



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

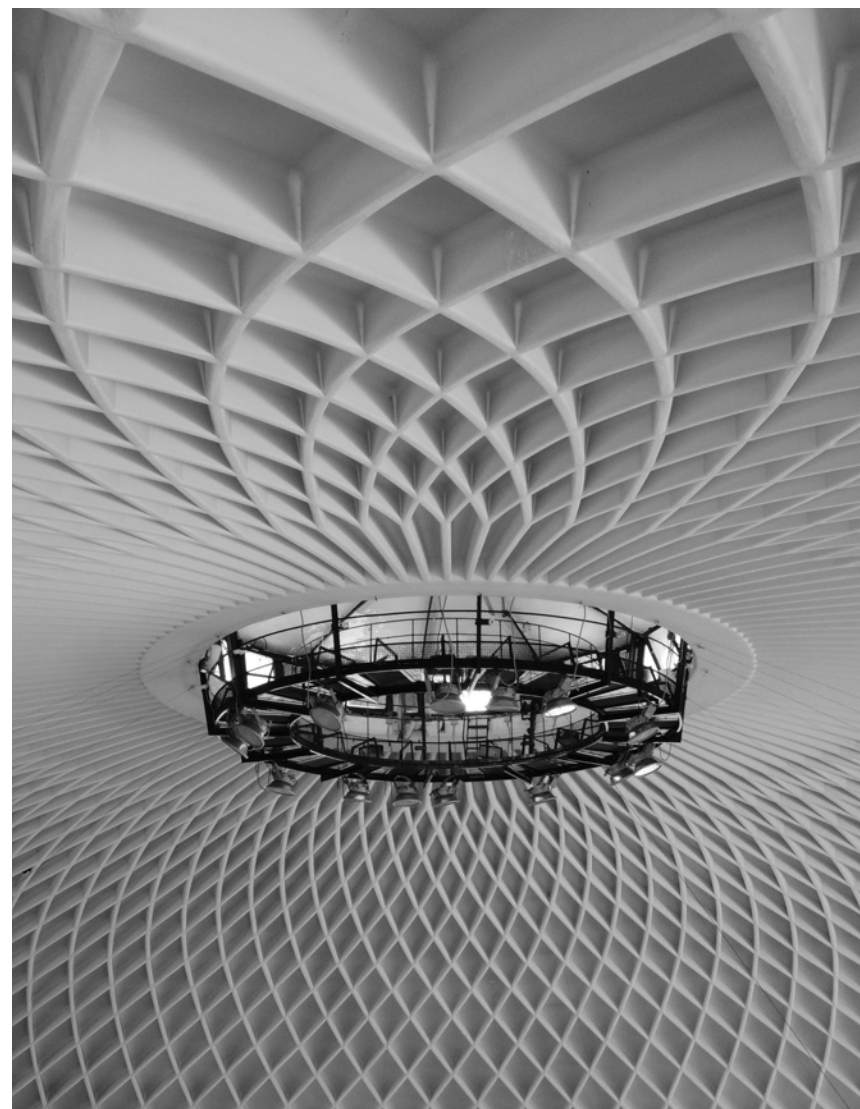


Roma, 21 settembre 2026

Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

Francesco Romeo

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica
SAPIENZA Università di Roma
Via Gramsci 53 -00197 Roma
Ph. +39 06 49919235 Fax +39 06 49919192
francesco.romeo@uniroma1.it



F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ROMA



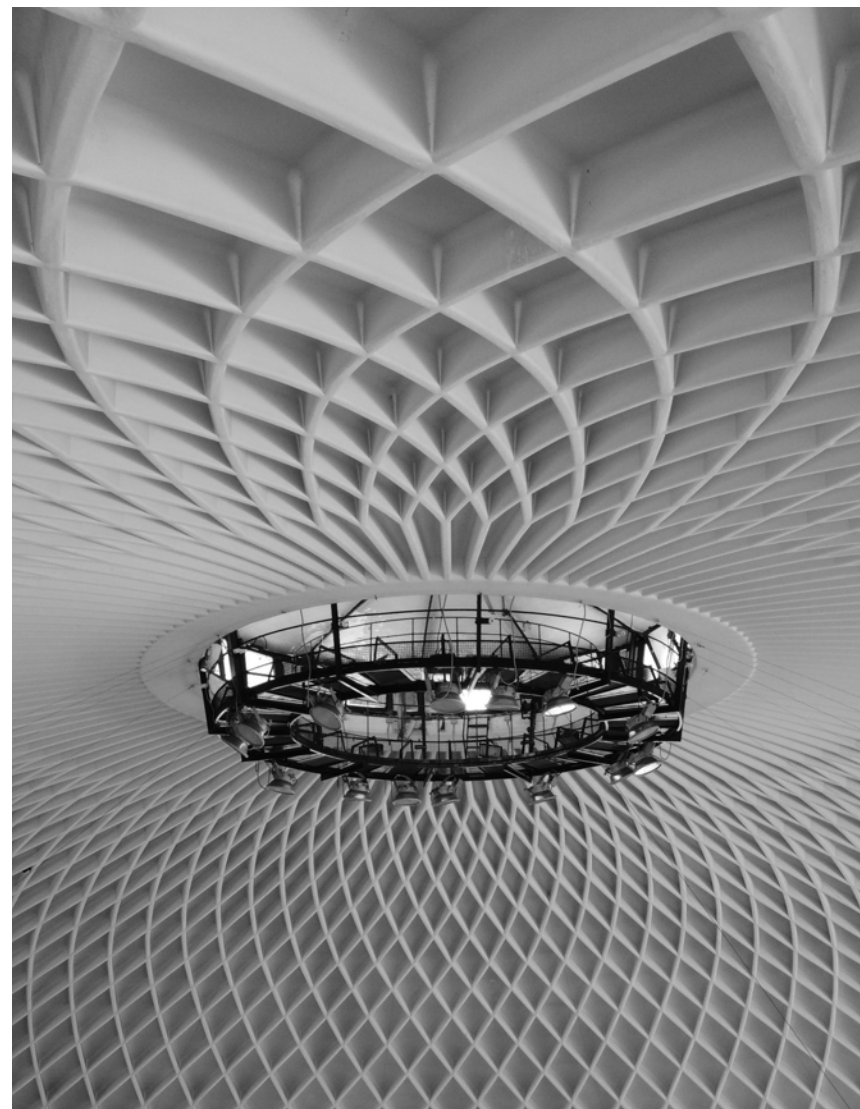
Dipartimento Grandi Eventi, Sport, Turismo e Moda
Direzione Sport
U.O. Gestione e Sviluppo Impiantistica Sportiva

Studio di adeguatezza sismica e realizzazione di un sistema di monitoraggio strutturale statico e dinamico per il Palazzetto dello Sport di Roma

In collaborazione con: A. Zagaroli, J. Ciambella, G. Ranzi, M. Giodice,
C. Di Bella, D. Bernardini, G. Lanzo

Ciambella J., Ranzi G., Romeo F., The Pier Luigi Nervi's concrete structure of Palazzetto dello Sport: Modeling and dynamic characterization, *Structural Concrete*, DOI: [10.1002/suco.202400320](https://doi.org/10.1002/suco.202400320), 2024.

Zagaroli A., Romeo F., Bernardini D., Fiber-Based Modeling and Analysis of Deteriorated Reinforced Concrete Heritage Structures: The Case Study of "Palazzetto dello Sport" by Pier Luigi Nervi, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 10.1007/978-3-031-30125-4_23, 2023.



