



ORDINE degli INGEGNERI della
PROVINCIA di NAPOLI

arkeda MOSTRA • CONVEGNO
DELL'ARCHITETTURA, EDILIZIA, DESIGN & ARREDO
NAPOLI 28/29/30 NOVEMBRE 2014 MOSTRA D'OLTREMARE

*Lectio Magistralis del
prof. ing. Renato Sparacio*

LA CULTURA dell'INGEGNERE nel PROGETTO di RIPARAZIONE e CONSOLIDAMENTO degli EDIFICI STORICI

Il progetto di miglioramento sismico dell'essedra Vanvitelliana
della Reggia di Caserta

Sparacio & Partners s.r.l.

*Prof. ing. Renato Sparacio
Dr. ing. Carmine Sangiuliano
Dr. ing. Federica Sparacio*

GLI OBIETTIVI

Rifunzionalizzazione dell'edificio di proprietà demaniale Esedra Vanvitelliana, denominato ex Caserma Pollio da destinare a sede dell'Archivio di Stato



Dal punto di vista strutturale il fine dello studio è stato quello di:

- *valutare se la nuova destinazione d'uso (Archivio di Stato) sia compatibile con le capacità portanti della struttura;*
- *valutare se sia necessario procedere ad aumentare la capacità portante delle diverse parti strutturali;*
- *verificare i livelli di sicurezza statica e sismica raggiunti con gli interventi proposti.*



1. Valutazione della Sicurezza, ai sensi del DM 14/01/08
2. Definizione di un complesso di interventi per il miglioramento sismico del complesso

GLI OBIETTIVI

Oggetto:		Verifica di vulnerabilità e miglioramento sismico complesso Esedra Vanvitelliana - Reggia di Caserta
Servizio:		Valutazione della sicurezza e miglioramento sismico
Committente:		Provveditorato OO.PP. Campania e Molise
Anno:		2012 - 2013
Importo lavori:	€	16.000.000,00 circa - di cui 4.800.000,00 Ig
Volume complessivo:	mc	40.000,00 circa
Superficie piano tipo:	mq	2.150,00 circa
Tipologia costruttiva		Edificio in muratura vincolato ai sensi 42/2004
Classe d'uso (2.4.2. NTC08)		III
Proposta per l'adeguamento:		Tecniche tradizionali di miglioramento sismico

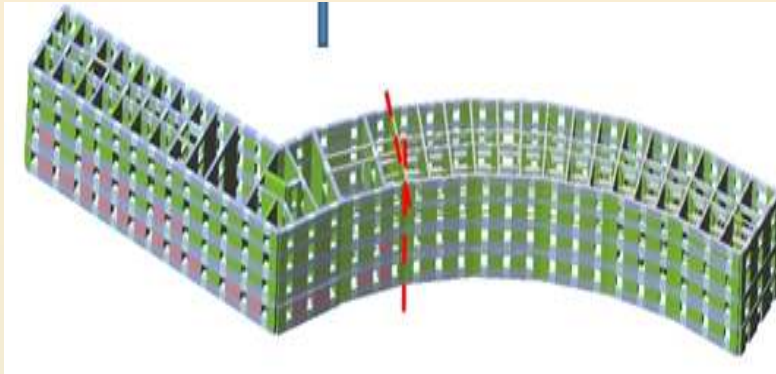
**PROGETTAZIONE INTEGRATA GENERALE:
PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA:**

**UFFICIO TECNICO PP.OO. CASERTA
PROF. ING. FLAVIO FUCCI**



METODOLOGIA di APPROCCIO – LE FASI

Edificio da valutare



FASE 1 – Conoscenza del manufatto

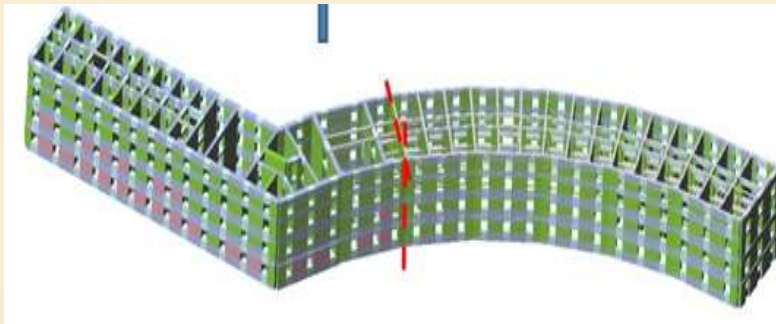
- 1.1. *Raccolta documentazione tecnico-amministrativa;*
- 1.2. *Ricerca storico-documentale sulle vicende costruttive;*
- 1.3. *Rilievo geometrico e strutturale dell'immobile;*
- 1.4. *Rilievo fotografico;*
- 1.5. *Rilievo del quadro fessurativo;*
- 1.6. *Analisi del degrado e Valutazione dello stato manutentivo;*
- 1.7. *Analisi degli elementi "secondari";*
- 1.8. *Valutazione della efficienza degli impianti (per edifici Classe III)*

FASE 2 – Indagini sperimentali

- 2.0.A. *Definizione di una campagna di indagine basata su tipologia ed impostazione strutturale, materiale ed epoca di costruzione, conoscenza documentale, accessibilità dei luoghi, Livello di Conoscenza "obiettivo".*
- 2.0.B. *Definizione di un Piano di Esecuzione delle Indagini che valuti interferenze con utilizzo delle aree, tempistica di esecuzione, categorie di rischio.*

METODOLOGIA di APPROCCIO – LE FASI

Edificio da valutare



FASE 2 – Indagini sperimentali



Scelta del Livello di Conoscenza

INDAGINI SUI TERRENI e FONDAZIONI

- 2.1. *Caratterizzazione stratigrafica dei suoli;*
- 2.2. *Caratterizzazione sismica dei terreni fondali;*
- 2.3. *Determinazione della tipologia fondale.*

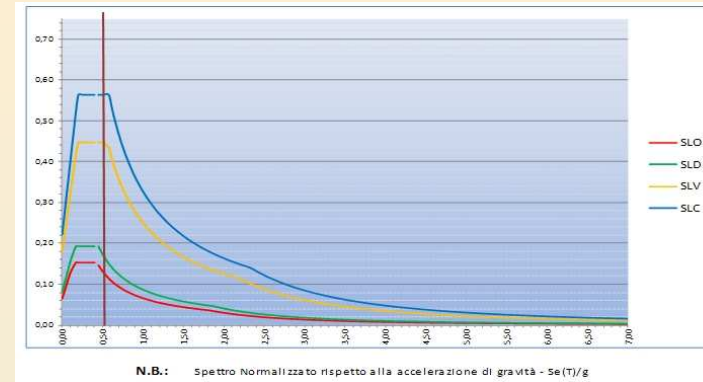
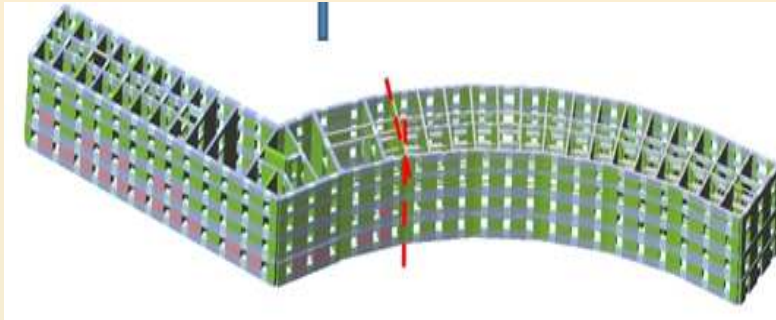
INDAGINI SUI MATERIALI

- 2.4. *Caratterizzazione meccanica dei materiali;*
- 2.5. *Esecuzione di prove non distruttive di taratura;*
- 2.6. *Esecuzione di prove distruttive di valutazione;*
- 2.7. *Esecuzione di prove di carico (ove necessarie)*

INTERPRETAZIONE delle PROVE

- 2.8. *Elaborazione dei certificati di prova;*
- 2.9. *Descrizione delle teorie interpretative delle prove;*
- 2.10. *Definizione dei parametri meccanici di calcolo;*
- 2.11. *Relazione sulle indagini.*

Edificio da valutare



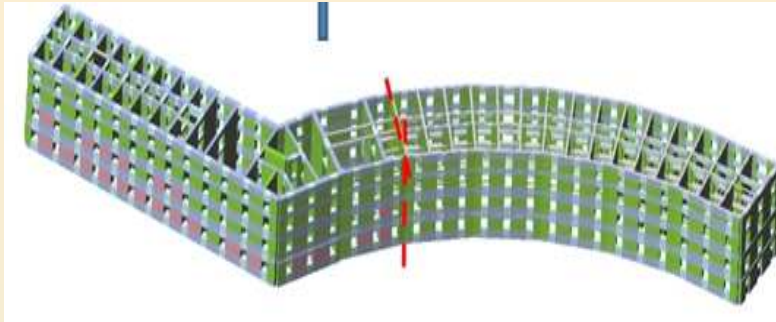
FASE 3 – Modellazione strutturale

- 3.1. Definizione dei parametri di spettro;
- 3.2. Scelta degli Stati Limite di verifica;
- 3.3. Analisi di “regolarità” geometrica e strutturale;
- 3.4. Individuazione di elementi “secondari” di rilievo.

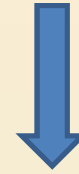
- 3.5. Analisi dei carichi e delle azioni sismiche;
- 3.6. Implementazione di un progetto simulato per la valutazione statica allo “stato di fatto”.
- 3.7. Valutazione delle condizioni per sola combinazione gravitazionale;

METODOLOGIA di APPROCCIO – LE FASI

Edificio da valutare



FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



4.1. Modellazione F.E.M. del complesso tridimensionale.



- 4.2.** Analisi preliminare della risposta sismica del fabbricato;
- 4.3.** Valutazione dei criteri di ammissibilità del metodo di analisi;
- 4.4.** Scelta del metodo di analisi sismica.

Analisi statica con Metodo dei macroelementi

Statica non lineare

Analisi dinamica lineare con metodo telaio equivalente

- 4.5.** Verifiche di vulnerabilità dei singoli elementi (maschi e fasce);
- 4.6.** Valutazione della possibilità di meccanismi locali;
- 4.7.** Valutazione degli indicatori di rischio I_r locali e globali;



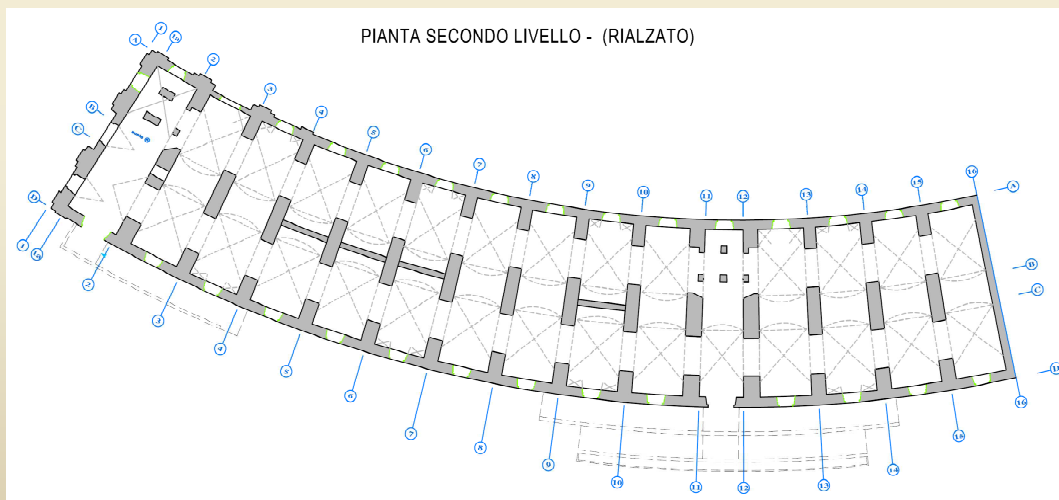
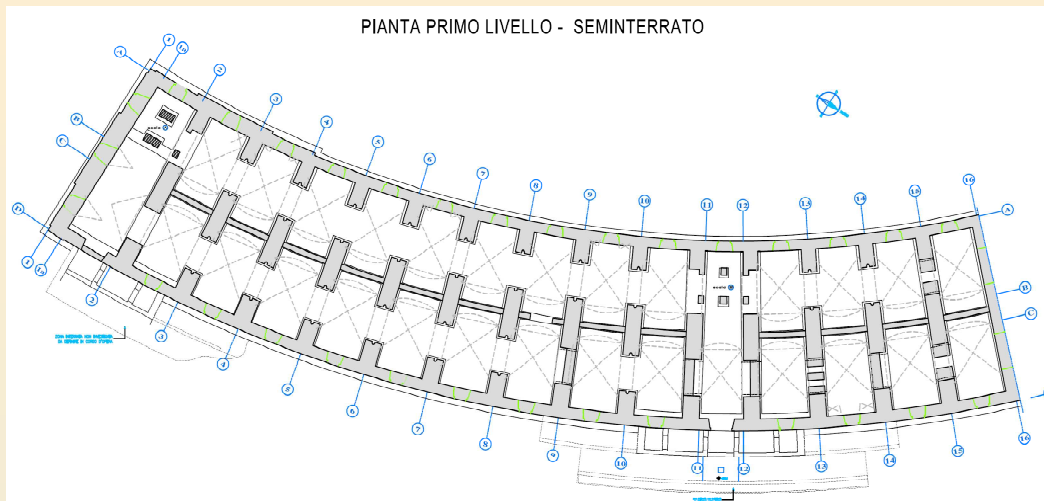
FASE 5 – IPOTESI di INTERVENTO STRUTTURALE di MIGLIORAMENTO



La Normativa adottata

- D.M. 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Circolare 617/09 “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/08”.
- Linee Guida per la riparazione ed il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni. Dip. Protezione Civile – ReLuis. Agosto 2009;
- Linee Guida Modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili. – Dip. Protezione Civile – ReLuis;
- Linee Guida per il rilievo, l’analisi ed il progetto di interventi di consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato.
- D.P.C.M. 12/10/2007 Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio edilizio con riferimento alla Norme Tecniche per le Costruzioni.

FASE 1 – Conoscenza del manufatto

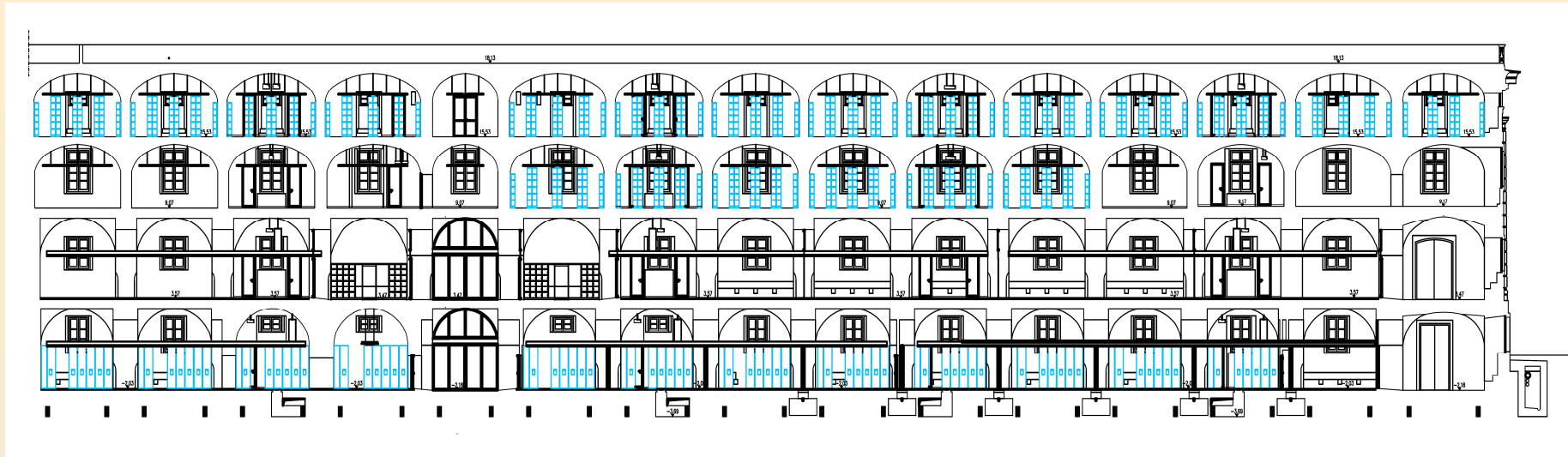


- tutti i livelli dell'edificio sono realizzati in muratura di tufo giallo napoletano e grigio campano;
- al piano seminterrato la muratura è listata con mattoni pieni;
- le murature presentano spessori differenti ai vari livelli, da un minimo di circa 0,60 m all'ultimo livello ad un massimo di 2,00 m al piano seminterrato;
- sono presenti incatenamenti della parete di testata mediante tiranti in acciaio;
- si rilevano interventi di consolidamento effettuati di recente che hanno interessato buona parte delle pareti murarie e delle volte. Tali interventi consistono nelle iniezioni non armate delle pareti murarie, nella cucitura dei cantonali con barre in acciaio, realizzazione di cappe armate e di cordoli perimetrali in corrispondenza di tutti gli impalcati.

