti sono riportate nella relazione geotecnica.

6.3 4.3 PROPRIETA' DEI MATERIALI CLS ed ACCIAIO PER L'ADEGUAMENTO

Per le strutture in c.a. realizzate in opera per il ringrosso di pilastri e di fondazioni, tenendo conto della classe di calcestruzzo esistente assunta pari a 210 kg/cmq, anche se per l’aumento delle sezioni si è considerato un cls di classe C35-45, tenendo conto dell’omogeneizzazione dei due getti, si è progettato con i seguenti materiali a vantaggio di sicurezza:

CALCESTRUZZO e ACCIAIO per c.a.

	fck /Rck	fcd	rcd	fyk	fyd
	----- kg/cmq -----				
Pilastri	C25/30	141,0	141,0	4500	3913
Fondazioni	C25/30	141,0	141,0	4500	3913

In fase esecutiva per il ringrosso dei pilastri sarà utilizzato un conglomerato cementizio autocompattante SCC fornito e posto in opera, a resistenza caratteristica e conforme alla norma UNI 9858; dimensione massima degli inerti pari a 16 mm, classe di lavorabilità autocompattante SCC (senza necessità della vibrazione) classe di esposizione XC1-XC2 classe: C35-45 (vedi *particolare lavorazione nelle relative tavole esecutive*) ed ACCIAIO PER C.A. tipo B450C.

Per il ripristino del copriferro (fino a 5 cm di spessore), è previsto l'impiego di calcestruzzo con elevate resistenze meccaniche a compressione anche alle brevi stagionature ottenuto per mc da una miscela di 1600 kg di legante cementizio espansivo superfluido (per ottenere boiacche da iniezione, malte, betoncini e calcestruzzi), 400 kg di ghiaietto 0-15 mm, 200 litri di acqua. La malta dovrà rispondere ai requisiti della UNI EN 1504-3:2006 "Riparazione strutturale e non strutturale" ed essere classificata, pertanto, di classe R4.

Per l'inghisaggio di barre di armatura e/o di barre filettate, saranno usate resine epossidiche rispondenti alle norme UNI EN 1504-6:2007 "Ancoraggio dell'armatura di acciaio".

Per le strutture in acciaio, è previsto l'impiego del seguente materiale:

ACCIAIO PER CARPENTERIA

Tipo S275JR (Fe430B)

6.4 MATERIALI COMPOSITI PER IL RINFORZO STRUTTURALE

Per l'applicazione dei materiali compositi sarà impiegato:

Tessuto quadri assiale in fibra di carbonio ad alta resistenza 760

Grammatura: 760 g/mq

Spessore equivalente di tessuto secco: 0,106 mmq/m Area resistente per unità di larghezza: 106,1 mmq/m

Resistenza meccanica a trazione: > 4800 MPa

Carico massimo per unità di larghezza: > 500 kN/m Modulo elastico a trazione: 230 GPa Allungamento a rottura: 2,1%

Adesione al calcestruzzo: > 3 MPa (rottura del supporto)

Tessuto unidirezionale in fibra di carbonio ad alta resistenza

Grammatura: 300 g/mq

Spessore equivalente di tessuto secco: 0,166 mmq/m Area resistente per unità di larghezza: 166,6 mmq/m

Resistenza meccanica a trazione: 4830 MPa

Carico massimo per unità di larghezza: > 800 kN/m Modulo elastico a trazione: 230 GPa Allungamento a rottura: 2%

Adesione al calcestruzzo: > 3 MPa (rottura del supporto)

LEGNO PER COPERTURA AUDITORIUM

La copertura del corpo "Auditorium" si presenta in parte piana in parte a falde. In particolare, i piani inclinati sono stati ottenuti mediante la realizzazione di solai gravanti su pilastri in c.a. in falso sulle travi dell'ultimo impalcato dell'auditorium. Tale configurazione è assolutamente sconsigliata e non conforme alle NTC 2008.

Pertanto, si è scelto di modificare il sistema di copertura con una struttura in legno lamellare con travi a campata unica, solidarizzate direttamente sui pilastri ringrossati, più leggera e di maggiore pregio architettonico.

Per le strutture in legno lamellare utilizzate per la realizzazione della copertura dell'auditorium, si prevede l'impiego dei seguenti materiali:

LEGNO LAMELLARE

- travi in legno lamellare di abete rosso secondo norma UNI EN 14080 classe di resistenza: GL24h; caratteristiche di qualità: qualità a vista
- ferramenta di collegamento legno-legno e legno-c.a..
- lavorazione della struttura con centro di lavoro a controllo numerico, abilitazione ministeriale rilasciata dal servizio tecnico centrale del consiglio superiore dei lavori pubblici.
- tavolato in legno di abete qualità a vista con incastro m/f dello spessore di mm 20.
- trattamento protettivo travi e tavolato eseguita con 1 ciclo di Amonn Wasserlasur