F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

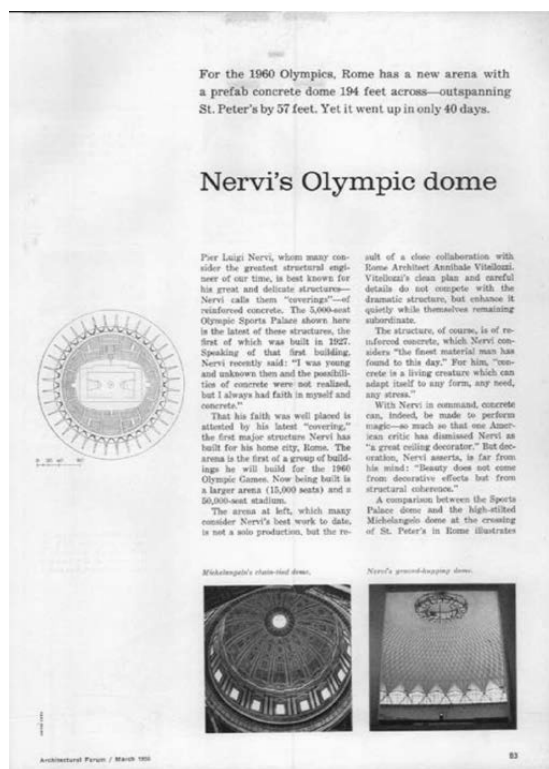
21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Il contesto



Ricerche di archivio



Architectural Forum, March 1958

ARCHIVIO STORICO C.O.N.I., Comitato Olimpico Nazionale Italiano, Roma

Elaborati grafici dello Studio Nervi & Bartoli (cod. tavola)

- t1. *Fondazioni pilastri*, scala 1:100 e 1:20, 24 agosto 1956 (11e)
- t2. *Progetto esecutivo: pianta a q. -2,35 m*, scala 1:100, maggio 1956 (DIS PI 1)
- t3. *Progetto esecutivo: pianta a q. +0,65 m*, scala 1:100, maggio 1956 (DIS PI 2)
- t4. *Progetto esecutivo: pianta a q. +4,85 m*, scala 1:100, maggio 1956 (DIS PI 3)
- t5. *Progetto esecutivo: prospetto*, scala 1:100
- t6. *Progetto esecutivo: sezione C-D*, scala 1:50, maggio 1956 (DIS S1)
- t7. *Scavo di fondazioni e scantinati*, scala 1:200, 25 luglio 1956 (1e)
- t8. *Particolare dell'anello di fondazione*, scala 1:10, 26 luglio 1956 (3e)
- t9. *Piastre prefabbricate per l'ancoraggio dei cavi*, scala 1:5, 28 luglio 1956 (4e)
- t10. *Pilastrone: pianta con armatura*
- t11. *Pilastrone: sezione con armatura*
- t12. *Particolare sezioni scale accesso campo B-B e D-D*, scala 1:50 e 1:20, 8 ottobre 1956 (32e)
- t13. *Gradoni prefabbricati da q. 19.85 a q. 20.35 - armatura*, scala 1:5, 28 novembre 1956 (73e)
- t14. *Pianta soletta gradone q. 20.35 con posizione fori impianto di condizionamento*, scala 1:50, 28 novembre 1956 (94e)
- t15. *Sezioni sulle gradinate tra gli allineamenti 5/22*, scala 1:20 e 1:10, 12 marzo 1957 (102e)
- t16. *Murature: sezione G-G di cui alla tavola 104e*, scala 1:20, 14 marzo 1957 (107e)
- t17. *Gradoni prefabbricati da q. 19.35 a q. 19.85 - cassaforma*, scala 1:5, 26 novembre 1956 (70e)
- t18. *Sezione A-A gradinate sopra solaio q. 19.05*, scala 1:5 e 1:1, 28 novembre 1956 (95e)
- t19. *Particolari delle murature tra gli allineamenti 15,16,17,18,19,20,21,22*, scala 1:50, 11 marzo 1957 (101e)
- t20. *Pianta degli scavi campo da gioco e gradinate*, scala 1:100, 1:50 e 1:20, 13 marzo 1957 (103e)
- t21. *Pianta dei gradoni*, scala 1:50 e 1:1, 21 marzo 1957 (114e)
- t22. *Tracciamento assi dei tavelloni*, scala 1:50, 30 luglio 1956 (6e)
- t23. *Sagome delle nervature sulla forma a terra*, scala 1:1, 1 agosto 1956 (7e)
- t24. *Bordi prefabbricati voltine - armatura*, scala 1:10 e 1:1, 20 novembre 1956 (65e)

- t25. *Voltine prefabbricate*, scala 1:10, 19 novembre 1956 (66e)
- t26. *Attacco della volta ai pilastri*, scala 1:5, 23 novembre 1956 (69e)
- t27. *Pianta degli assi dei tavelloni*, scala 1:50, 27 dicembre 1956 (81e)
- t28. *Cupola - tavelloni prefabbricati tipo 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12*, scala 1:10 e 1:2, 21 settembre 1956 (19e)
- t29. *Voltine prefabbricate*, scala 1:10, 19 novembre 1956 (67e)
- t30. *Voltine prefabbricate - armatura*, scala 1:20 e 1:2, 20 novembre 1956 (68e)

Foto di cantiere

- F1. *Predisposizione dei tavelloni prefabbricati a piè d'opera*;
- F2. *Trasporto dei tavelloni prefabbricati per la posa in opera*;
- F3. *Cavalletti: vista dall'esterno dopo il completamento*;
- F4. *Cavalletti: vista dall'interno; in evidenza i ferri di attesa e le travi di bordo prefabbricate delle voltine*;
- F5. *Predisposizione del ponteggio della volta e posizionamento della gru al centro della costruzione*;
- F6. *Dettaglio del ponteggio della volta*;
- F7. *Vista interna: completamento della volta*;
- F8. *Fasi costruttive: predisposizione del ponteggio della volta*;
- F9. *Fasi costruttive: posizionamento dei tavelloni prefabbricati*;
- F10. *Fasi costruttive: completamento posa in opera dei tavelloni*;
- F11. *Fasi costruttive: completamento della volta*.

ARCHIVIO MUSEO MAXXI ARCHITETTURA, Roma, Fondo PLN, Palazzetto dello Sport

Foto di cantiere

- F1. *Scavo dell'anello di fondazione con predisposizione dei cavi*;
- F2. *Predisposizione delle casseforme per il getto dei cavalletti*;
- F3. *Volta: dettaglio della fascia dei 'ventagli' e delle 'voltine'*;
- F4. *Volta: trama dei tavelloni prefabbricati a definire il profilo della volta*;
- F5. *Volta: posizionamento dei tavelloni in prossimità dell'oculus*;
- F6. *Volta: inserimento delle armature e getto di completamento*.

- Schodek Daniel L., *Stutture*, Pàtron Editore, Bologna 2004
- Zevi Bruno, *Un Pantheon schiacciato di cemento armato*, in 'Cronache di architettura', pp. 73-190, Bari, 1971
- Argan Giulio Carlo, *Pier Luigi Nervi*, Il Balcone, Milano, 1955
- Vaccaro Giuseppe, *Il Palazzetto dello Sport a Roma*, in 'L'architettura, cronache e storia', n. 27, gennaio 1958
- Leslie Thomas, *Form as diagram of forces: the equiangular spiral in the work of Pier Luigi Nervi*, in 'Journal of Architectural Education', pp. 45-54, 2003
- Nervi Pier Luigi, *Arte o scienza del costruire*, Edizione della Bussola, Roma, 1945
- Nervi Pier Luigi, *Nuove strutture*, Edizioni di Comunità, Milano, 1963
- Nervi Pier Luigi, *Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano, 1965
- Huxtable Ada Louise, *Pier Luigi Nervi*, Edizioni George Braziller, New York, 1960
- Pica Agnoldomenico, *Pier Luigi Nervi*, Editalia, Roma, 1969
- Iori Tullia, *Le opere di Pier Luigi Nervi alle Olimpiadi di Roma del 1960*, in 'Rassegna di architettura e urbanistica', n. 121-122 gennaio-agosto 2007, pp. 105-119
- Santiago Michel, *Palazzetto dello Sport*, in 'Architectural review', n. 123, febbraio 1958, pp. 140-141
- Palais des sports à Rome, in 'Techniques et architecture', n. 18, dicembre 1958, pp. 56-59
- Der Palazzetto in Rom, in 'Deutsche Architektur', n. 3, marzo 1959, pp. 150-152
- Palazzetto dello Sport in Rom, in 'Bauen und Wohnen', n. 15, novembre 1961, pp. 426-427
- Petit hall de sports à Rome, in 'Architecture d'aujourd'hui', n. 29, febbraio 1958, pp. 28-31