FASE 1 – Conoscenza del manufatto



FASE 1 – Conoscenza del manufatto



- *nella quasi totalità dei volumi le superfici interne appaiono spicconate, mentre quelle esterne presentano ancora la finitura.*
- *al quarto livello (piano secondo)diversi ambienti presentano in opera il basolato di finitura.*
- *non appaiono segni evidenti di lesioni né quadri fessurativi significativi. Fanno eccezione alcuni architravi in muratura delle aperture sui prospetti esterni, la facciata di testata che presenta segni di movimento ribaltante verso l'esterno ed un pilastro in muratura a sostegno della prima rampa della scala centrale con presenza di segni di schiacciamento.*

FASE 2 – Indagini sperimentali

Sulla muratura sono state eseguite le seguenti indagini:

- **28** stratigrafie su murature portanti per determinare la tipologia e lo spessore dell'apparecchiatura muraria;
- **32** carotaggi per individuare gli spessori e la tipologia delle volte con almeno due saggi per volta (in chiave ed alle reni);
- **31** prelievi di carote $\varnothing 100$ su muratura;
- **5** prove di schiacciamento in laboratorio di carote $\varnothing 100$;
- **8** prove con martinetti piatti doppi, per la caratterizzazione meccanica della muratura;
- **6** prove con martinetti singoli per definire la tensione di esercizio dei maschi murari;
- verifica e dettagli costruttivi quali presenza di cordoli, grado di ammorsatura dei cantonali, tipologia costruttiva delle scale;
- **6** carotaggi in fondazione effettuati in direzione sub-verticale per definire la quota d'imposta della struttura di fondazione;
- sondaggio geognostico spinto a quota -25m comprensivo di 3 SPT di cui una a quota del piano di posa delle fondazioni;
- prova di caratterizzazione sismica del suolo la caratterizzazione della categoria di suolo ai sensi del DM 14/01/2008.

Sulle porzioni in c.a. si sono rese necessarie le indagini di seguito indicate:

- **16** prelievi di microcarote $\varnothing 100$ per prove di schiacciamento;
- **42** indagini sclerometriche con 12 battute per punto saggiato;
- **42** prospezioni ultrasoniche per valutare la velocità di propagazione delle onde soniche;

FASE 2 – Indagini sperimentali

CERTIFICATO n. XX DATA di emissione: 20-02-02	VERBALE DI ACCETTAZIONE - CAMPIONE n. XX DATA di emissione: 20-02-02	COMMESSA 4B.12	COMMITENTE PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE CAMPANIA-MOLISE
			CANTIERE Lavori adeguamento funzionale di un immobile demaniale denominato "Caserma Folio" in Caserta (Esedra Vanvitelliana) da destinare a nuova sede dell'Archivio di Stato.
CAROTAGGIO IN MURATURA - P1 -			
UBICAZIONE PLANIMETRICA Pianta quinto livello - secondo piano 		IMMAGINE FOTOGRAFICA DEL CAROTAGGIO IN ESECUZIONE 	
IMMAGINE COMPLESSIVA DEL CAROTAGGIO 		ANALISI DI DETTAGLIO DEL CAROTAGGIO 	
Data esecuzione carotaggio: 8-gen-13 Lunghezza carotaggio: 86 cm Diametro carotaggio: 100 mm Tipo di corona: diamantata		LEGENDA tufo rosato tufo nero calcare cis legante pozzolanico	
IMMAGINE DEL FORO DEL CAROTAGGIO			
OSSERVAZIONI E NOTE			
Muro compatto e continuo solo occasionali assenze o presenza di legante fragile per tratti di 1-2 cm. La dicitura P15 sulle carote si riferisce alla parete carotata.			

STUDIO DI INGEGNERIA S.r.l. Via dei Campi, Roma n° 24 - AN 01032 (RM) -
 tel. +39 - 06576294 - 06570311 fax +39 06576294
 C.C. 027 4001-3000 - C.C.S. S.p.A. - tel. 07730059

servizi geotecnici

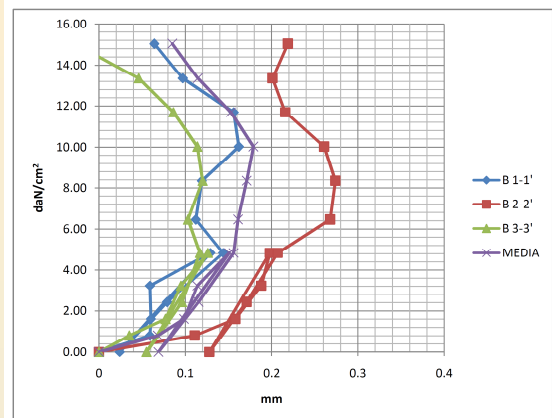
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
 Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di indagini geotecniche
 presso i cantieri, presso i siti e presso di laboratorio su norme UNI EN 12412
 C. Strada 703 - 00187 - ROMA
 D.M. Spagnoli e Trovati n° 36/10 del 08/03/2010

FASE 2 – Indagini sperimentali

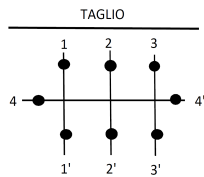
CERTIFICATO n. XX DATA di emissione: xx-xx-xx	VERBALE DI ACCETTAZIONE - CAMPIONE n. XX DATA di emissione: xx-xx-xx	COMMESSA 48.12	COMMITTENTE PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE CAMPANIA-MOLISE	CANTIERE Lavori adeguamento funzionale di un immobile demaniale denominato "Caserma Polio" in Caserta (Esedra Vanvitelliana) da destinare a nuova sede dell'Archivio di Stato.
CAROTAGGIO IN MURATURA - Mn4 -				
UBICAZIONE PLANIMETRICA Pianta Quarto Livello - Secondo Piano 		IMMAGINE FOTOGRAFICA DEL CAROTAGGIO IN ESECUZIONE 		
IMMAGINE COMPLESSIVA DEL CAROTAGGIO 		ANALISI DI DETTAGLIO DEL CAROTAGGIO 		
Data esecuzione carotaggio: 3-gen-13 Lunghezza carotaggio: 93,5 cm Diametro carotaggio: 100 mm Tipo di corona: diamantata		LEGENDA tufo rosato tufo nero calcare cis legante pozzolanico		
IMMAGINE DEL FORO DEL CAROTAGGIO				
OSSERVAZIONI E NOTE Muro compatto e continuo, assenza di legante e presenza di legante friabile al contatto tra i blocchi tufacei, spazi vuoti per 3 cm				

FASE 2 – Indagini sperimentali

CARICO DI ROTTURA **11.69 daN/cm²**



CONFIGURAZIONE SCHEMATICA BASI DI MISURA

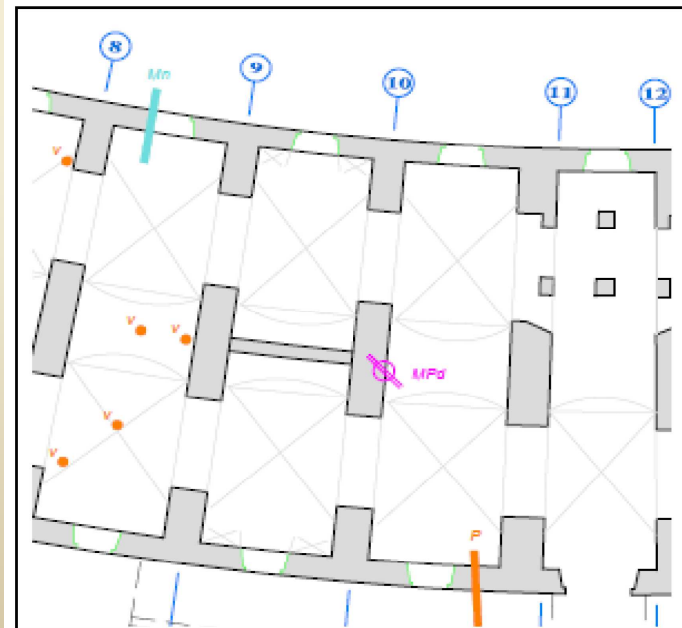


DISTANZA TRA LE BASI

1-1'	302,570 mm
2-2'	303,011 mm
3-3'	302,298 mm
4-4'	300,768 mm

FASI	P (Bar)	σ (daN/cm ²)	BASI DI MISURA VERTICALI				ORIZZ.
			1-1' mm	2-2' mm	3-3' mm	MEDIA mm	4-4' mm
lettura iniziale			2.57	3.011	2.298	2.626	0.768
carico	0.00	0.00	3.581	3.053	5.087	3.907	0.732
	1.00	0.81	3.522	2.942	5.052	3.839	0.732
	2.00	1.61	3.521	2.895	5.01	3.809	0.724
	4.00	3.23	3.522	2.865	4.992	3.793	0.725
	6.00	4.84	3.452	2.855	4.961	3.756	0.729
scarico			3.557	2.925	5.032	3.838	0.704
carico	3.00	2.42	3.502	2.882	4.991	3.792	0.702
	6.00	4.04	3.437	2.846	4.97	3.751	0.732
	8.00	6.46	3.469	2.785	4.984	3.746	0.762
	10.00	8.35	3.462	2.779	4.967	3.736	0.773
	12.00	10.02	3.419	2.792	4.973	3.728	0.81
	14.00	11.69	3.425	2.837	5.001	3.754	0.885
16.00	13.36	3.484	2.852	5.041	3.792	0.905	
18.00	15.03	3.517	2.834	5.115	3.822	0.971	

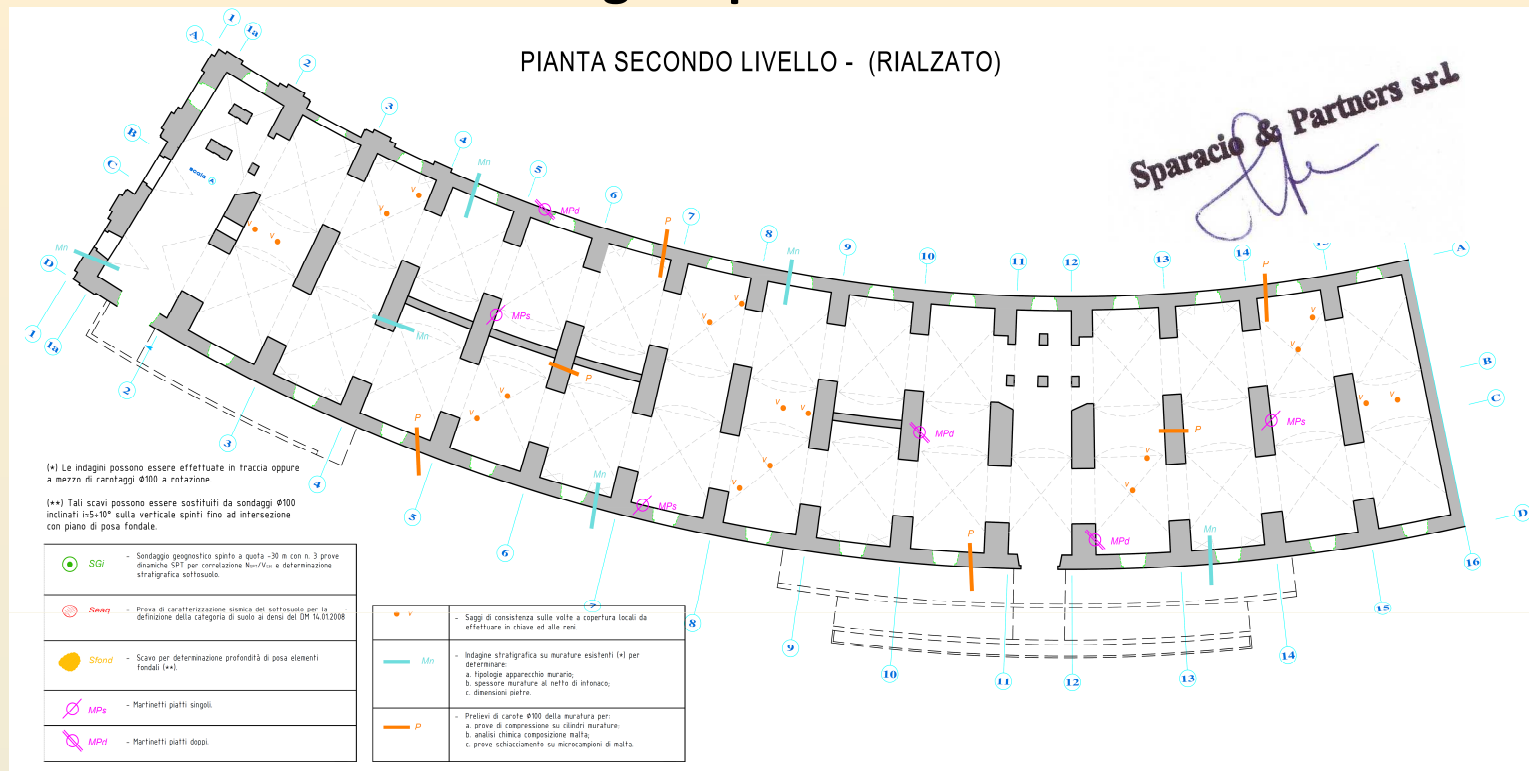
UBICAZIONE PROVA



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FASE 2 – Indagini sperimentali



**CAROTAGGI
PROVE di SCHIACCIAMENTO
MARTINETTI DOPPI
MARTINETTI SINGOLI**

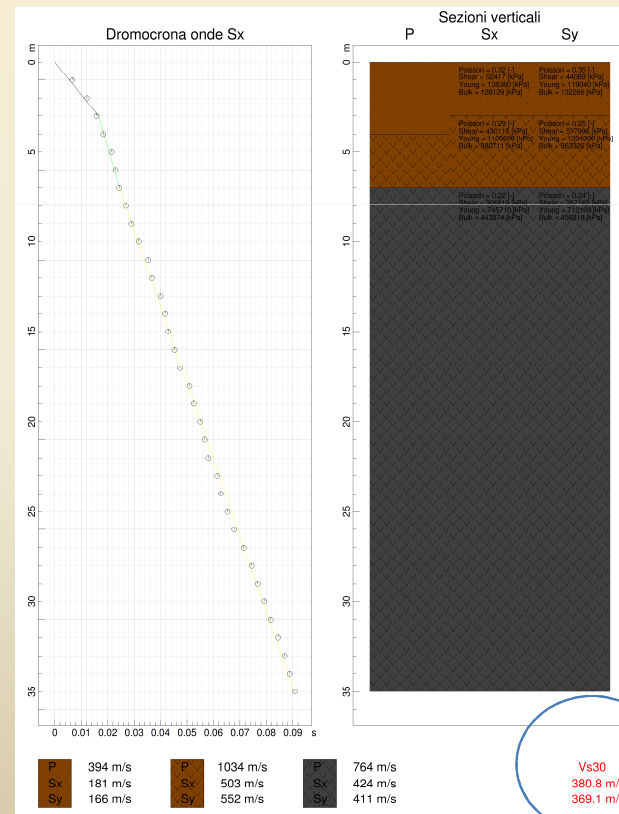
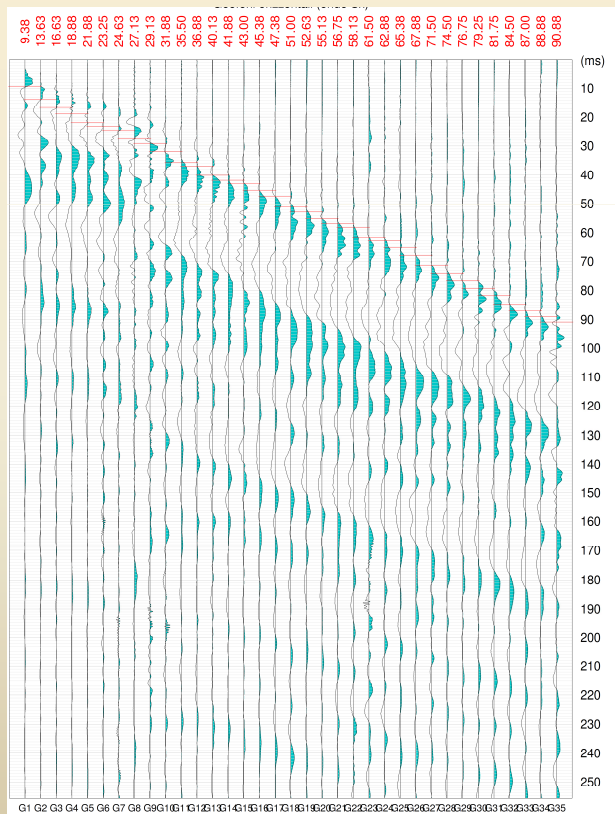


Coefficienti migliorativi per muratura (1)	$\eta_1 = 1,70$	$\eta_2 = 1,00$	$\gamma_M = 2$	Coefficiente parziale per il materiale	NNTC Tab. 4.5.II	
Valori caratteristici migliorati	f_m^* [tm-2] 323	f_{w0}^* [tm-2] 10,00	τ^* [tm-2] 5,95	E^* [tm-2] 183.600	G^* [tm-2] 61.200	W [tm-2] 1,8
Valori di calcolo	$f_d = (f_m \cdot \eta_1 \cdot \eta_2) / (\gamma_M \times FC)$ $f_{vd} = (f_{vk} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2) / (\gamma_M \times FC)$		$f_d = 161,50$ tm-2 $f_{vd0} = 5,00$ tm-2 $f_{vd} = f_{vd0} + 0,40 \cdot \sigma_n$ $\tau_{0d} = 2,98$ tm-2 $E_d = 91.800$ tm-2 $G = 30.600$ tm-2			
* da tab. 11.10.VII per $f_{bk} < 7,5$ N/mm ² si ha $f_{vk0} = 0,10$ N/mm ²						
Tabella CBA.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici						

FASE 2 – Indagini sperimentali

Suolo interessato dal fabbricato risulta classificabile in **categoria B** [p.to 3.2.2 NNTC] *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)”*.