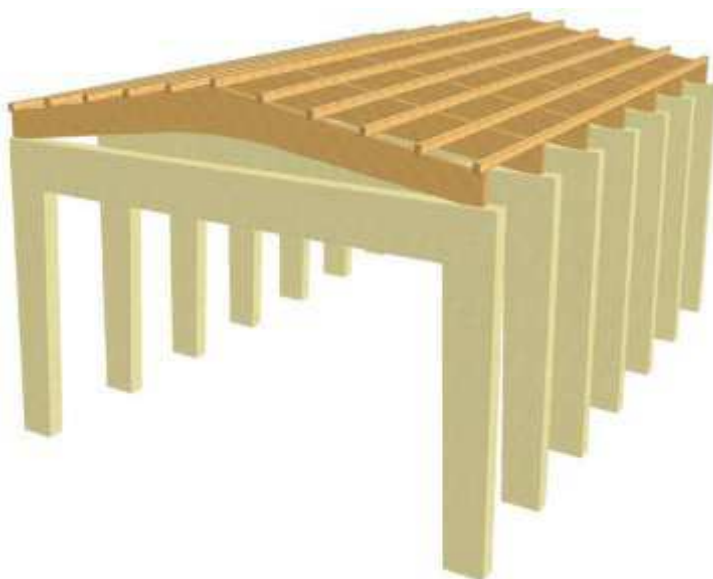
ELEMENTI DI COPERTURA

- telo freno vapore Vapor 150 TT (150 g/mq) con striscia adesiva
- coibentazione termica dello spessore totale di mm 60 composta da pannelli in Lana di roccia Rockwool Durock Energy doppia densità kg/mc 130/210
- listelli in legno di abete mm 40x60 per contorno isolante, con ferramenta per il fissaggio
- listelli in legno di abete mm 40x60 per posa lamiera

I particolari esecutivi sono riportati nelle relative tavole progettuali.



Particolare copertura esistente



Schema della copertura in legno lamellare

7. STRUTTURA IN ACCIAIO MONOPIANO ANTISTANTE AUDITORIUM

E' stata condotta un'analisi dinamica lineare delle strutture in acciaio (coperture bagni auditorium) nella condizione attuale. Le strutture, probabilmente successive alla realizzazione del complesso, non presentano i valori di sicurezza necessari e pertanto saranno demolite e ricostruite con profili di acciaio per carpenteria Tipo S275JR (Fe430B).

8. GIUNTI SISMICI

Le verifiche eseguite sulle strutture nella loro configurazione post intervento hanno evidenziate che i giunti esistenti risultano idonei ad assorbire gli spostamenti durante il verificarsi di eventi sismici (anche per sisma relativo allo S.L.D.), secondo le prescrizioni delle normative vigenti.

Attraverso le stampe dei tabulati del codice di calcolo utilizzato sono stati controllati gli spostamenti massimi S.L.U. di ciascun nodo della struttura per tutte le combinazioni sismiche considerate in fase di calcolo, nelle due direzioni X e Y e come modulo del vettore spostamento.

In particolare è stato quindi verificato che la somma in valore assoluto degli spostamenti ultimi (riportati nella relazione di calcolo strutturale di ciascun edificio) dei nodi afferenti al giunto sismico non supera il valore rilevato in sito per il giunto stesso, e pertanto è stato verificato che l'ampiezza del giunto è sufficiente ad evitare problemi di martellamento tra le strutture adiacenti.

È stato inoltre verificato che la misura dei giunti rispetta le prescrizioni normative delle NTC §7.7.2..



Giunto Tecnico

Le verifiche eseguite per il giunto tra il corpo “aule” e il corpo “auditorium” sono riportate negli allegati esecutivi. In allegato “Relazione tecnica per la verifica dei giunti sismici”.

9. Verifica di scorrimento tra calcestruzzo vecchio e nuovo

Il rinforzo degli elementi strutturali in c.a. sarà effettuato inserendo nuove armature ed aumentando le sezioni in calcestruzzo. L’esito delle operazioni è legato alla trasmissione degli sforzi fra materiali esistenti e materiali nuovi: le verifiche di resistenza si effettuano proprio tenendo conto di questi meccanismi di trasmissione.

All’interfaccia tra calcestruzzo nuovo ed esistente si instaurano degli sforzi di taglio che possono trasmettersi:

- per coesione;
- per attrito;
- per l’azione perno esercitata da armature perpendicolari all’interfaccia.

La trasmissione per coesione e per attrito non è attendibile e pertanto, si ricorre all’impiego di connettori disposti ortogonalmente alla direzione dello sforzo da trasmettere ovvero perpendicolarmente al piano di scorrimento fra calcestruzzo vecchio e nuovo.

Nello specifico, le barre d’armatura metallica devono essere in grado di trasmettere la forza di scorrimento tra calcestruzzo vecchio e nuovo trascurando l’effetto dell’aderenza tra le due parti .

In analogia a quanto previsto per le sezioni composte acciaio-calcestruzzo, al fine di verificare tali elementi, è possibile riferirsi alle formule riportate al par. 4.3.4.3 del D.M. 14 gennaio 2008.