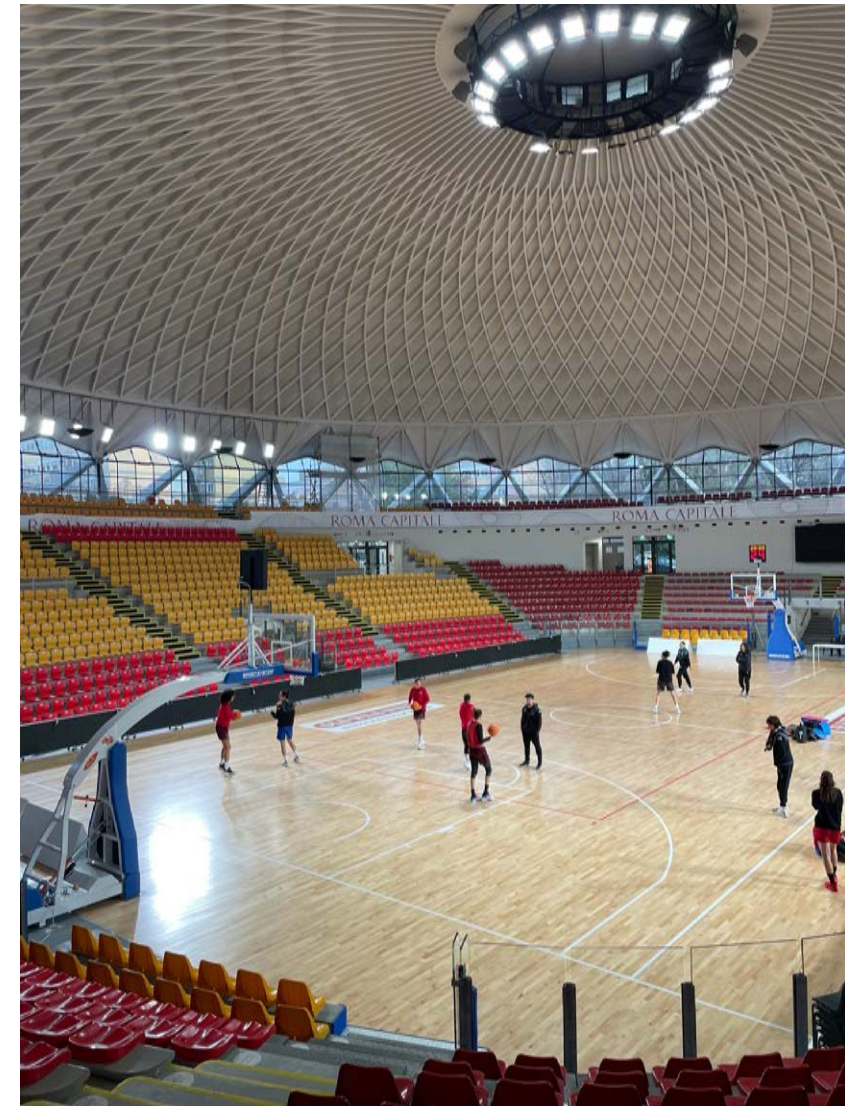
F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

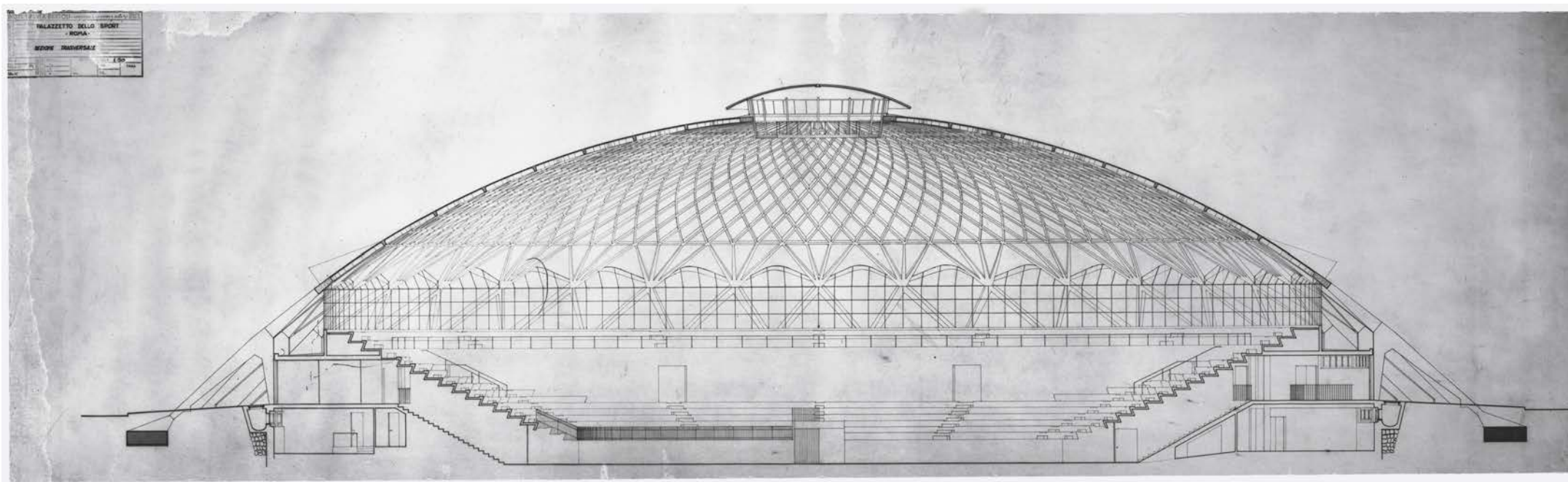
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Dati generali

- Progetto 1954-55, costruzione 26.7.1956 – 15.9.57 - Impresa Nervi e Bartoli
- Geometria preliminare della cupola di Sergio Musmeci
- “Prototipo di palazzo dello sport di media grandezza e di tipo economico”
- Capienza originale 4000 – 5000 spettatori
- Calotta sferica nervata di diametro interno 59.2 m, altezza 21 m, costituita da 1620 elementi prefabbricati (tavelloni)
- 36 cavalletti a Y in cemento armato gettato in opera
- Piano di gioco a -3 m dal piano di campagna
- Trave ad anello di fondazione precompressa di diametro 81.5 m