PROVA DOWN HOLE

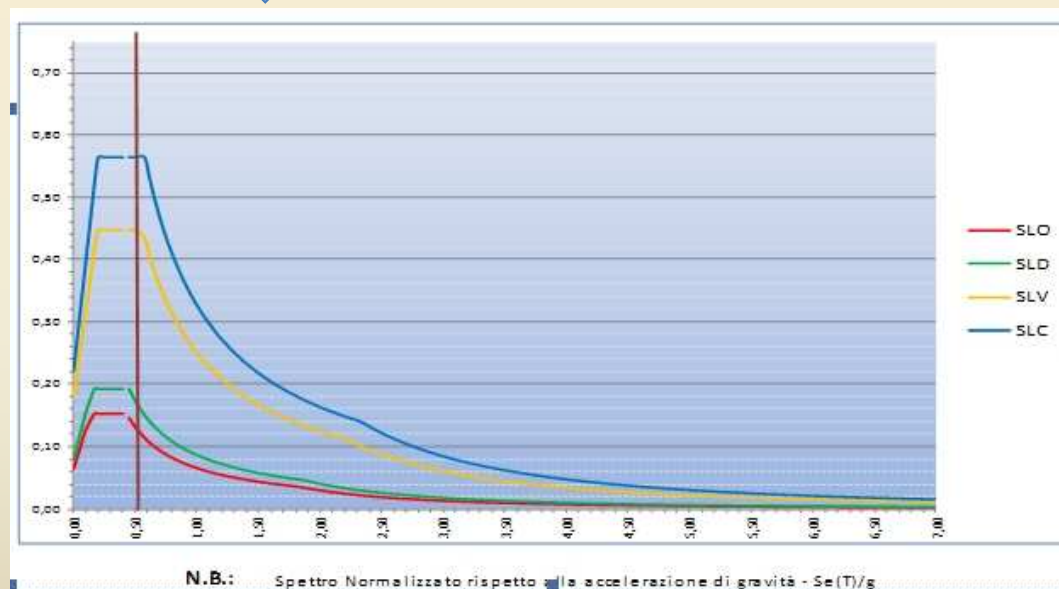


FASE 2 – Indagini sperimentali

PROVA DOWN HOLE

Il suolo in esame per la localizzazione del sito in questione (LAT 41.072348°- LON 14.331133°) risulta caratterizzato da una accelerazione di riferimento a_g pari a **0.067g** per la condizione di Stato Limite di Danno (SLD) e di **0,150g** per la condizione di Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

La costruzione, in relazione alle conseguenze di una interruzione di operatività in presenza di azioni sismiche, rientra nella **Classe III** di cui al p.to 2.4.2. delle NNTC “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti ...”

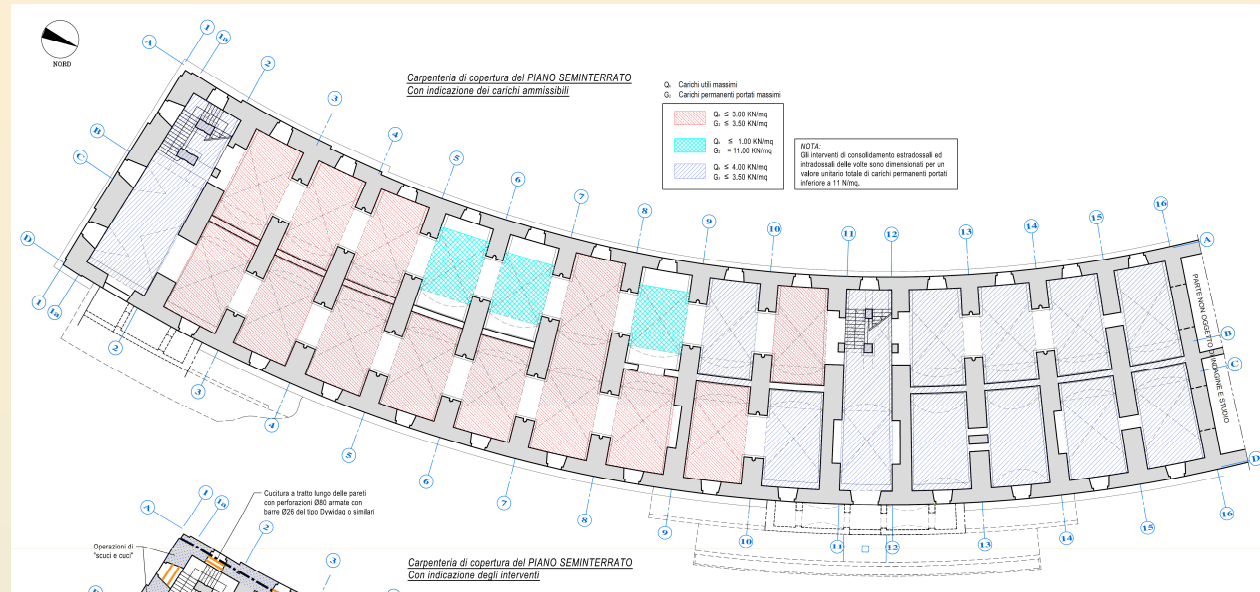


FASE 3 – Modellazione strutturale

- ✓ Verifica di regolarità
- ✓ Analisi dei carichi
- ✓ Verifica degli elementi di impalcato
- ✓ Definizione degli stati limite di progetto



VERIFICA GLOBALE PER SOLI CARICHI GRAVITAZIONALI

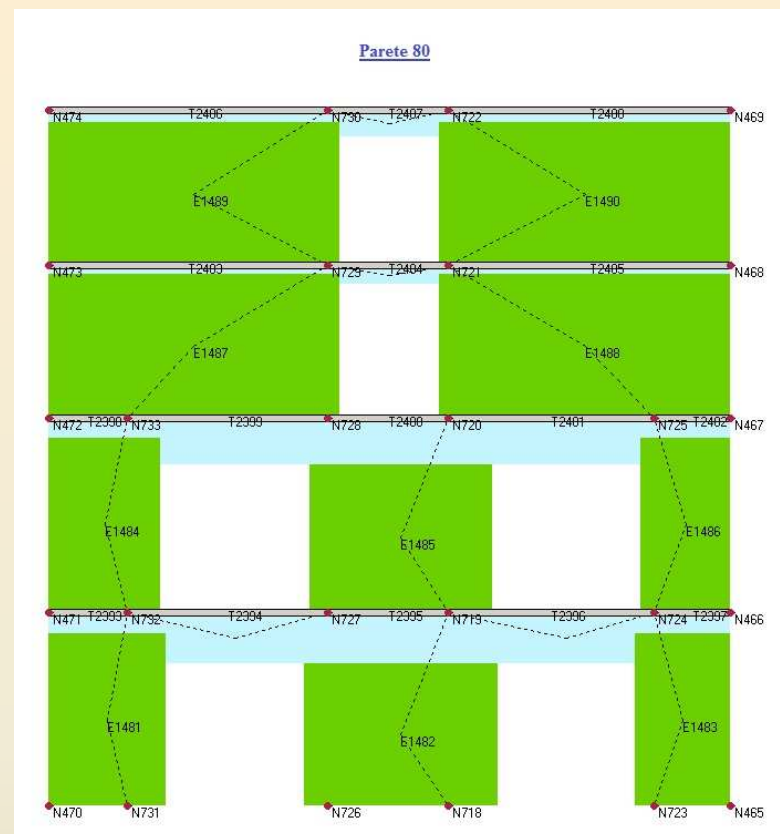
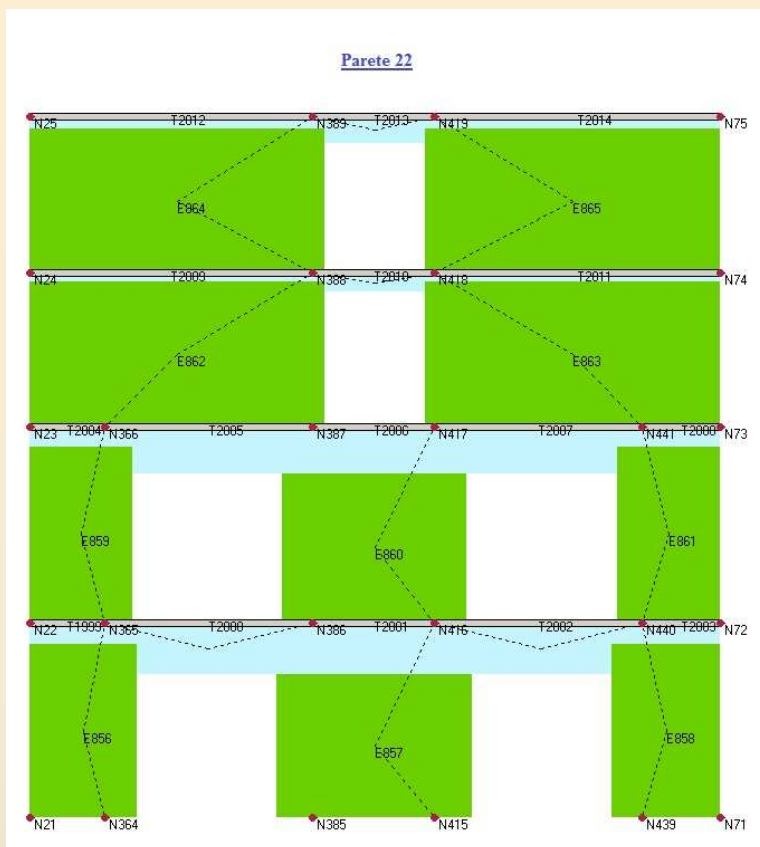


$$N_D \leq N_R (X) = f_d * B * s * \Phi \quad (1)$$

con:

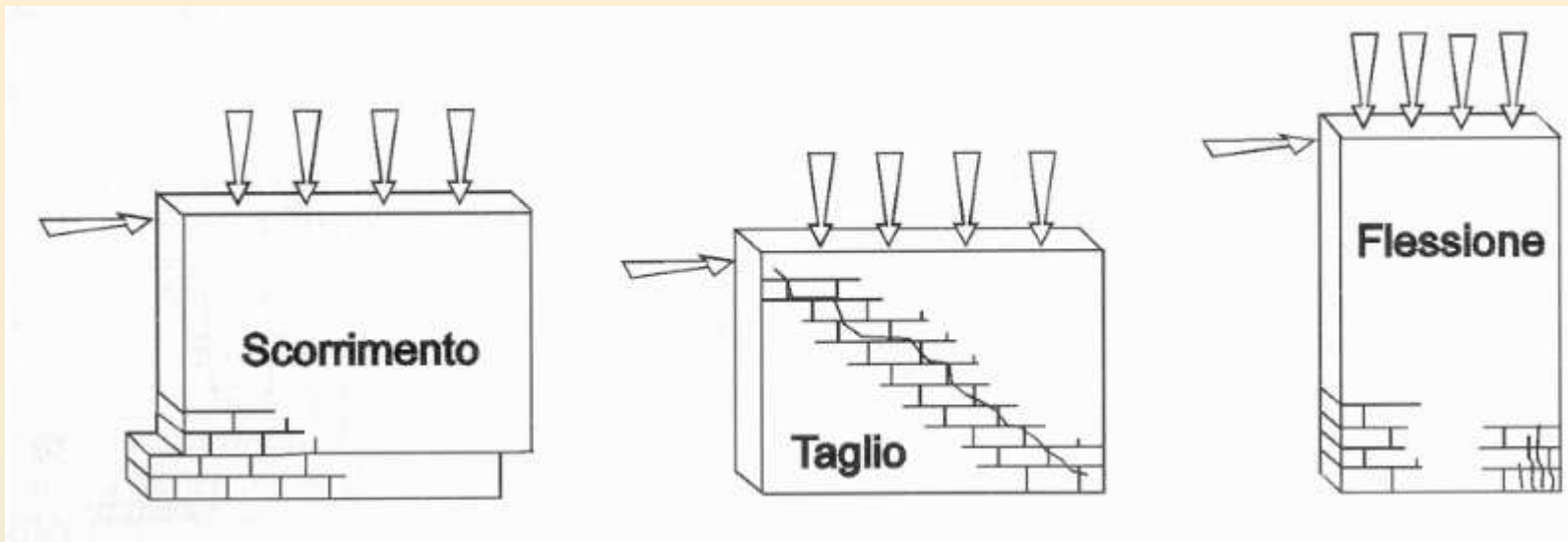
- N_D sforzo normale verticale di compressione di calcolo
- f_d tensione di calcolo della muratura (come definita al par. 4.1.3)
- Φ coefficiente di riduzione della resistenza funzione della snellezza λ e del coefficiente m
- $m = 6e / t$ coefficiente di eccentricità funzione della eccentricità totale e e dello spessore t
- e eccentricità totale dei carichi sui muri funzione di e_a , e_v , e_s rispettivamente eccentricità di costruzione, eccentricità dovuta ai carichi verticali, eccentricità di carico dei solai.
- B base del setto murario considerato
- s spessore del setto murario

FASE 3 – Modellazione strutturale



Verifica cromatica dei requisiti di sicurezza dei singoli pannelli

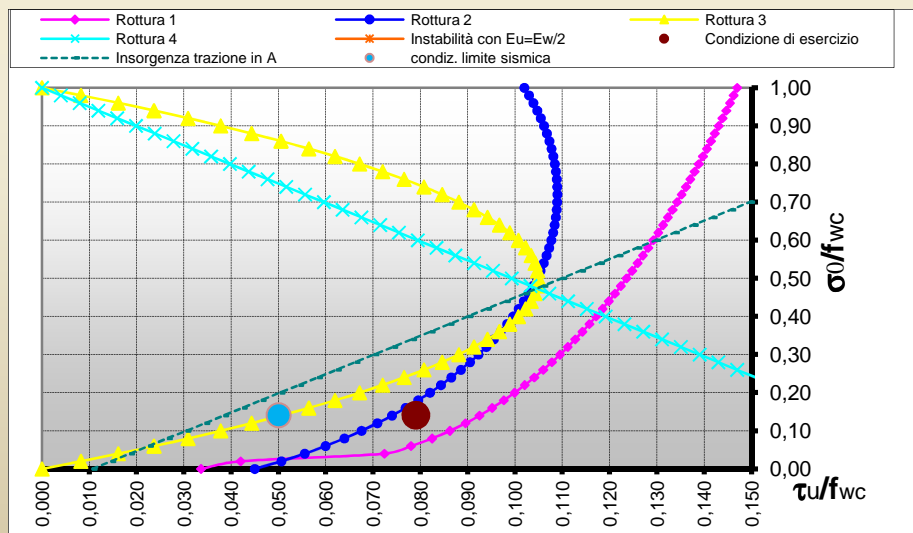
FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



Rottura del pannello per taglio scorrimento

Rottura del pannello per taglio compressione (crisi da trazione).

Rottura del pannello per pressoflessione nel piano.



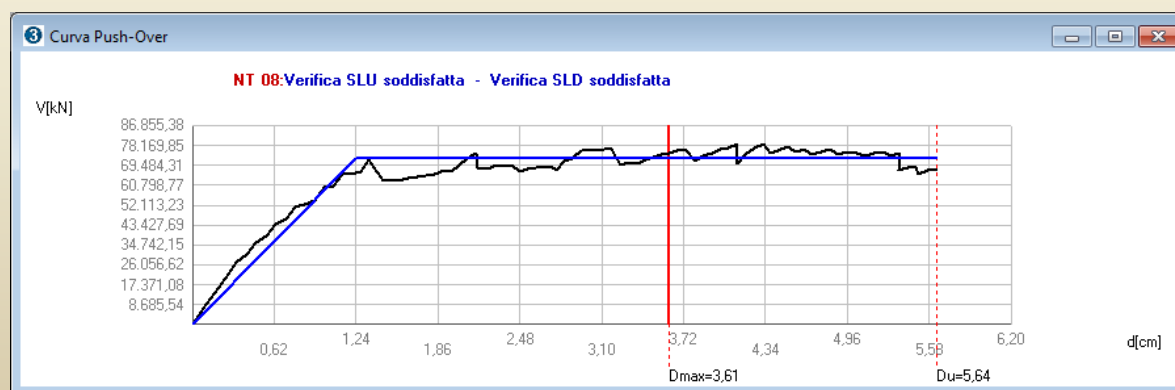
INDIVIDUAZIONE MECCANISMI di ROTTURA DEI PANNELLI.