La resistenza di calcolo a taglio può essere assunta pari al minore dei seguenti valori:

$$P_{Rd,a} = 0,8 f_t (\pi d^2 / 4) / \gamma_v \quad (4.3.7)$$

$$P_{Rd,c} = 0,29 \alpha d^2 (f_{ck} E_c)^{0,5} / \gamma_v \quad (4.3.8)$$

dove:

γ_v è il fattore parziale definito al par. 4.3.3;

f_t è la resistenza a rottura dell’acciaio del connettore;

f_{ck} è la resistenza cilindrica del calcestruzzo;

d è il diametro del connettore;

α è l’altezza del connettore, non minore di 3 volte il suo diametro

$$\alpha = 0,2 (h_{sc} / d + 1) \text{ per } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4, \quad (4.3.9 a)$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{per} \quad h_{sc} / d > 4. \quad (4.3.9 b)$$

Si ottiene:

$P_{Rd,a}$	27143,36	
f_t	540,00 N/mm ²	Resistenza a rottura dell'acciaio del connettore
d	10,00 mm	Diametro del connettore
γ_v	1,25	Fattore parziale connessioni (par. 4.3.3)
$P_{Rd,c}$	20091,79	
α	1,00	Per $h_{sc}/d > 4$
d	10,00 mm	Diametro del connettore
f_{ck}	25,00 N/mm ²	Resistenza cilindrica del cls
E_c	30000,00 N/mm ²	Modulo elastico
γ_v	1,25	Fattore parziale connessioni (par. 4.3.3)

Il minore dei valori è rappresentato da $P_{Rd,c} = 20091,79 \text{ N} = 200,92 \text{ kN}$.

Il valore ottenuto va confrontato con la massima sollecitazione agente nell'elemento.

Dal rapporto tra $P_{Rd,c}$ e V_{Rcd} , si ottiene il numero totale minimo di connettori da disporre nella luce di taglio per soddisfare la verifica a scorrimento. Essendo, tali connettori, disposti in numero pari a sei per ogni sezione e con passo 15 cm, si può ricavare il numero di file e di conseguenza la lunghezza di trave minima necessaria.

$V_{Rcd, \text{corpo A}}$	320000,00 N	Sollecitazione massima di taglio (vedi Allegato A)
	16 n	Numero totale
	3 n	Numero totale/6
	0,4 m	Lunghezza minima necessaria (luce di taglio)

La lunghezza minima necessaria appena calcolata va raddoppiata e confrontata con la lunghezza di ogni trave di fondazione. Risulta che ogni trave di fondazione abbia una lunghezza superiore a quella necessaria per il soddisfacimento delle verifiche a scorrimento (esito verifiche: positivo).

Il Progettista
Ing. Sergio Pagano

INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	NORMATIVA DIRIFERIMENTO	2
2.1	ATTIVITÀ PRELIMINARI	2
2.2	CARATTERIZZAZIONE DEL SISITEMA STRUTTURALE ESISTENTE	2
2.3	LIVELLO DI CONOSCENZA	2
2.4	IL PROGETTO ORIGINALE	3
2.5	INDAGINI DIAGNOSTICHE E LIVELLO DICONOSCENZA	3
2.6	INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO PRELIMINARE	4
2.7	INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO ESECUTIVO 2011 UTILIZZATE NEL DEFINITIVO 2017	6
2.8	INDAGINI ESEGUITE NEL PROGETTO ESECUTIVO 2019	7
2.9	VALORI ASSUNTI DALLE INDAGINI ESEGUITE	8
3.	ANALISI ED INDICE DI VULNERABILITA'	8
3.1	PARAMETRI SISMICI.....	8
3.2	Valori caratteristici dello spettro normalizzato per lo stato limite di danno	9
3.3	Spettro normalizzato SLD	9
3.4	Valori caratteristici dello spettro normalizzato per lo stato limite di salvaguardia della vita	9
3.5	Spettro SLV normalizzato	10
3.6	Livello di Sicurezza e Verifiche di Vulnerabilità	10
4.	PROPRIETA' DEI MATERIALI CLS ed ACCIAIO ALLO STATO ATTUALE.....	10
5.	CARICHI AGENTI.....	11
5.1	ANTE OPERAM	11
5.2	POST OPERAM	11
6.	PROGETTO DI ADEGUAMENTO	12
6.1	Strutture in Elevazione	12
6.2	Strutture in Fondazione.....	13
6.3	4.3 PROPRIETA' DEI MATERIALI CLS ed ACCIAIO PER L'ADEGUAMENTO.....	14
6.4	MATERIALI COMPOSITI PER IL RINFORZOSTRUTTURALE	15
	Tessuto unidirezionale in fibra di carbonio ad alta resistenza	15
7.	STRUTTURA IN ACCIAIO MONOPIANO ANTISTANTE AUDITORIUM.....	17
8.	GIUNTI SISMICI	17
9.	Verifica di scorrimento tra calcestruzzo vecchio e nuovo.....	18