Documentazione di archivio

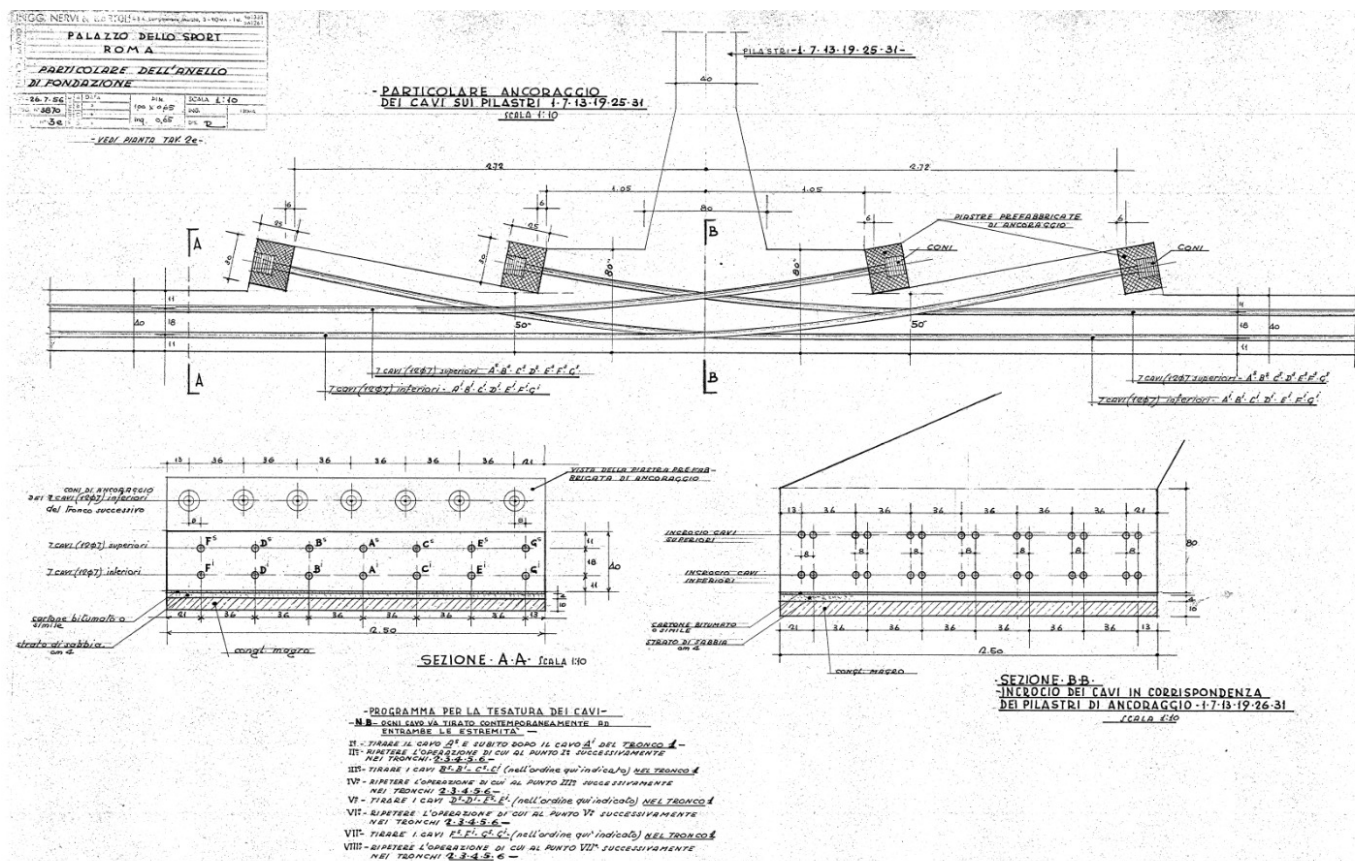
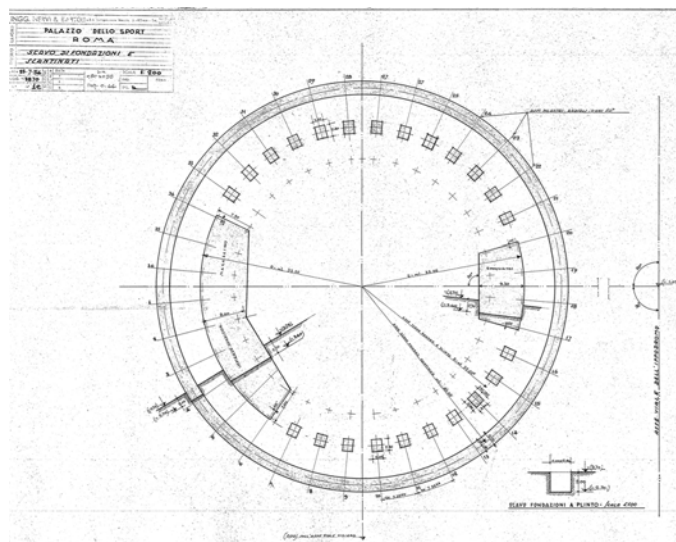


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

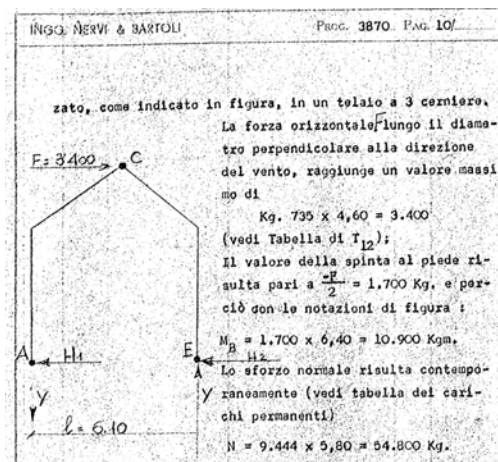
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Anello precompresso di fondazione

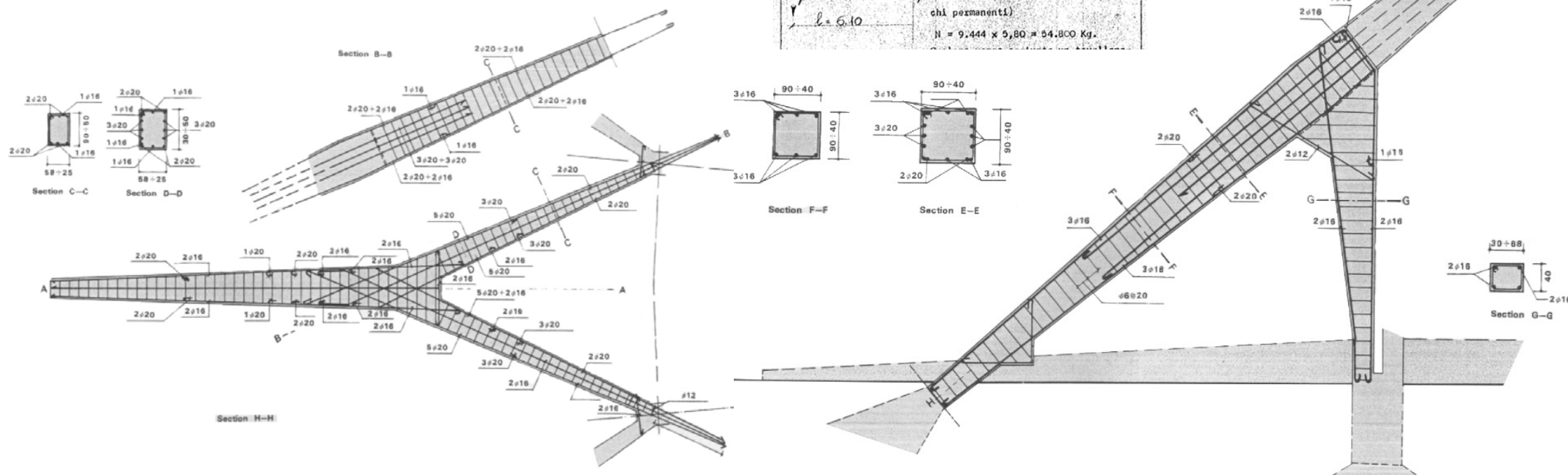


Documentazione di archivio

Cavalletti gettati in opera



Relazione di calcolo: cavalletti



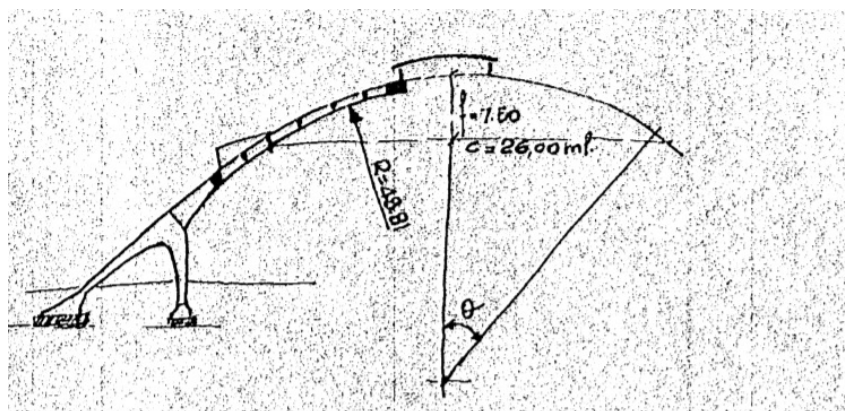
F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Documentazione di archivio