Rottura per scorrimento	$\tau_{ult} / f_{wc} = [c_{mb} + \mu_0 * \sigma] / (\beta_{taglio} * f_{wc})$
Rottura per taglio-compressione	$\tau_{ult} / f_{wc} = 1/\beta_{taglio} * [((1-\sigma/f_{wc}) * (1+\sigma/f_{bt}))^{1/2}] / [(f_{wc}/f_{bc} + f_{wc}/f_{bt})]$
Rottura per compressione in B con sez. parzializzata	$\tau_{ult} / f_{wc} = 1/2 * \zeta_{\alpha} * [(\sigma/f_{wc}) - (\sigma/f_{wc})^2]$
Rottura per compressione in B con sez. interamente reagente	$\tau_{ult} / f_{wc} = 1/6 * \alpha * [1 - (\sigma/f_{wc})]$
Rottura per instabilità	$\sigma / f_{wc} = [(0,40 * K') / (1 + \phi)] / (1/\lambda^2)$
Insorgenza di trazione in A	$\tau_{ult} / f_{wc} = 1/6 * \alpha * [2/3 * (f_m/f_{wc}) - (\sigma/f_{wc})]$

FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

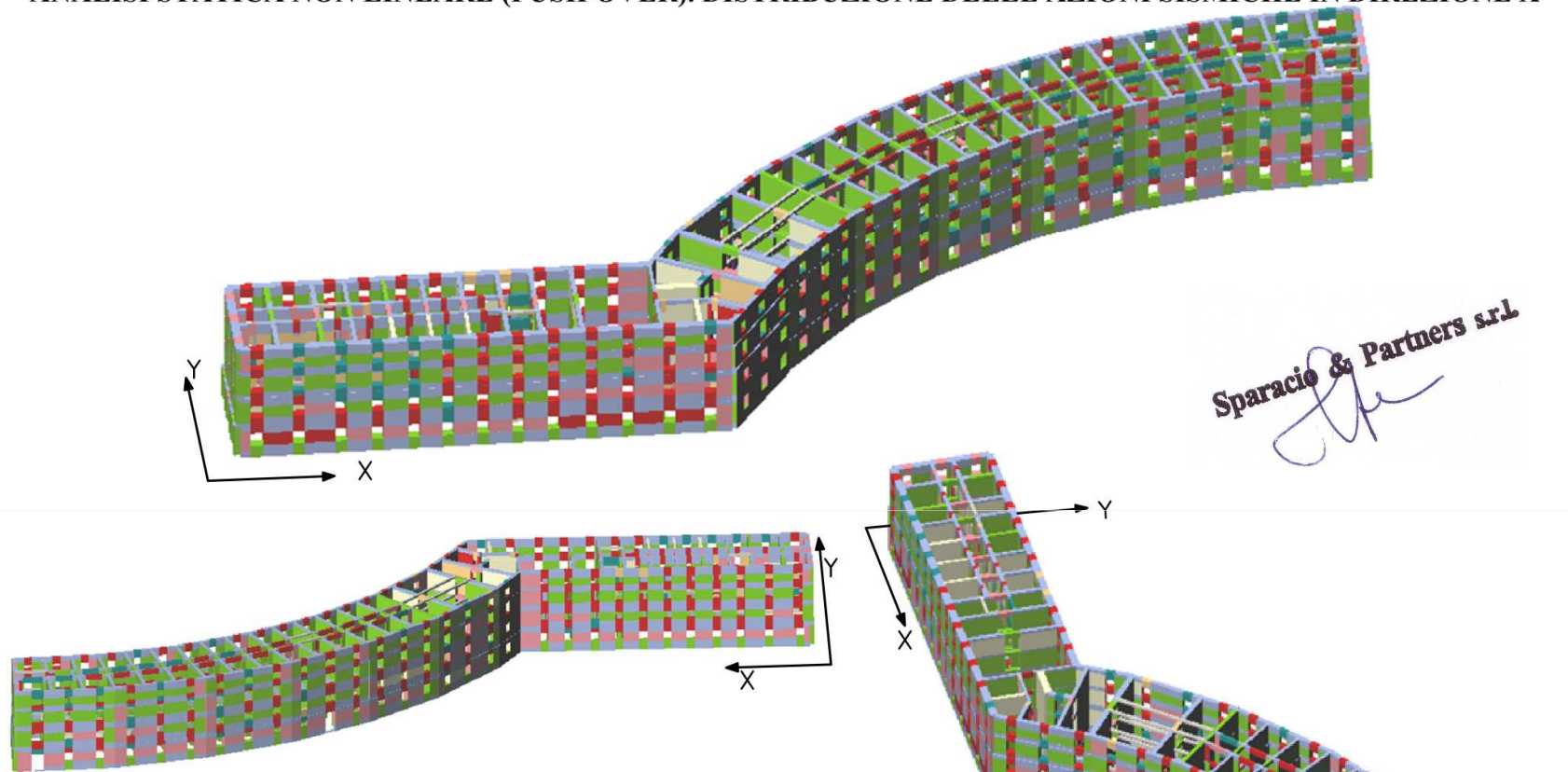
ANALISI STATICA NON LINEARE – PUSH OVER

“Nel caso di analisi statica non lineare, la verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento ottenute applicando il procedimento illustrato al § 7.3.4.1. In ogni caso, per le costruzioni in muratura ordinaria, e per le costruzioni in muratura armata in cui non si sia applicato il criterio di gerarchia delle resistenze, nelle quali il rapporto tra il taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad un grado di libertà calcolato dallo spettro di risposta elastico e il taglio alla base resistente del sistema equivalente ad un grado di libertà ottenuto dall’analisi non lineare ecceda il valore 3,0, la verifica di sicurezza deve ritenersi non soddisfatta. La rigidezza elastica del sistema bilineare equivalente si individua tracciando la secante alla curva di capacità nel punto corrispondente ad un taglio alla base pari a 0,7 volte il valore massimo (taglio massimo alla base). Il tratto orizzontale della curva bilineare si individua tramite l’uguaglianza delle aree sottese dalle curve tracciate fino allo spostamento ultimo del sistema”



FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSH OVER). DISTRIBUZIONE DELLE AZIONI SISMICHE IN DIREZIONE X



N.	Inserisci in relazione	Dir. sistema	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Ds SLV [cm]	q ² SLV	Dmax SLD [cm]	Ds SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Ds SLO [cm]	Alfa u
1		-X	1° modo	0,0	7,33	6,30	3,700	2,90	4,21	2,20	4,23	0,080
2		-X	1° modo	0,0	7,67	7,03	2,818	2,96	3,63	2,24	3,63	0,017
3		-X	1° modo	0,0	8,78	7,82	3,219	3,36	4,46	2,55	4,18	0,099
4		-X	1° modo	0,0	6,87	6,14	2,906	2,53	3,51	1,92	3,51	0,033
5		-X	1° modo	423,4	6,54	5,83	2,993	2,52	3,19	1,91	3,18	0,091
6		-X	1° modo	423,4	7,85	7,98	3,495	2,91	4,14	2,21	4,14	0,081
7		-X	1° modo	423,4	7,89	8,33	3,610	2,89	3,76	2,19	3,76	0,079
8		-X	1° modo	423,4	7,09	6,26	3,189	2,73	3,37	2,05	3,37	0,053
9		-X	1° modo	423,4	7,43	6,68	3,169	2,86	3,56	2,17	3,56	0,027
10		-X	1° modo	423,4	8,39	6,93	3,369	3,24	3,86	2,40	3,86	0,026
11		-X	1° modo	423,4	8,91	8,91	3,158	3,44	4,40	2,63	3,91	0,053

Legenda	
Muratura	
Integro	
Plastico per taglio	
Rottura per taglio	
Plastico presso flessione	
Rottura presso flessione	
Plastico per compressione	
Rottura per compressione	
Plastico per trazione	
Rottura per trazione	
Rottura in fase elastica	
Rottura per taglio (armatura diagonale carente)	
C.A.	
Integro	
Plastico per taglio	
Plastico presso flessione	
Rottura presso flessione	
Plastico per compressione	
Rottura per compressione	
Plastico per trazione	
Rottura per trazione	
Rottura in fase elastica	
Acciaio	
Integro	
Plastico presso flessione	
Rottura presso flessione	
Plastico per compressione	
Rottura per compressione	
Plastico per trazione	
Rottura per trazione	
Integro in fase elastica	
Legno	
Integro	
Rottura presso flessione	
Rottura per compressione	
Rottura per trazione	

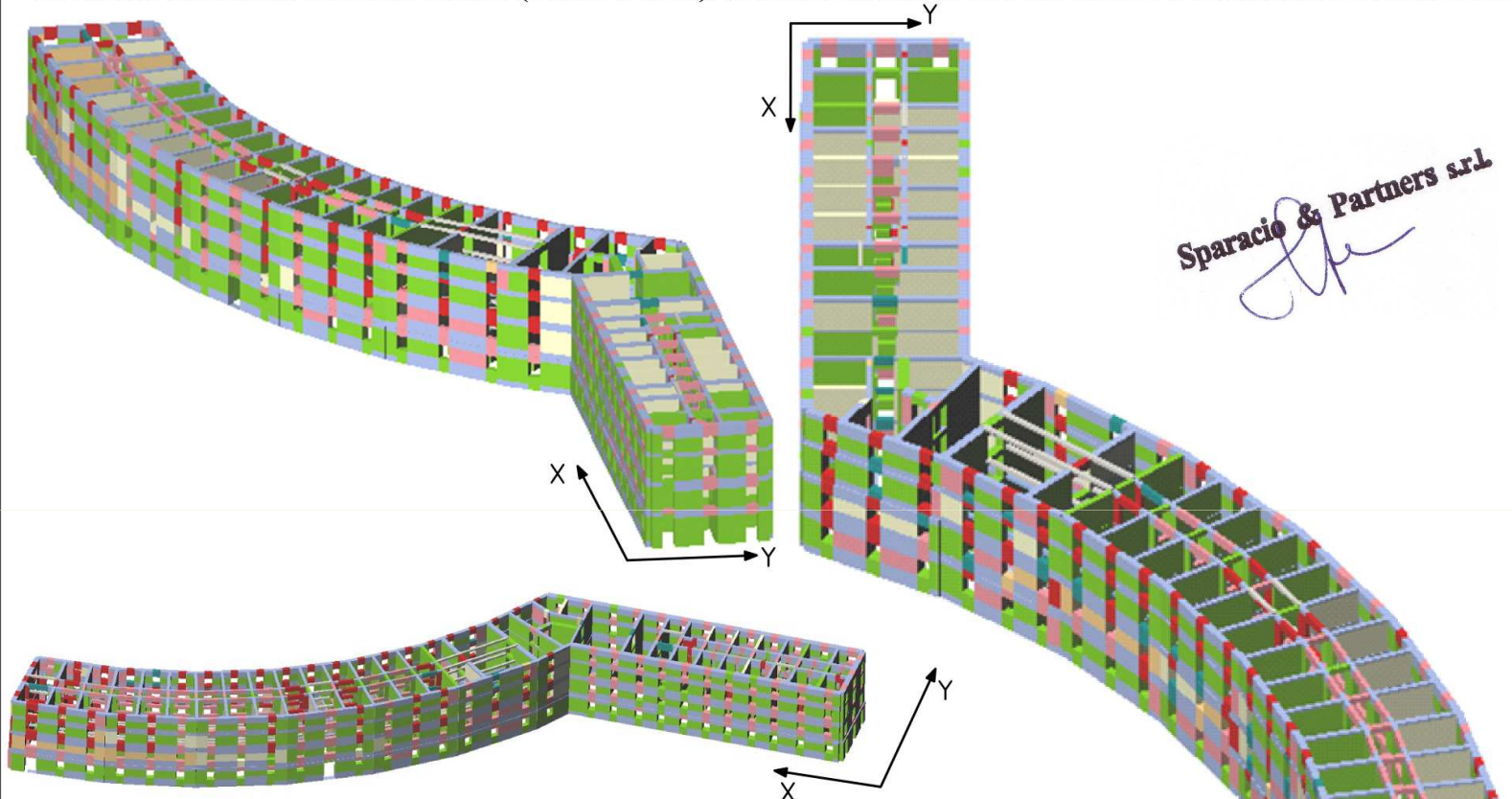
ESEDRA VANVITELLIANA					
VERIFICA DELLA SICUREZZA AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008					
Studio Sparacio & Partners S.r.l.					
Piazzola V. Lucilio 49/F - 80125 Napoli					
Tel. 081 933244 Fax 081 230504					
S185TG001STA		Scale varie			
		Emissione: AS			
REV.	DATA	DESCRIZIONE	AUTORE	VERIFICA	EMISSIONE
A	Marzo 2013	Valutazione Preliminare			
Analisi di vulnerabilità sismica - Configurazione Attuale					

IPOTESI ADOTTATE NEL MODELLO DI CALCOLO:

- Modello senza giunto sismico (stato attuale)
- Altezza della fondazione pari ad 1,00 m
- Carichi accidentali pari a 6 kN/m² zona esedra al piano seminterrato, rialzato e primo.
- Carichi accidentali pari a 3 kN/m² zona scuola al piano seminterrato, rialzato e primo.
- Carichi accidentali pari a 0,5 kN/m² zona esedra e zona scuola in copertura.
- Scale modellate come volte a botte con carico pari a 4 kN/m²
- Carico distribuito in sommità rappresentante il parapetto pari a 7,07 kN/m
- Carico in sommità rappresentante il torrione delle scale pari a 2,70x0,5x16=21,6 kN/m.
- Vita nominale >100 anni,
- Classe d'uso dell'edificio III: edifici con grandi affollamenti, infrastrutture importanti
- Suolo tipo B
- Categoria topografica TI

FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSH OVER). DISTRIBUZIONE DELLE AZIONI SISMICHE IN DIREZIONE Y



Sparacio & Partners s.r.l.

N.	Inserisci in relazione	Dir.	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Dv SLV [cm]	q SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Dd SLO [cm]	Alfa u
5	M	+Y	Masse	0,0	6,84	4,79	3,669	2,84	3,50	2,00	3,50	0,700
6	M	+Y	1° modo	0,0	7,72	4,50	4,151	2,98	2,89	2,26	2,88	0,840
7	M	-Y	Masse	0,0	6,41	9,32	4,274	2,47	4,34	1,80	4,34	0,702
8	M	+Y	1° modo	0,0	9,01	4,42	3,994	3,40	4,21	2,64	4,21	0,680
17	M	+Y	Masse	945,9	6,99	4,29	3,949	2,89	3,18	2,04	3,18	0,613
18	M	+Y	Masse	-945,9	6,78	5,18	3,451	2,61	3,47	1,98	3,47	0,784
19	M	+Y	1° modo	945,9	7,79	4,14	4,518	3,99	2,88	2,28	2,88	0,531
20	M	+Y	1° modo	-945,9	7,65	5,01	3,896	2,91	3,98	2,21	3,98	0,769
21	M	-Y	Masse	945,9	6,51	11,05	4,962	2,51	3,40	1,91	3,40	0,605
22	M	-Y	Masse	-945,9	6,37	4,75	4,165	2,46	4,22	1,86	4,22	0,720
23	M	+Y	1° modo	945,9	6,64	9,31	4,381	3,43	3,18	2,59	3,18	0,685
24	M	-Y	1° modo	-945,9	6,97	4,58	3,336	3,35	4,30	2,57	4,30	0,491

Legenda

Materie:

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione
- Rottura in fase elastica

C.A.:

- Integro
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione
- Rottura per taglio (memoria degradata carente)

Acciaio:

- Integro
- Plastico presso flessione
- Plastico per compressione
- Plastico per trazione
- Damento non efficace
- Integro in fase elastica

Legno:

- Integro
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione
- Rottura per trazione

IPOTESI ADOTTATE NEL MODELLO DI CALCOLO:

- Modello senza giunto sismico (stato attuale)
- Altezza della fondazione pari ad 1,00 m
- Carichi accidentali pari a 6 kN/m2 zona esedra al piano seminterrato, rialzato e primo.
- Carichi accidentali pari a 3 kN/m2 zona scuola al piano seminterrato, rialzato e primo.
- Carichi accidentali pari a 0,5 kN/m2 zona esedra e zona scuola in copertura.
- Scale modellate come volte a botte con carico pari a 4 kN/m2
- Carico distribuito in sommità rappresentante il parapetto pari a 7,07 kN/m
- Carico in sommità rappresentante il tornio delle scale pari a 2,70x0,5x16=21,6 kN/m.
- Vita nominale >100 anni,
- Classe d'uso dell'edificio III: edifici con grandi affollamenti, infrastrutture importanti
- Suolo tipo B
- Categoria topografica T1

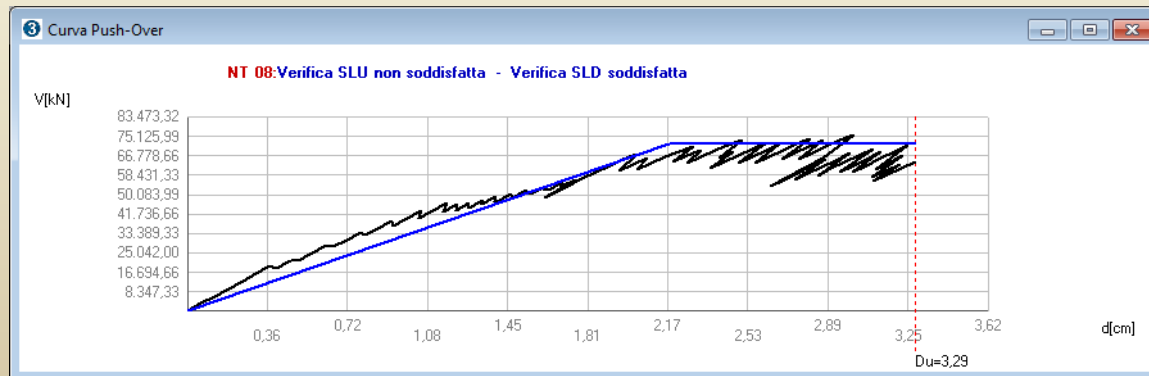
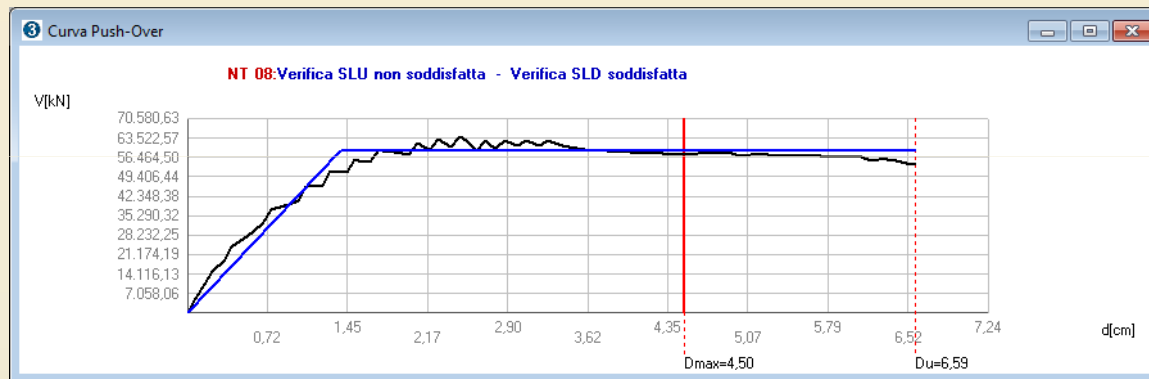
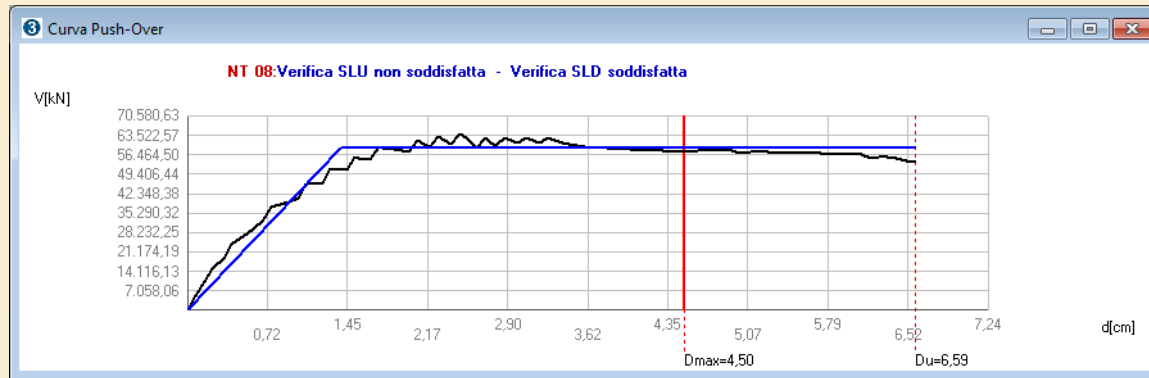
ESEDRA VANVITELLIANA
VERIFICA DELLA SICUREZZA AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008