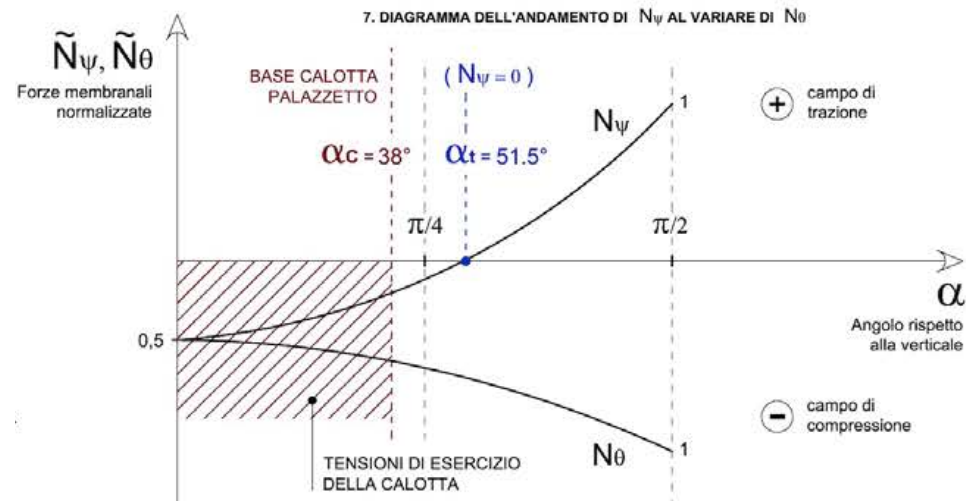
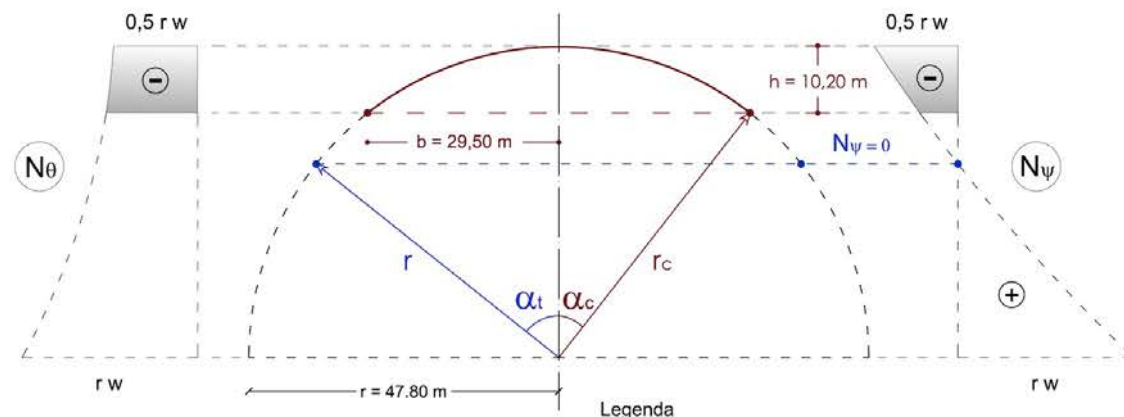
Relazione di calcolo: cupola



INGG. NERVI & BARTOLI

PROG. 3870 PAG. 2 /

$$\begin{cases} S_1 = + \gamma_m R s \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} - \frac{P}{2 \pi R} \frac{1}{\sin^2 \varphi} \\ S_2 = \gamma_m R s \left(\frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right) + \frac{P}{2 \pi R} \frac{1}{\sin^2 \varphi} \end{cases}$$



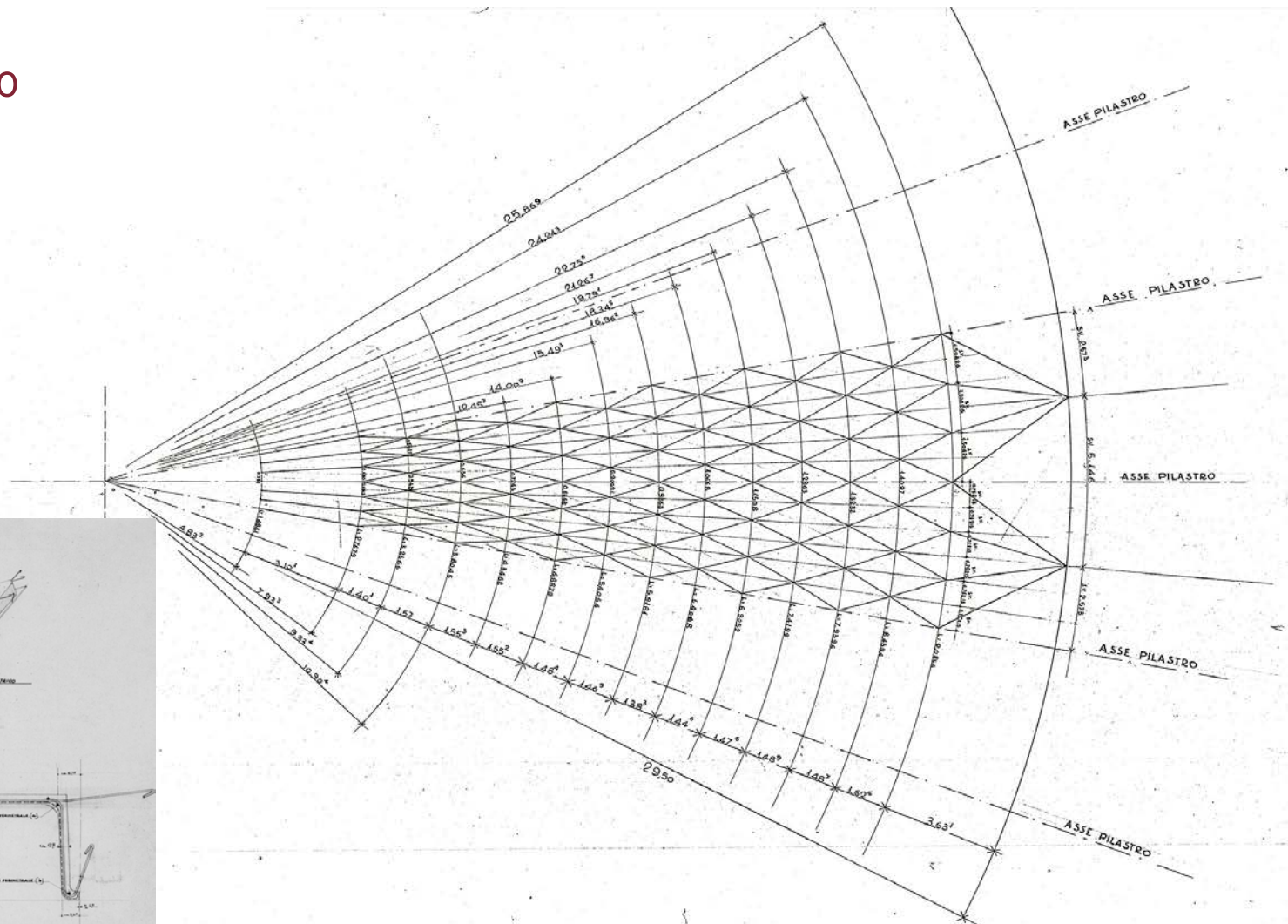
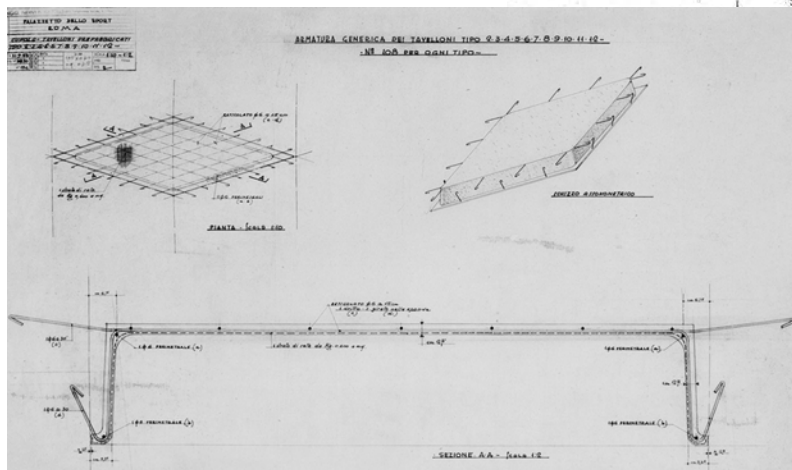
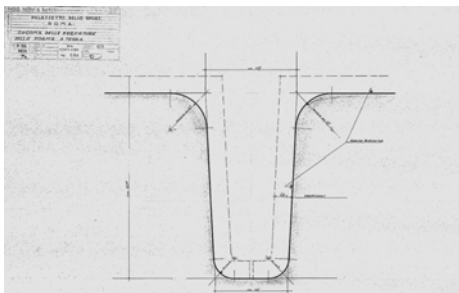
F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Documentazione di archivio