Studio Sparacio & Partners S.r.l.
Piazza V. Teodoro 49/F - 80135 Napoli
Tel. 081 5013144 - Fax 081 5013042

S1|8|5|T|G|0|0|1|S|T|A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	AUTORE	VERIFICA	EMISSIONE
A	Marzo 2013	Valutazione Preliminare Analisi di vulnerabilità sismica - Configurazione Attuale			

FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



Dettaglio verifiche

Verifiche

NT 08 - Verifica SLV
 Dmax 4,12 [cm] <= Du 6,62 [cm]
 q^* 3,32 > 3
 La verifica NON è soddisfatta

NT 08 - Verifica SLD
 Dmax 1,45 [cm] <= Dd 4,78 [cm]
 La verifica è soddisfatta
 Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

NT 08 - Verifica SLO
 Dmax 1,12 [cm] <= Do 3,81 [cm]
 La verifica è soddisfatta

Vulnerabilità Sismica

	TR _C	TR _D	α_{TR}	PGA _C [m/s ²]	PGA _D [m/s ²]	α_{PGA}
SLV	522	712	0,733	1,31	1,45	0,902
SLD	522	75	6,960	1,60	0,66	2,443
SLO	522	45	11,600	1,70	0,53	3,184

Mostra PGA su roccia

Parametri di Analisi:

T*	0,525 [s]	Duttilità disponibile	5,59
m*	33.884.852,17 [kg]	Γ	1,27
w	60.917.419,22 [kg]	F*y	45.133,73 [N]
		d*y	0,93 [cm]
		d*u	5,19 [cm]

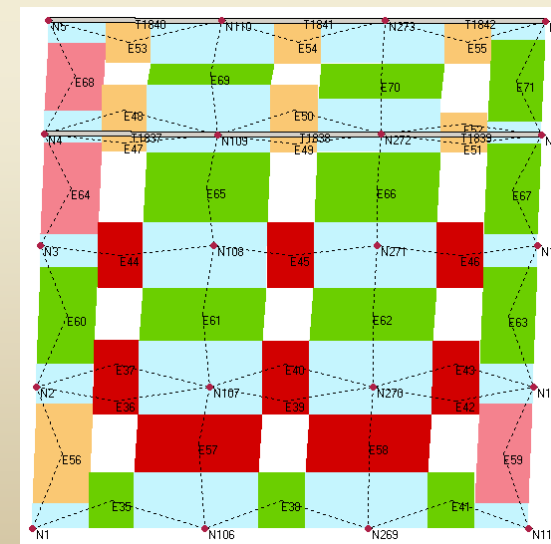
Analisi

Normativa	NT 08
Carico sismico	1° modo di vibrare
Direzione sisma	+ Ux
Nodo controllo	10
Media nodi di livello	4
Eccentricità	0
Versione	2.0.20 - Cod. 4

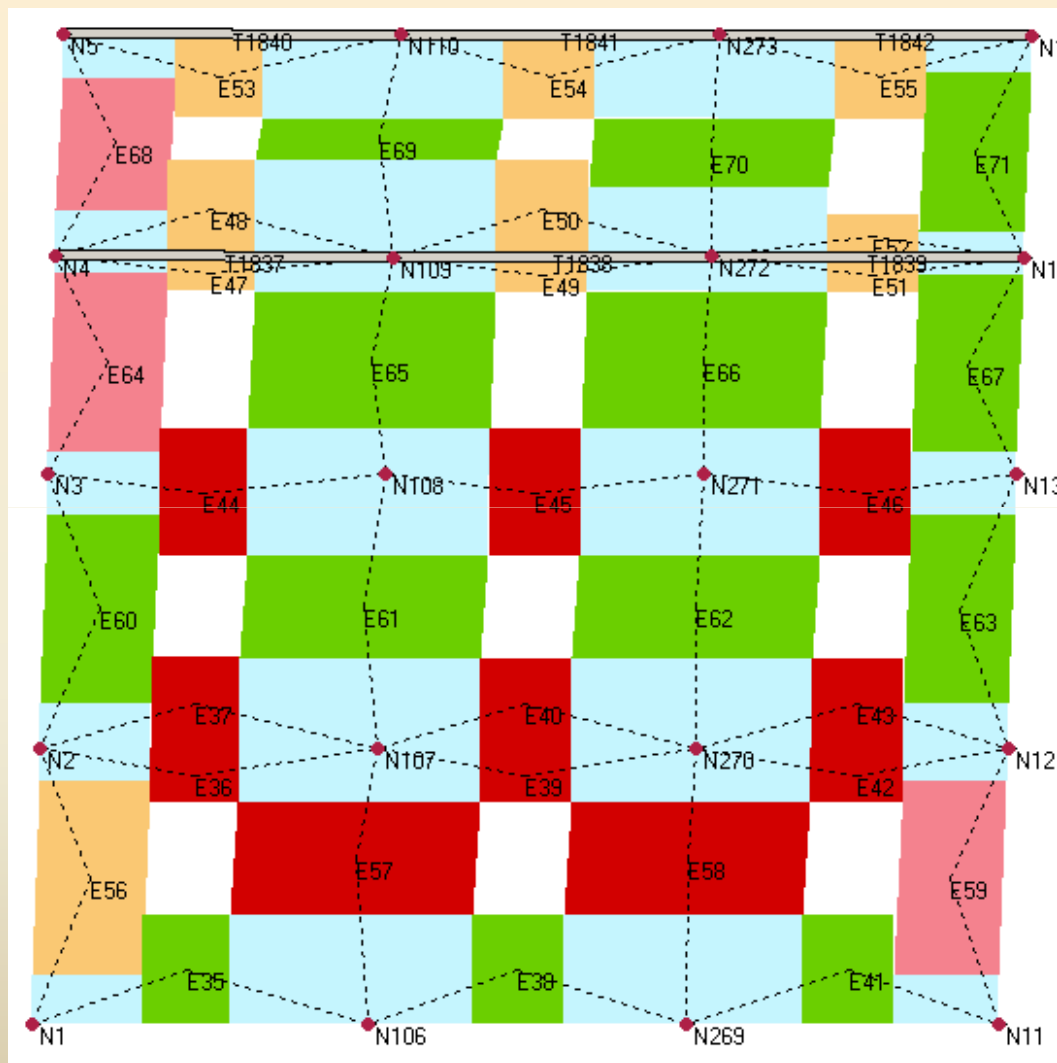
Modello

Nome	REGGIA_20
Pareti	80
Livelli	4
Nodi 3D	733
Nodi 2D	63
Materiali	8
Elementi	1490
Travi	584
Piastri	0
Vincoli	176
Setti travi	0
Setti pareti	0

OK











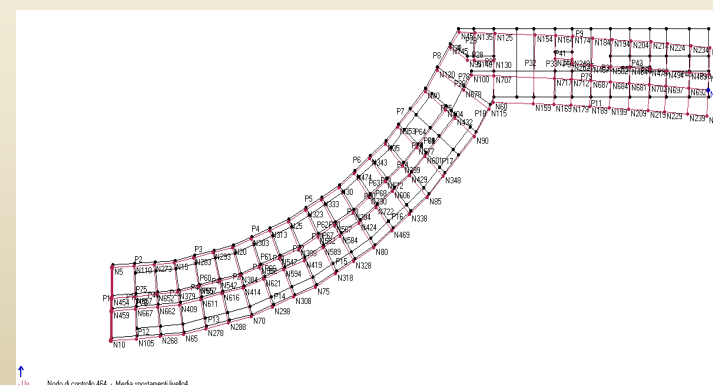
FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



DISTRIBUZIONE DELLE MODALITA' di ROTTURA SUI SINGOLI PANNELLI

LEGENDA

	Integro		Rottura presso flessione
	Plastico per taglio		Rottura per compressione
	Rottura per taglio		Rottura per trazione
	Plastico presso flessione		Rottura in fase elastica



FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

Ipotesi adottate:

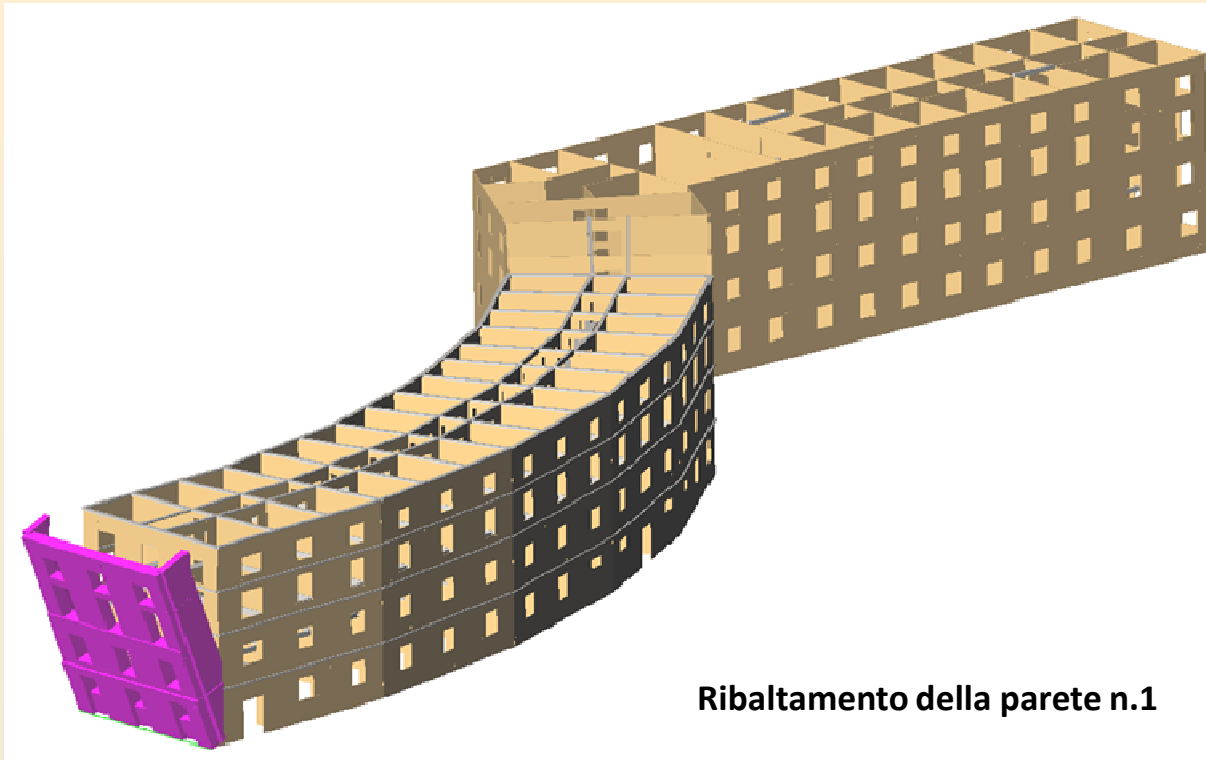
- Modello senza giunto;
- Altezza della fondazione pari ad 1,00m;
- Carichi massimi (permanenti + accidentali) 11,00 KN/m²;
- Scale modellate come volte a botte;
- Carico in sommità come per altre analisi;
- Vita nominali > 100 anni;
- Classe d'uso III;
- Suolo tipo B;
- Categoria topografica T1

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	Alfa u	Alfa e
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0,0	4,39	6,08	3,311	1,54	3,95	1,18	3,95	0,906	2,48
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	0,0	5,23	6,76	3,727	1,81	4,46	1,39	3,85	0,805	2,32
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	0,0	4,86	6,19	3,172	1,68	2,64	1,29	2,64	0,946	1,56
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	0,0	5,49	6,96	3,507	1,90	3,45	1,46	3,45	0,855	1,81
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	0,0	5,27	3,15	2,513	1,83	2,64	1,40	2,64	0,598	1,55
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0,0	5,72	4,64	3,245	1,98	3,11	1,52	3,11	0,810	1,57
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	0,0	4,62	3,24	2,951	1,60	2,82	1,23	2,82	0,762	1,76
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0,0	5,37	5,45	3,178	1,86	2,72	1,43	2,72	0,944	1,46
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	423,4	4,59	6,49	3,284	1,60	4,83	1,23	4,52	0,914	2,60
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	-423,4	4,45	5,62	3,340	1,56	3,90	1,19	3,90	0,898	2,49
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	423,4	5,21	7,16	3,748	1,80	4,46	1,38	4,07	0,801	2,31
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	-423,4	5,05	6,28	3,884	1,75	4,76	1,34	3,74	0,772	2,33
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	423,4	4,64	5,65	3,232	1,81	2,32	1,24	2,32	0,928	1,44
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	-423,4	4,91	6,04	3,233	1,70	3,83	1,30	3,83	0,928	2,25
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	423,4	5,23	6,73	3,671	1,81	2,68	1,39	2,68	0,817	1,48

$\alpha_u Y = 0,598$

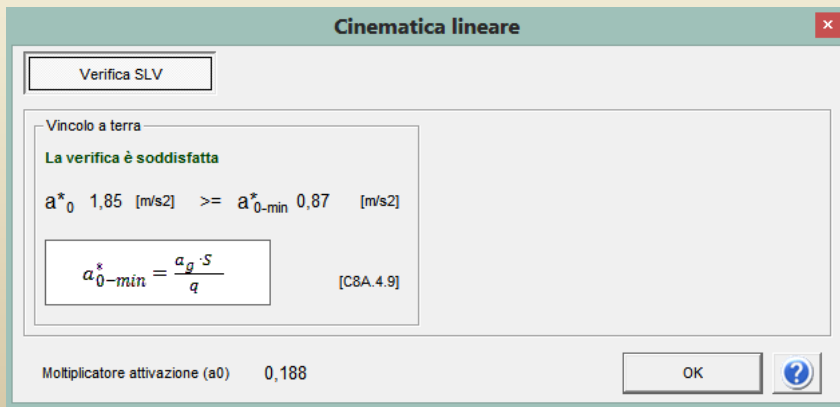
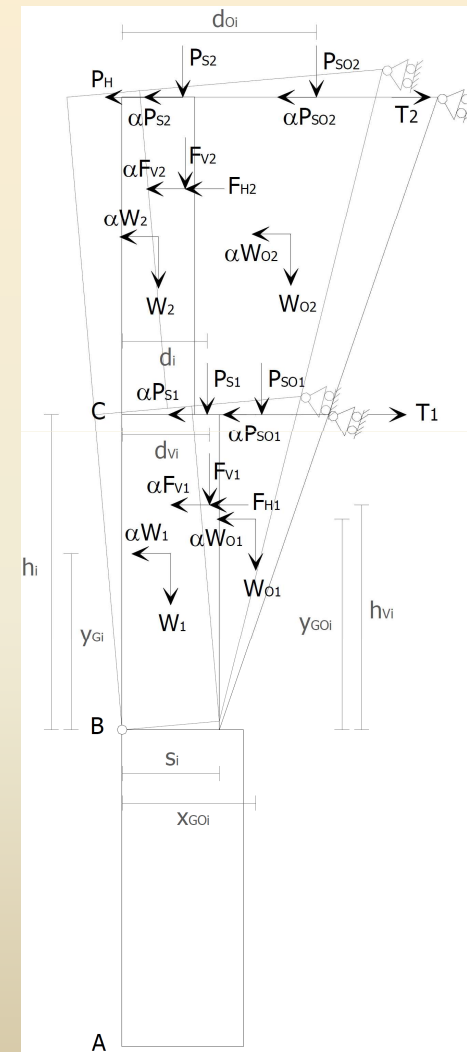
$\alpha_u X = 0,772$

FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

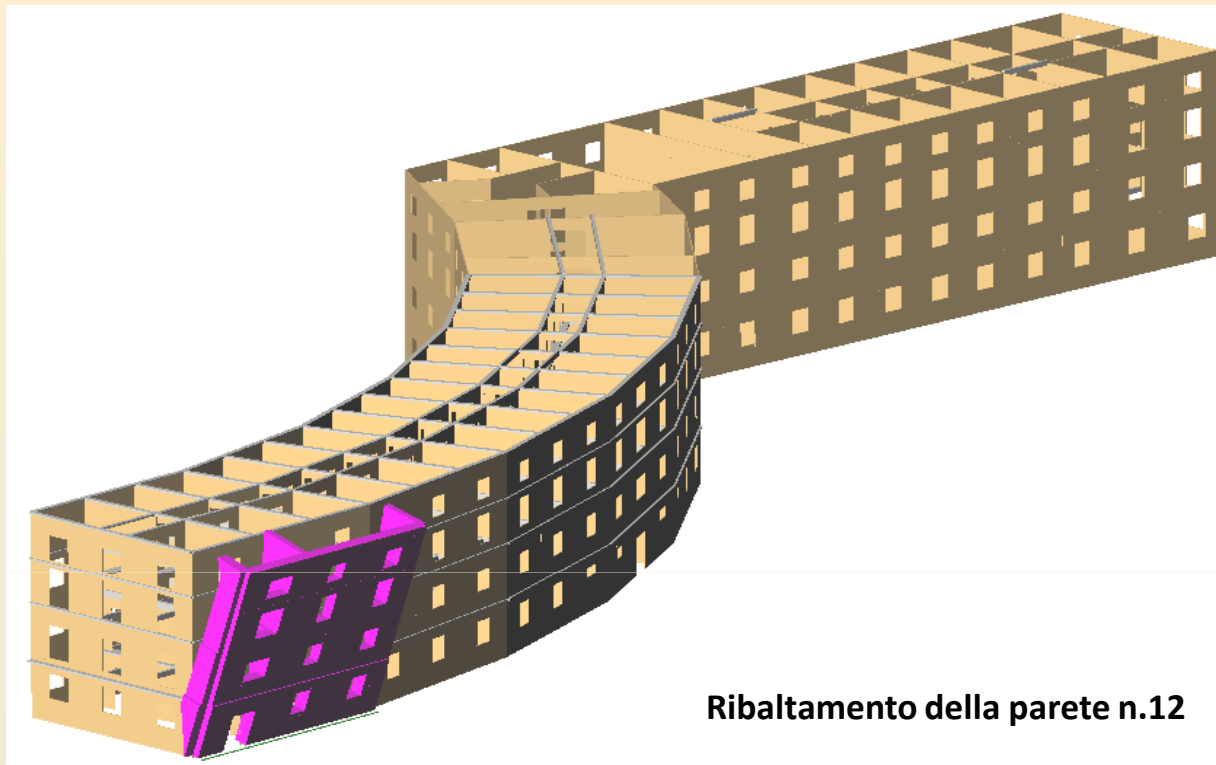


Ribaltamento della parete n.1

Analisi cinematica lineare dei meccanismi locali

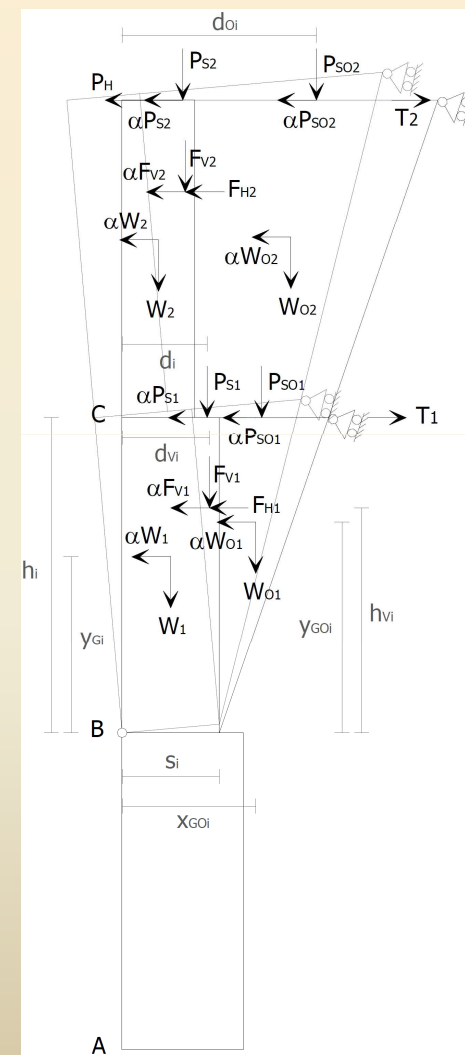


FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



Ribaltamento della parete n.12

Analisi cinematica lineare dei meccanismi locali



Cinematica lineare

Verifica SLV

Vincolo a terra

La verifica è soddisfatta

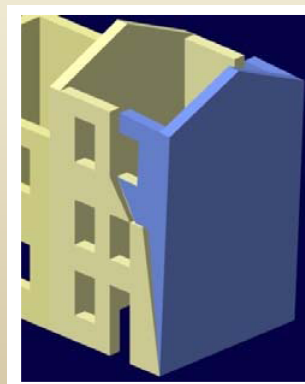
a^*_0 1,45 [m/s²] >= a^*_{0-min} 0,87 [m/s²]

$$a^*_{0-min} = \frac{a_g \cdot S}{q}$$

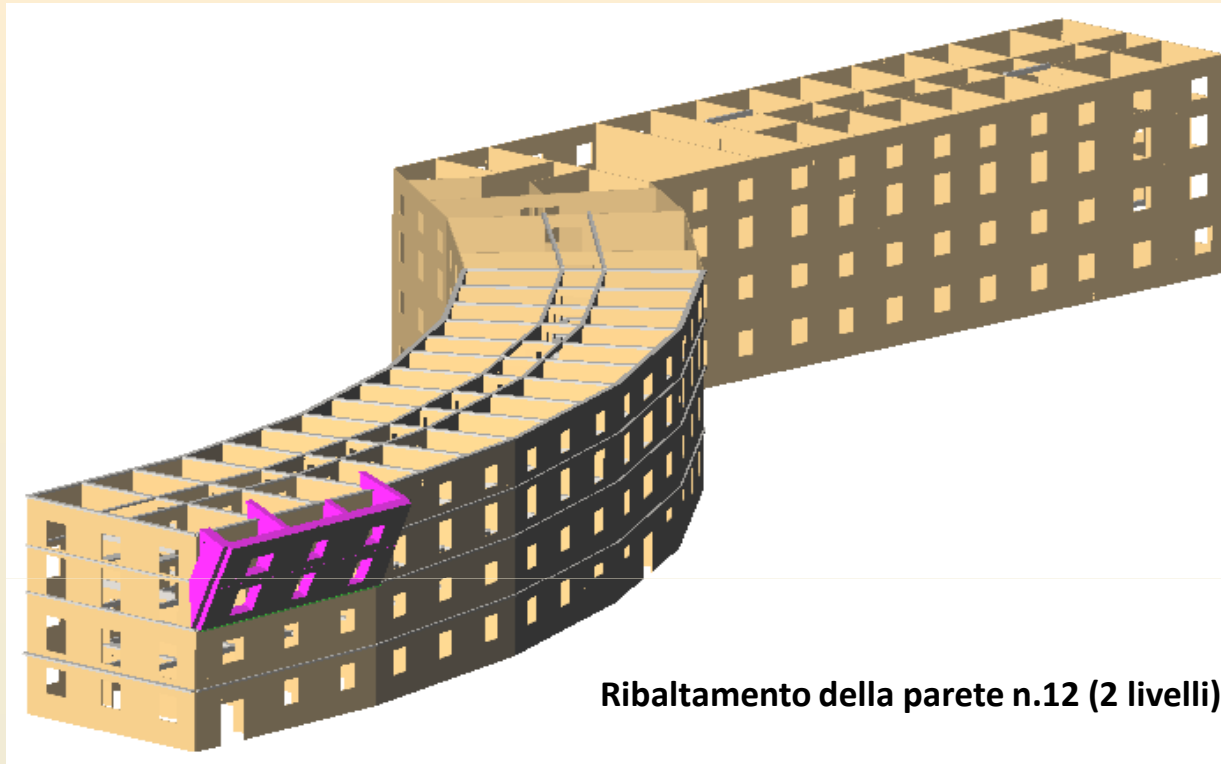
[C8A.4.9]

Moltiplicatore attivazione (a_0) 0,156

OK ?

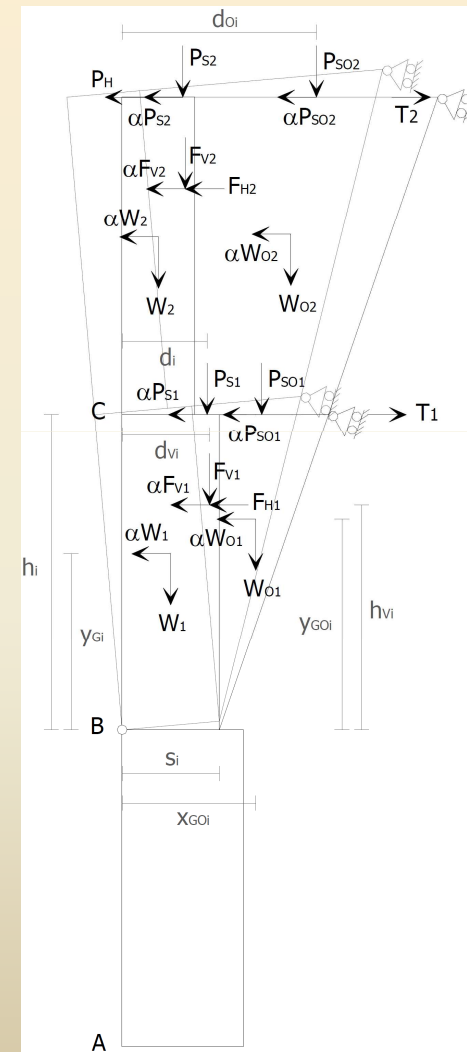


FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità



Ribaltamento della parete n.12 (2 livelli)

Analisi cinematica lineare dei meccanismi locali



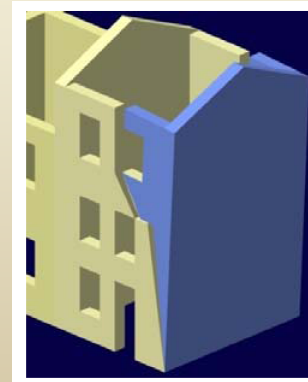
Cinematica lineare

Verifica SLV

<p>Vincolo a terra</p> <p>La verifica è soddisfatta</p> <p>$a^*_0 \ 1,80 \ [m/s^2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 0,87 \ [m/s^2]$</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $a^*_{0-min} = \frac{a_g \cdot S}{q} \quad [C8A.4.9]$ </div>	<p>Vincolo in quota</p> <p>La verifica è soddisfatta</p> <p>$a^*_0 \ 1,80 \ [m/s^2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 1,65 \ [m/s^2]$</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $a^*_{0-min} = \frac{S_g(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q} \quad [C8A.4.10]$ </div>
---	---

Moltiplicatore attivazione (a0) 0,203

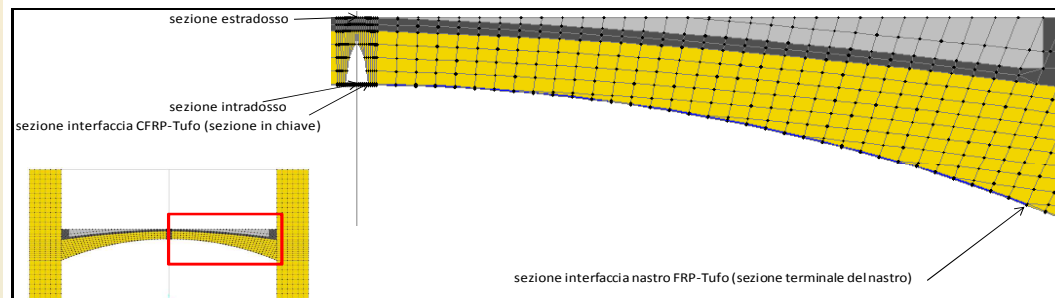
OK ?



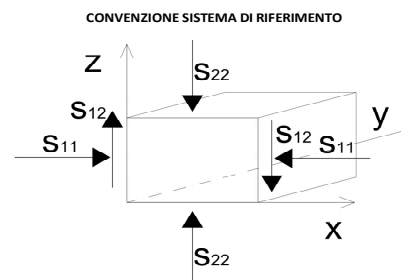
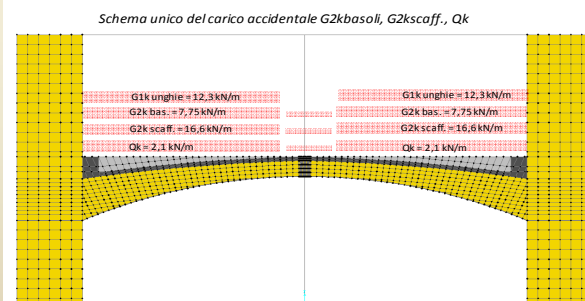
FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

Verifica locale volte in muratura sotto carico d'archivio

RISULTATI DELL'ANALISI DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE VOLTE A CROCIERA SOGGETTE A CARICHI GRAVITAZIONALI																							
Modello di calcolo	Schema di carico	Intradosso					Estradosso					Interfaccia nastro in FRP - Tufo (in chiave)					Interfaccia nastro in FRP - Tufo (sezione terminale del nastro)						
		S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin		
[-]		[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]		
R 08	Schema unico	11,31	0,91	0,00	11,31	0,91	-52,65	-2,04	0,21	-2,04	-52,65					0,00	0,00					0,00	0,00
R 09	Schema unico	73,39	0,35	1,77	73,43	0,31	-98,50	9,03	1,62	9,05	-98,52	27,04	-10,65	-0,33	27,04	-10,65	-9,57	1,70	-3,85	2,89	-10,76		
R 10	Schema unico	3,55	0,03	0,00	0,00	0,00	-35,70	-0,51	0,05	0,00	0,00					0,00	0,00					0,00	0,00
R 11	Schema unico	3,61	0,04	0,00	0,00	0,00	-35,67	-0,52	0,05	0,00	0,00					0,00	0,00					0,00	0,00



IPOTESI DI CALCOLO	
Modello R08	- Volta non confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari ad 8 cm all'estradosso;
Modello R09	- Volta non confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari a 8 cm all'estradosso; - Rinforzo con nastro in CFRP all'intradosso (1 strato da 50); - Simulazione dell'apertura di una lesione in chiave.
Modello R10	- Volta non confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari a 8 cm all'estradosso; - Carichi applicati: Qk = 400kg/mq; G2k = 350kg/mq
Modello R11	- Volta confinata lateralmente da un setto pari a 3,5m; - Soletta armata di spessore pari a 8 cm all'estradosso; - Carichi applicati: Qk = 400kg/mq; G2k = 350kg/mq



Carichi agenti		
G1k tufo =	1,60	t/m3
G1k c.a. =	2,50	t/m3
G1k cls .all. =	1,10	t/m3
G2k (scaff) =	0,75	t/m2
G2k (basolato) =	0,35	t/m2
Caratteristiche geometriche volta		
Tipo	Volta a Crociera	
Luce =	8,00	m
s tot in chiave =	0,41	m
s soletta c.a. =	0,08	m
s setto inferiore =	1,20	m
s setto superiore =	1,20	m
rinforzo con FRP =	1 nastro da 50cm	
Caratteristiche meccaniche tufo		
E =	1836,00	MPa
G =	705,50	MPa
Caratteristiche meccaniche c.a.		
E =	25000,00	MPa
G =	9615,00	MPa
Caratteristiche meccaniche cls all.		
E =	8000,00	MPa
G =	3077,00	MPa
Caratteristiche meccaniche CFRP		
E _{cfRP} =	230000,00	MPa

FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

Verifica locale volte in muratura sotto carico d'archivio

RISULTATI DELL'ANALISI DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE VOLTE A BOTTE SOGGETTE A CARICHI GRAVITAZIONALI																					
Modello di calcolo	Schema di carico	Intradosso					Estradosso					Interfaccia nastro in FRP - Tufo (in chiave)					Interfaccia nastro in FRP - Tufo (sezione terminale del nastro)				
		S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin	S11	S22	S12	Smax	Smin
[-]	[-]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]
R 27	Schema 1	1,52	0,02	0,00	1,25	0,02	-11,57	-0,56	-0,01	-0,56	-11,57				0,00	0,00				0,00	0,00
	Schema 2	2,34	0,03	0,00	2,34	0,02	-12,90	-0,75	-0,01	-0,75	-12,90				0,00	0,00				0,00	0,00
R 28	Schema 1	5,87	0,42	0,01	5,87	0,42	-13,72	-0,68	0,02	-0,68	-13,72	3,65	-0,33	-0,36	3,68	-0,36	-0,48	-3,04	0,27	-0,45	-3,07
	Schema 2	9,56	0,69	0,01	9,56	0,69	-16,61	-0,92	0,07	-0,92	-16,61	5,95	-0,54	-0,59	6,00	-0,59	-0,68	-4,17	0,39	-0,64	-4,21
R 29	Schema 3	2,88	0,04	-0,01	2,88	0,04	-9,86	-0,80	0,20	-0,80	-9,86				0,00	0,00				0,00	0,00
	Schema 4	1,74	0,02	-0,01	1,74	0,02	-6,22	-0,48	0,18	-0,47	-6,23				0,00	0,00				0,00	0,00
R 30	Schema 3	12,51	0,90	0,02	12,51	0,90	-14,55	1,02	0,15	1,02	-14,55	7,87	-0,66	-0,77	7,94	-0,73	-0,46	-2,92	0,26	-0,43	-2,95
	Schema 4	7,40	0,53	0,01	7,40	0,53	-8,87	-0,59	0,09	-0,59	-8,87	4,68	-0,38	-0,46	4,72	-0,42	-0,25	-1,68	0,14	-0,24	-1,69

IPOTESI DI CALCOLO	
Modello R27	- Volta confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari ad 8 cm all'estradosso;
Modello R28	- Volta confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari a 8 cm all'estradosso; - Rinforzo con nastri in CFRP all'intradosso (1 strato da 50/1,5m); - Simulazione dell'apertura di una lesione in chiave.
Modello R29	- Volta non confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari ad 8 cm all'estradosso;
Modello R30	- Volta non confinata lateralmente; - Soletta armata di spessore pari ad 8 cm all'estradosso; - Rinforzo con nastri in CFRP all'intradosso (1 strato da 0,50/1,5m); - Simulazione dell'apertura di una lesione in chiave.