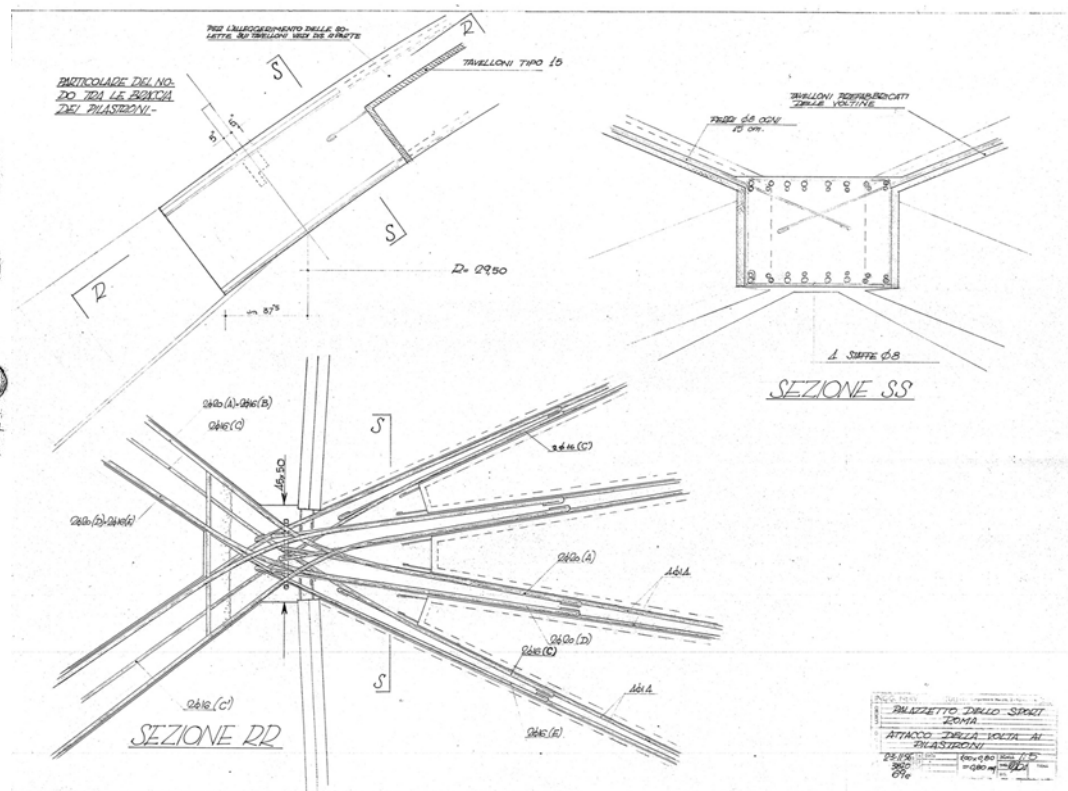
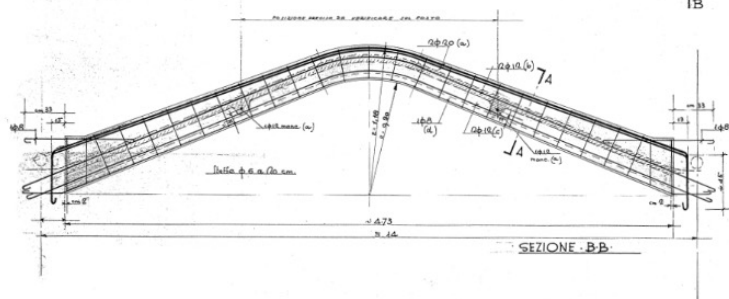
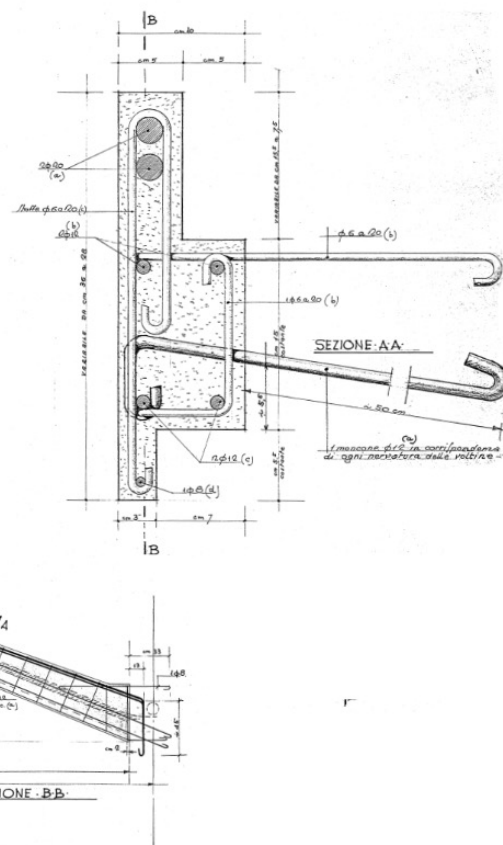
Tracciamento assi nervature



Documentazione di archivio

Dettagli delle armature

ING. NERVI & BASTOLI - S.p.A. - Via Salaria, 100 - 00198 Roma			
PALAZZETTO DELLO SPORT - ROMA			
BORDI PREFABBRICATI VOLTINI - ARPIA TUSCANIA			
PROGETTO	VERBA	DATA	REDAZIONE
1968	1968	1968	1968
1968	1968	1968	1968
1968	1968	1968	1968

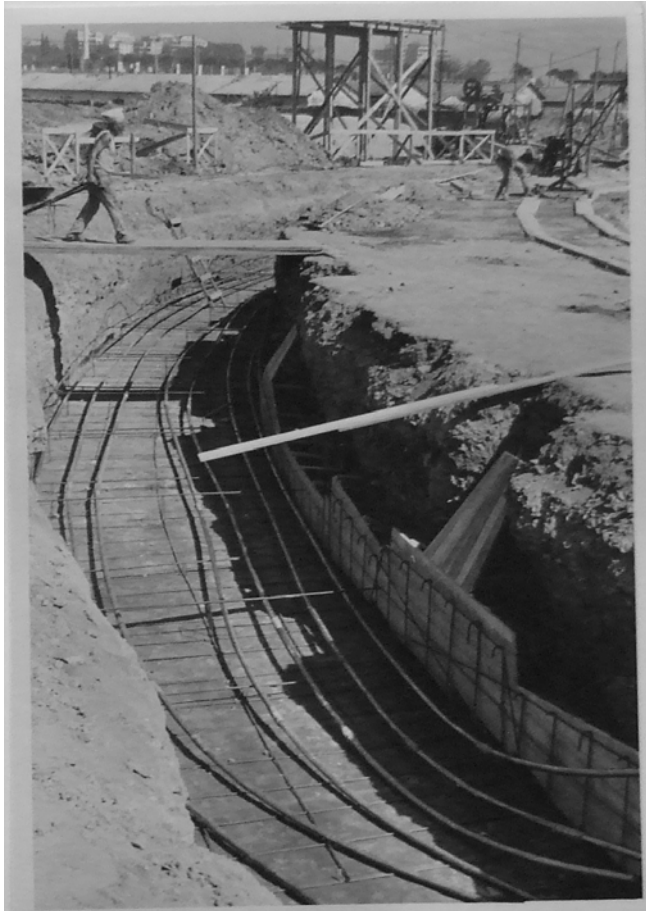


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

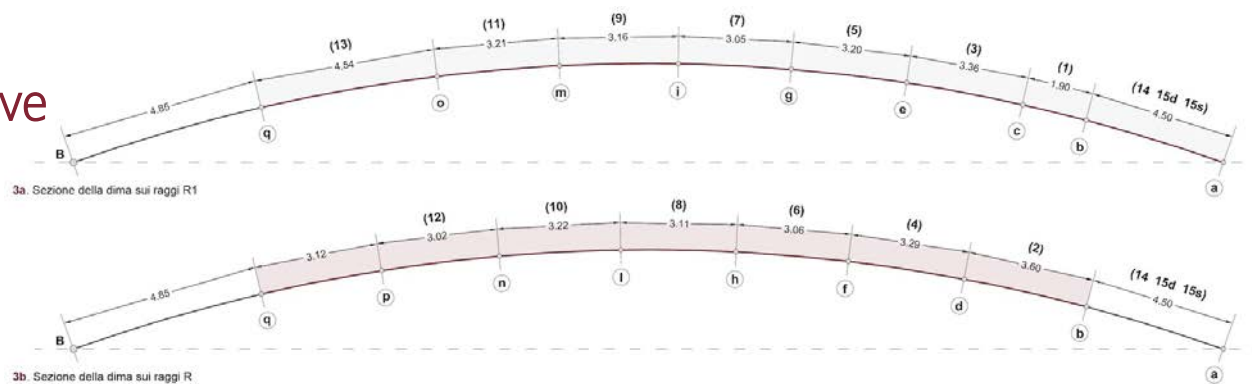
Modalità costruttive



Modalità costruttive



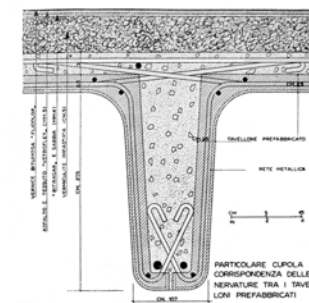
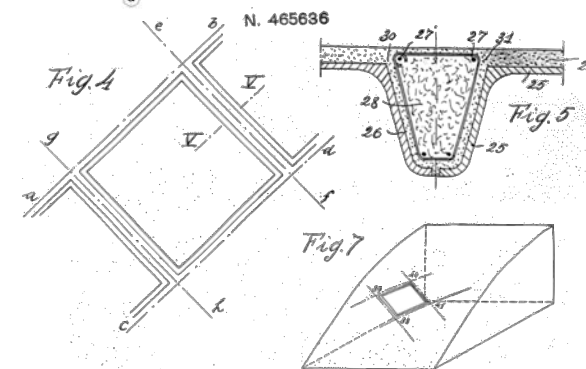
Modalità costruttive



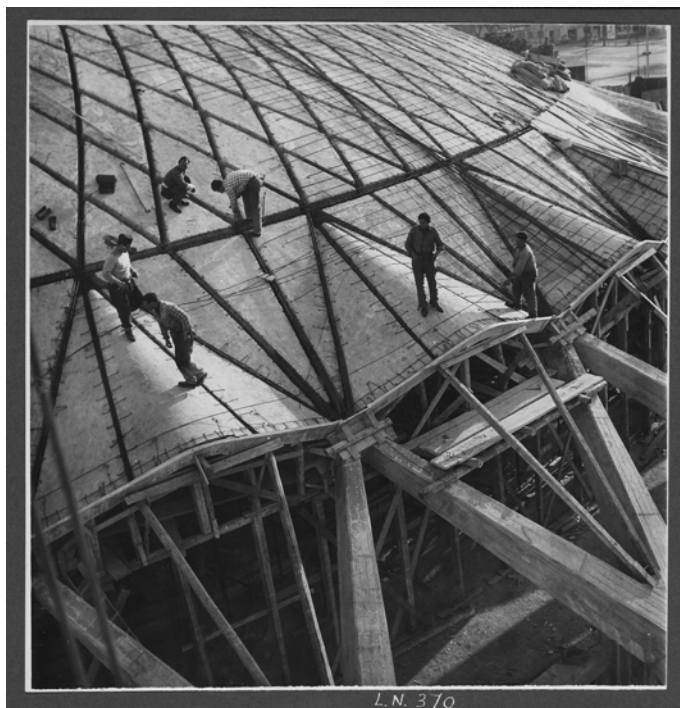
4a. Realizzazione della struttura lignea di so



4d. Preparazione dell'armatura metallica per



Modalità costruttive



F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Modalità costruttive



La *foto*cinotecnica S.R.L.
ROMA Via Rapallo, 41 00144 - Tel. 06/494.994



F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

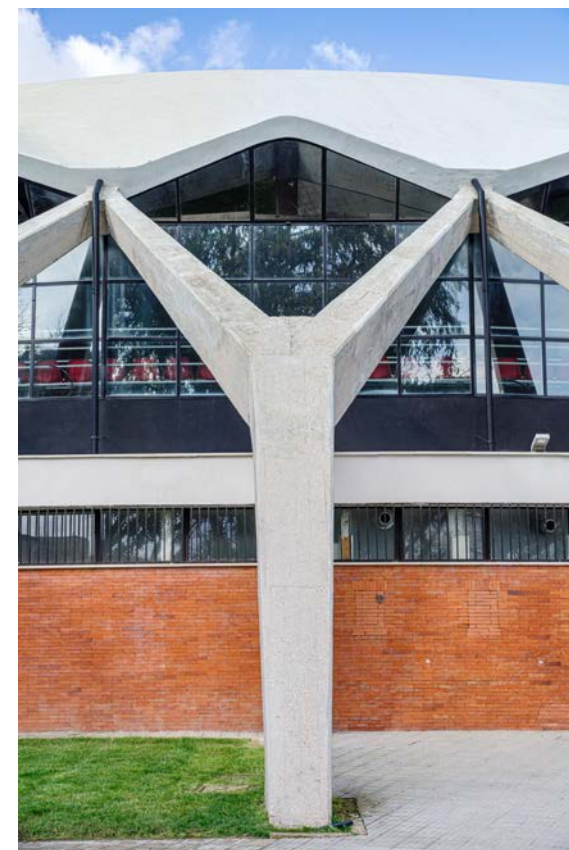
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Interventi di risanamento 2021-23

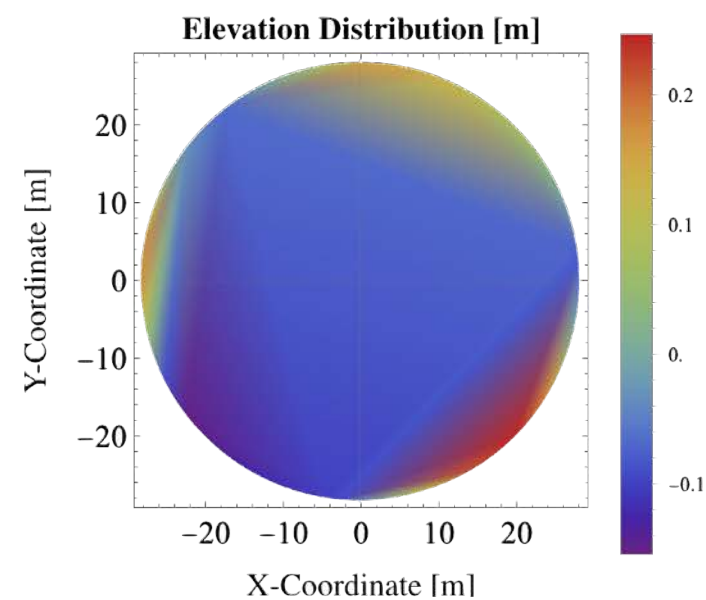
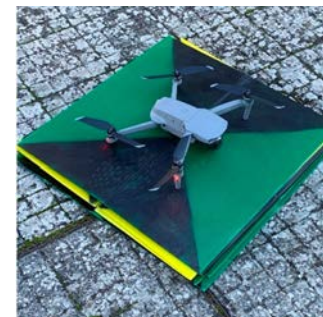
Proprietà	Roma Capitale
Progettista principale	Risorse per Roma
Direzione Lavori	arch. Roberta Sulpizio
Collaborazioni	prof. Francesco Romeo, prof.ssa Tullia Iori