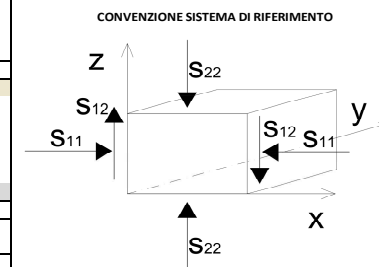
Schema 1 del carico accidentale G2kbasoli, G2kscaff., Qk

Schema 2 del carico accidentale G2kbasoli, G2kscaff., Qk

Schema 3 del carico accidentale G2kbasoli, G2kscaff., Qk

Schema 4 del carico accidentale G2kbasoli, G2kscaff., Qk

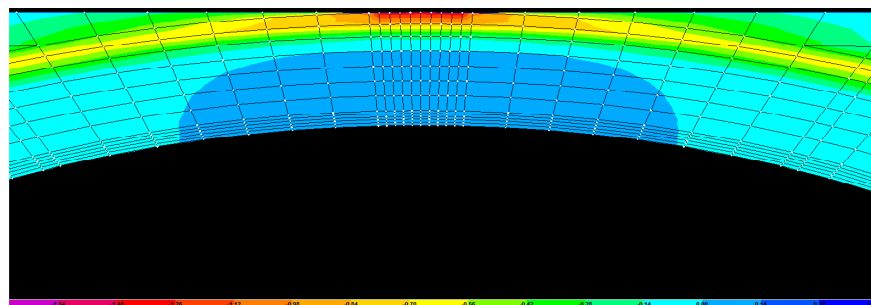
Carichi agenti		
G1k tufo=	1,60	t/m3
G1k c.a.=	2,50	t/m3
G1k cls all.=	1,10	t/m3
G2k(scaff)=	0,75	t/m2
G2k(basolato)=	0,35	t/m2
Caratteristiche geometriche volta		
Tipo	Volta a Botte	
Luce =	5,97	m
s tot in chiave =	0,38	m
s soletta c.a.=	0,08	m
s setto inferiore=	0,75	m
s setto superiore =	0,65	m
rinforzo con FRP =	1 nastro da 50cm/1,5m	
Caratteristiche meccaniche tufo		
E =	1836,00	MPa
G =	705,50	MPa
Caratteristiche meccaniche c.a.		
E =	25000,00	MPa
G =	9615,00	MPa
Caratteristiche meccaniche cls all.		
E =	8000,00	MPa
G =	3077,00	MPa
Caratteristiche meccaniche CFRP		
E _{cfrp} =	230000,00	MPa



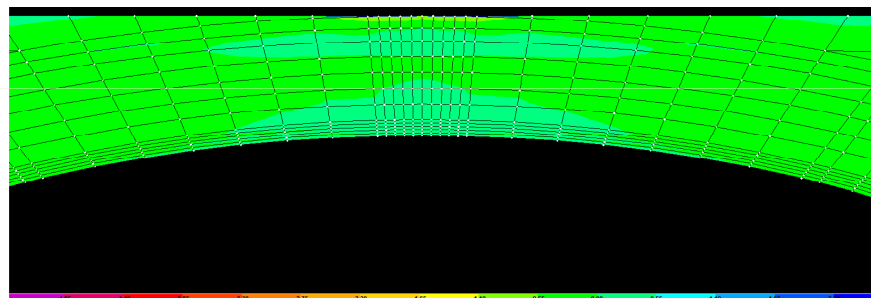
FASE 4 – Metodo di analisi e verifiche di vulnerabilità

Verifica locale volte in muratura sotto carico d'archivio

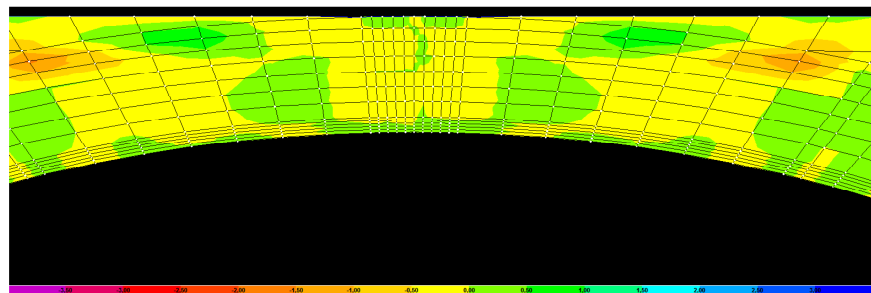
VERIFICA DELLO STATO TENSIONALE NELLA SEZIONE DI CHIAVE DI UNA VOLTA A BOTTE



Sezione in chiave tensione S11

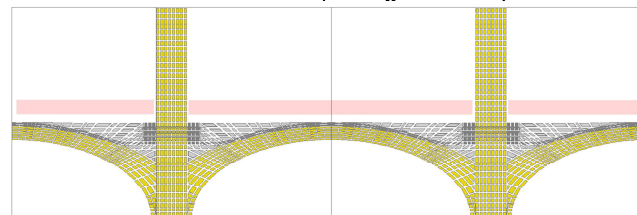


Sezione in chiave tensione S22



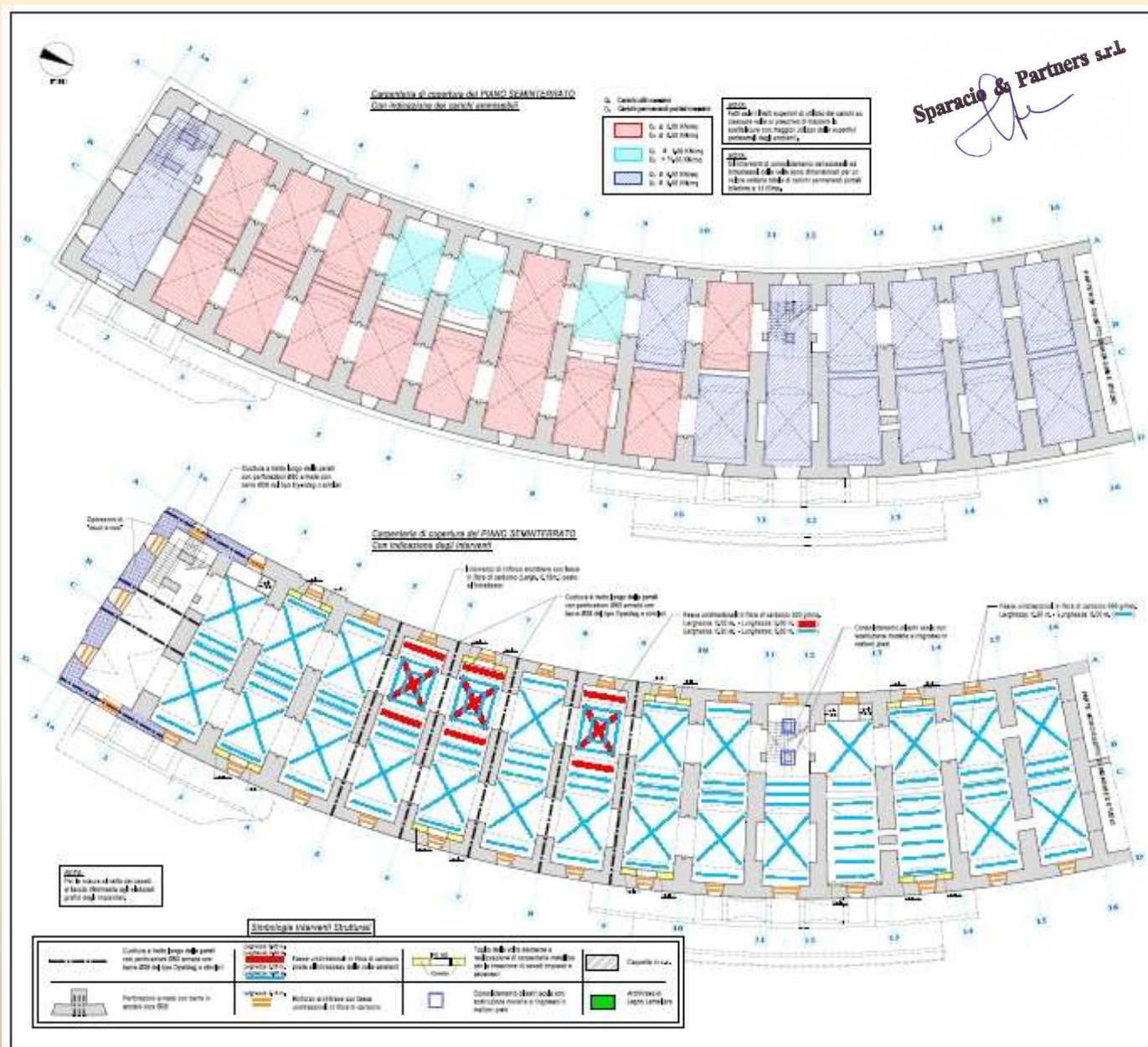
Sezione in chiave tensione S12

SCHEMA DEL CARICO ACCIDENTALE G2k (G2k scaff. + G2k basoli) - schema 1



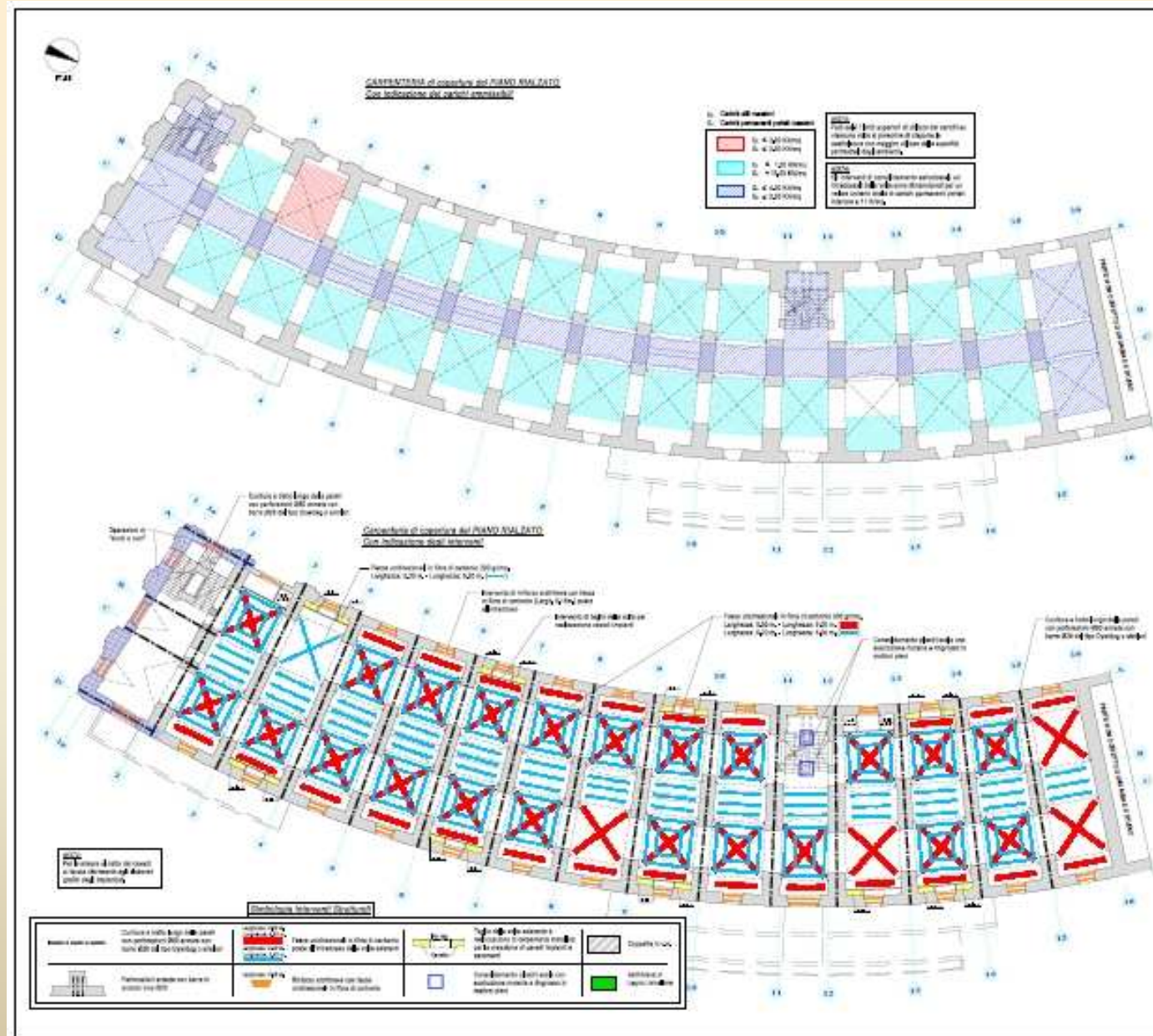
Carichi agenti			Modello R23			
G1k tufo=	1,60	t/m3				
G1k c.a.=	2,50	t/m3				
G1k cls .all.=	1,10	t/m3				
G2k(scaff) =	0,75	t/m2				
G2k(basolato) =	0,35	t/m2				
Caratteristiche geometriche volta			- Presenza di una soletta armata di spessore pari ad 8 cm in corrispondenza dell'estradosso;			
Tipo					Volta a Botte	
Luce =					5,97	m
s totale in chiave =					0,38	m
s soletta c.a.=					0,08	m
s setto inferiore=			0,75	m		
s setto superiore =			0,65	m		
rinforzo con FRP =			2 nastri da 25cm			
Caratteristiche meccaniche tufo						
E =	1080,00	MPa				
G =	415,00	MPa				
Caratteristiche meccaniche c.a.						
E =	25000,00	MPa				
G =	9615,00	MPa				
Caratteristiche meccaniche cls all.						
E =	8000,00	MPa				
G =	3077,00	MPa				

FASE 5 – Gli interventi di consolidamento



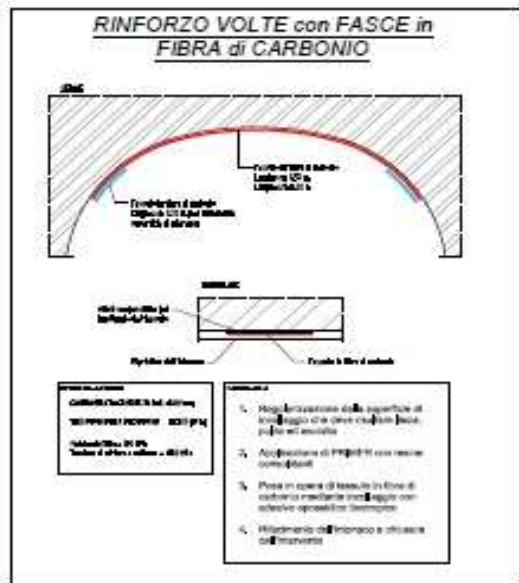
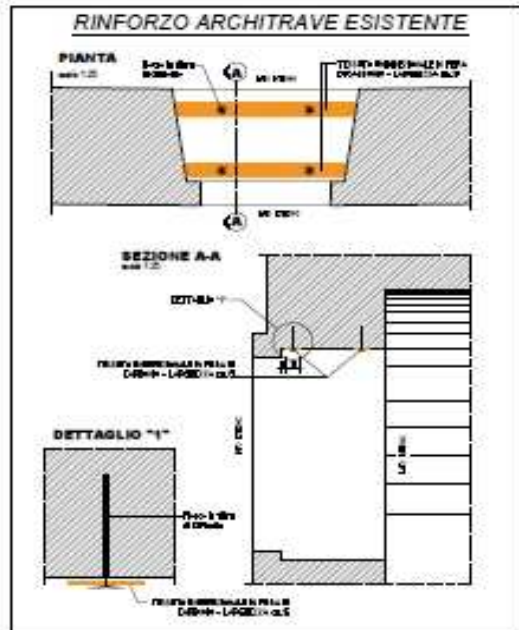
Sparacio & Partners s.r.l.

FASE 5 – Gli interventi di consolidamento



FASE 5 – Gli interventi di consolidamento

Rinforzo in CFRP di architravi in muratura e di volte a botte e crociera

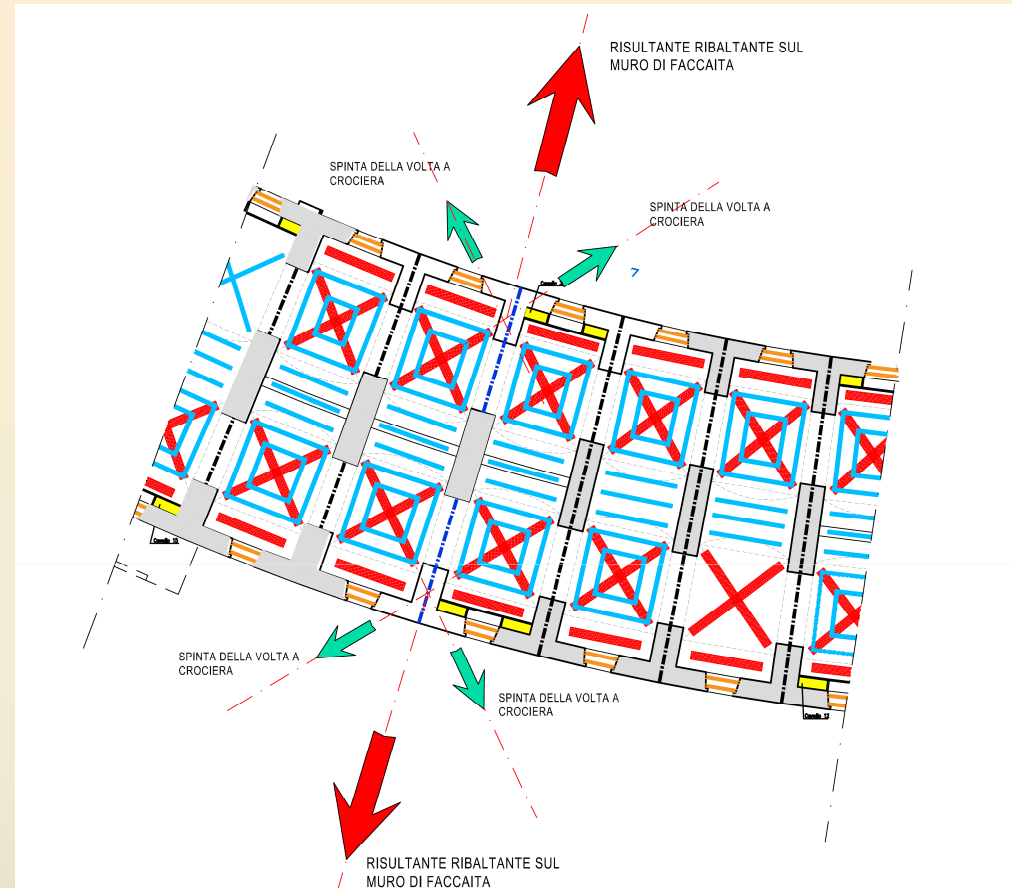
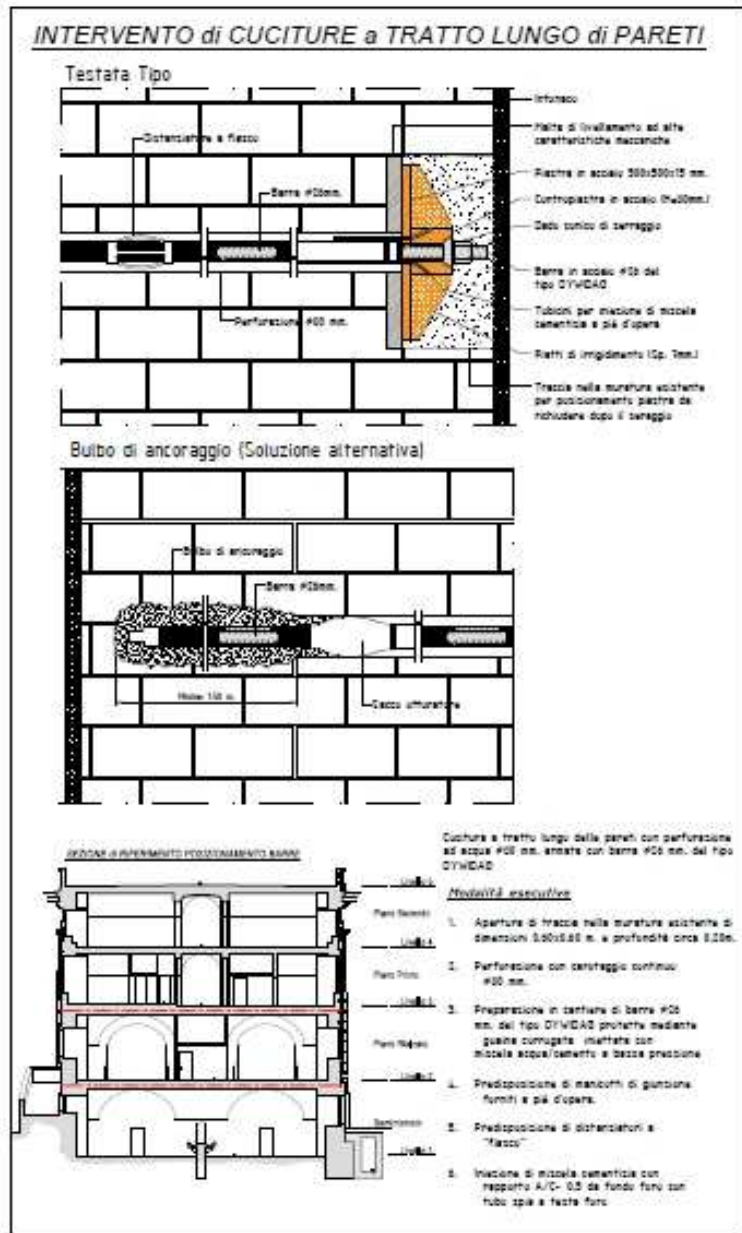


Verifica della sezione in muratura armata con FRP

Calcolo approssimato del momento ultimo in sezione muraria armata con FRP

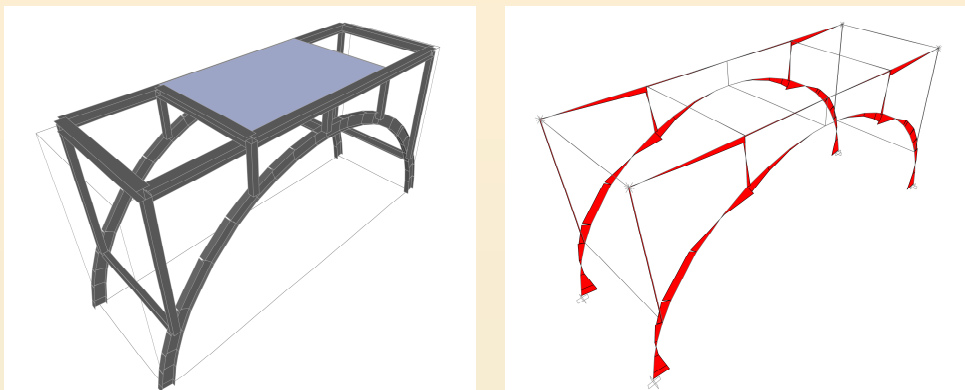
	Modello	R 09	Schema di carico	unico
SEZIONE	A's =	186,00 [mm ²]	Armatura superiore	
	As =	87,00 [mm ²]	Armatura inferiore = larghezza nastro x s _{fp}	
	u =	2,14	Rapporto fra le armature A's/As	
	t =	1500,00 [mm]	Larghezza sezione	
	h =	410,00 [mm]	Altezza sezione	
	c =	0,00 [mm]	Coprifermo	
	d =	410,00 [mm]	d = h - c	
	Nd =	326.300,00 [N]	Sforzo normale agente di progetto in chiave	
	λ's = λs =	1,00		
	FRP	f ^{FRP} _k =	4510,00 [Mpa]	Resistenza ultima FRP
s _{FRP} =		0,174 [mm]	Spessore nominale tessuto in FRP	
γ _f =		1,50	Coeff parziale per distacco LG FRP tab. 2-1	
η =		7,70	Coefficiente di limitazione della tensione di esercizio su quella di progetto	
f ^{FRP} _d =		390,48 [Mpa]	Resistenza di progetto tessuto FRP = f _k / γ _f	
L _{FRP} =		500,00 [mm]	Larghezza della fibra	
MURATURA	Sistema	B	Solo materiale certificato LG FRP 2.4.1.	
	γ _{Rd} =	1,00	Coeff parziale per modello di resistenza LG FRP 2.4.2.	
	f _k =	3,23 [Mpa]	Circ. 617/09 tab. C8A.2.1	
	E =	1835 [Mpa]	Circ. 617/09 tab. C8A.2.1	
	γ _m =	2,00	NNTC08 Tab. 4.5.II	
	F _c =	1,00	Fattore di confidenza	
	f _d =	1,62 [Mpa]	Resistenza di progetto muratura = f _k / (γ _m * F _c) NNTC 4.5.6.1	
	τ _{dec} =	0,200 [Mpa]	limite di decoesione pietra	
	τ _{dec,d} =	0,100 [Mpa]	τ _{dec,d} = τ _{dec} / (γ _m * F _c)	
	q =	0,04024	Percentuale meccanica di armatura q = [As * f ^{FRP} _d] / [t * d * 0,85 * f _d]	
δ =	0,00000	δ = c / d		
N ₀ =	844.241,25 [N]	Sforzo normale ultimo intera sezione N ₀ = t * d * 0,85 * f _d		
nd =	0,38650 = 0,8 * ξ	Sforzo normale agente adimensionalizzato nd = Nd / N ₀ = 0,8 * ξ = 0,8 * X / δ		
mu =	0,21904	Momento flettente specifico mu = Mu / [d * N ₀] = [q * (u * λ's + λs) * (1 - δ) / 2 + 0,4 * ξ * (1 + δ - 0,4 * ξ)]		
Mu =	75.817.687,64 [Nmm]	Att.: Si pone λ's = λs = 1 imponendo un limite al livello elastico di tensione nella fibra		
Mu =	7.581,77 [Kgm]	Momento ultimo compatibile con lo sforzo Nd agente Mu = mu * d * N ₀		
Msd =	6.767,00 [Kgm]	< verificato		
Verifica Msd < Mu				
SF =	33.971,43 [N]	Sforzo di trazione nella fibra		
τ _{ad} =	0,068 [N/mm ²]	Tensione unitaria di aderenza al tufo < verificato		

FASE 5 – Gli interventi di consolidamento

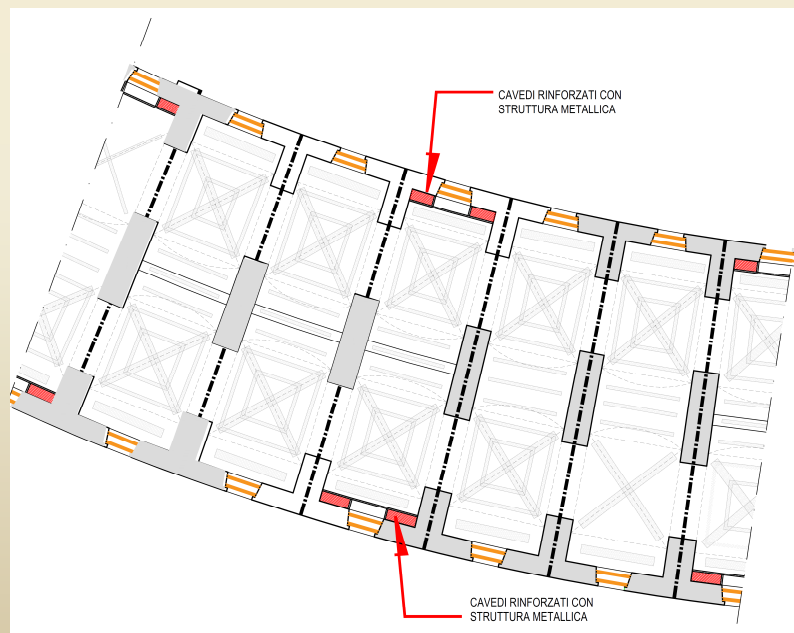


Incatenamento con tiranti a tratto lungo del tipo Diwydag in corrispondenza delle sezioni di applicazione delle risultanti di spinta delle volte a crociera

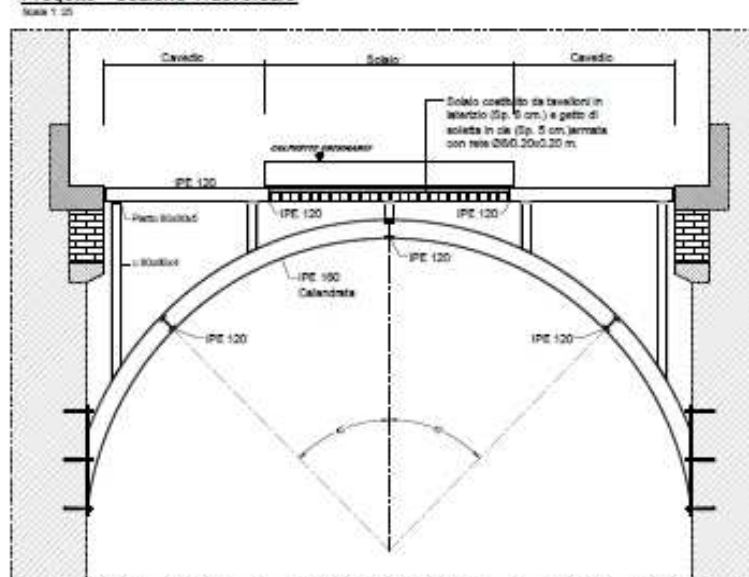
FASE 5 – Gli interventi di consolidamento



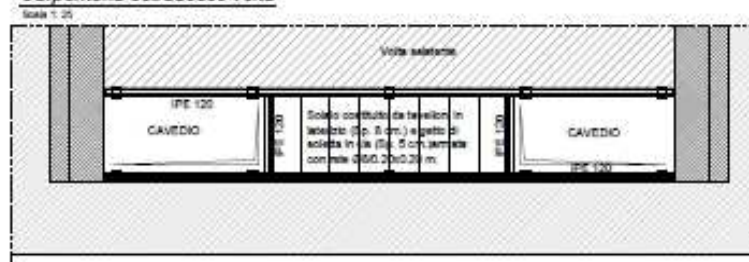
Soluzione con rinforzo locale delle volte per la realizzazione di cavedi impiantistici



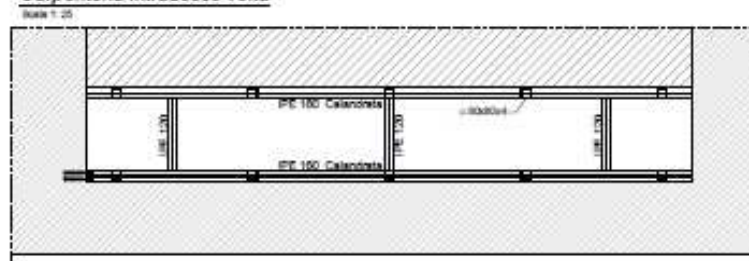
Progetto - Sezione Trasversale



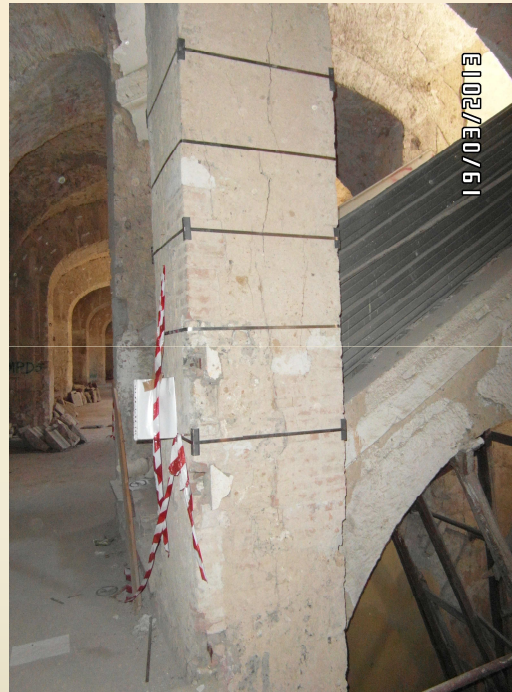
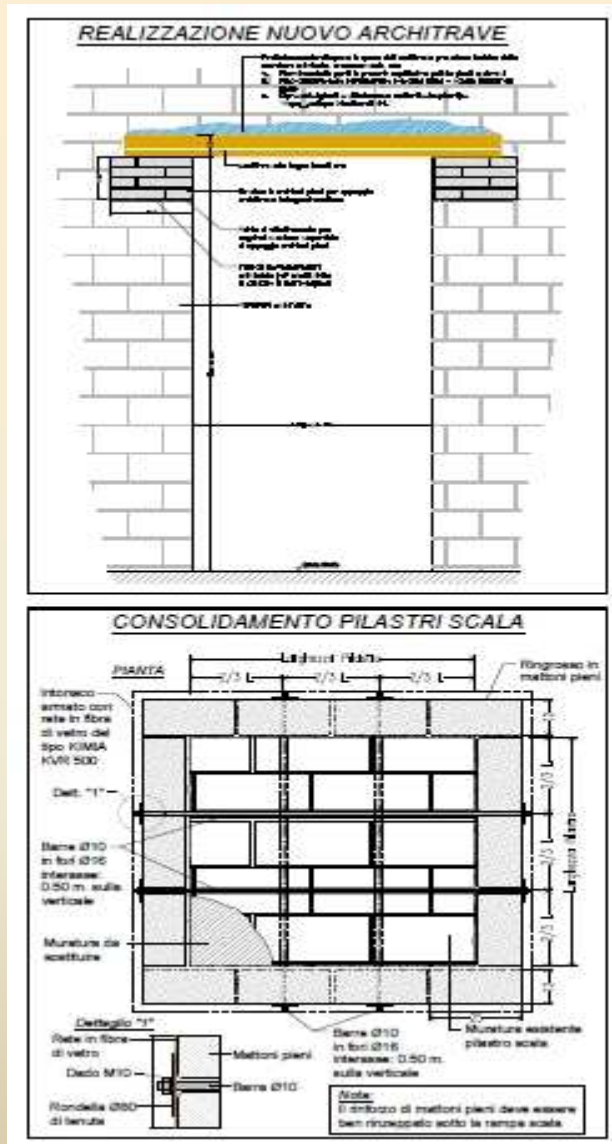
Carpenteria estradosso volta



Carpenteria intradosso volta



FASE 5 – Gli interventi di consolidamento



Intervento provvisorio di cerchiatura di pilastro in muratura con reggette in acciaio inox