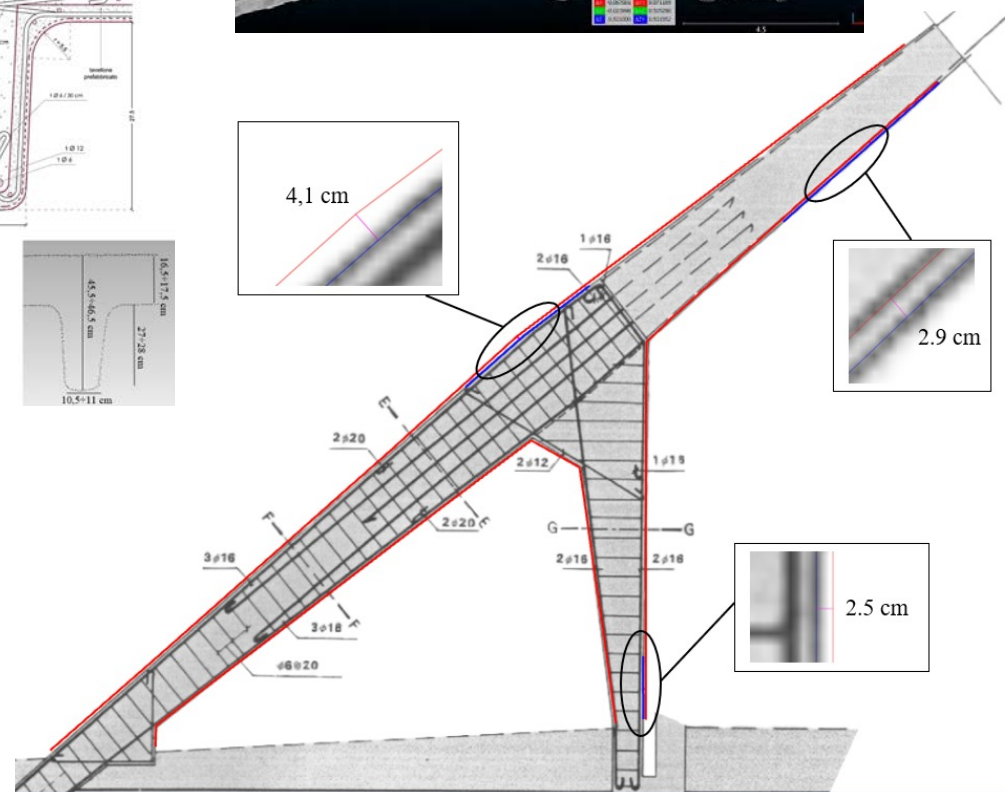
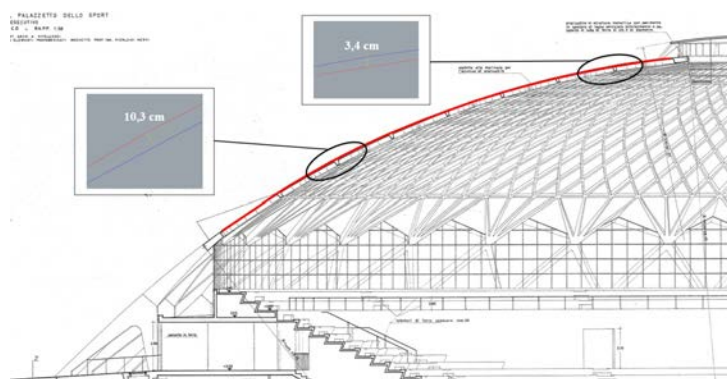
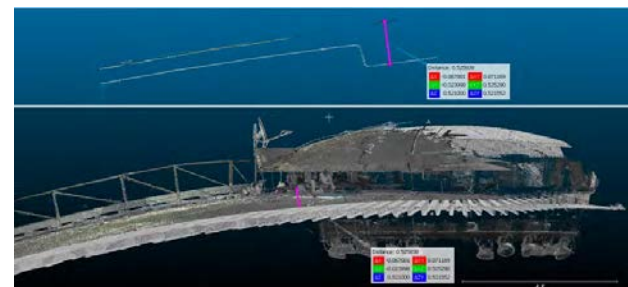
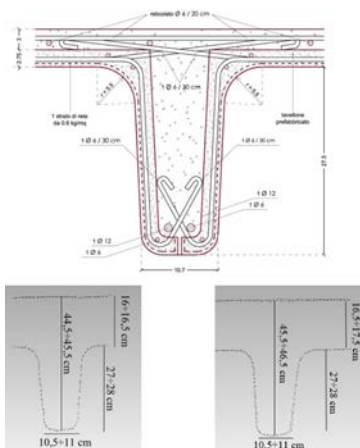
Tutela con Decreto del Ministero della Cultura n. 43 del 10 marzo 2021

- Rifacimento manto di impermeabilizzazione della cupola
- Ripristino cavalletti in cemento armato
- Rinnovamento dotazioni impiantistiche
- Finiture e infissi
- Campagna di rilievo
- Indagini geotecniche
- Indagini strutturali



Rilievo

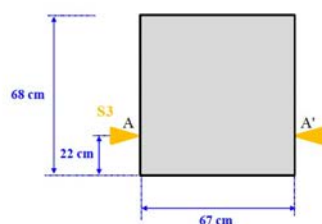




Caratterizzazione meccanica

INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE

PILASTRO - FILO 6 - PIANO +0,65 m - S3



SEZIONE

INDAGINI SONREB - METODO DIRETTO								
INDAGINI SCLEROMETRICHE								
Zona di indagine	Indice di rimbalzo sclerometrico						Indice di rimbalzo medio	
	A	47	49	47	50	46		49
		43	44	45	46	47		45
	A'	46	47	46	49	46		48
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50	46	48	
		49	46	49	50</			

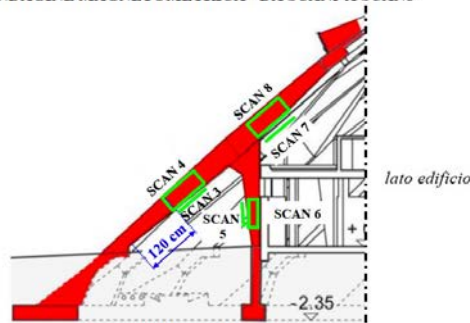
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



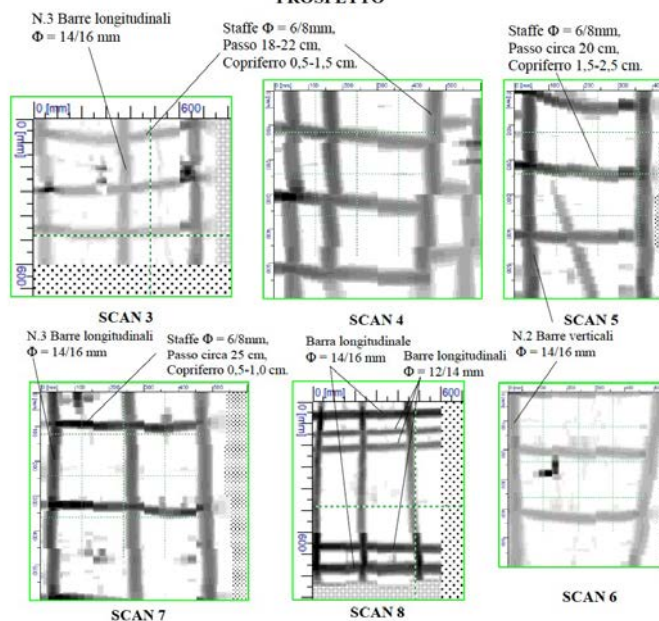
INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE

CAVALLETTO 10

INDAGINE MAGNETOMETRICA - DA SCAN3 A SCAN8



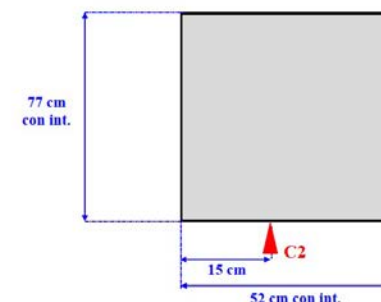
PROSPETTO



INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE

PILASTRO FILO 33 - PIANO - 2,35 m

PRELIEVO DI CAROTA - C2



SEZIONE
(a 118 cm da montante)

MISURA DELLA PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE				
Contrassegno prelievo	Tipologia di carbonatazione: b	Allineamento del carotaggio: -		
C2		Estremo di entrata	d _g = 25	mm
			d _{gmax} = 35	mm

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



PROVE DI LABORATORIO CAROTA IN CALCESTRUZZO C2:
si veda in ALLEGATO A il Rapporto di prova del Laboratorio R9153BE01

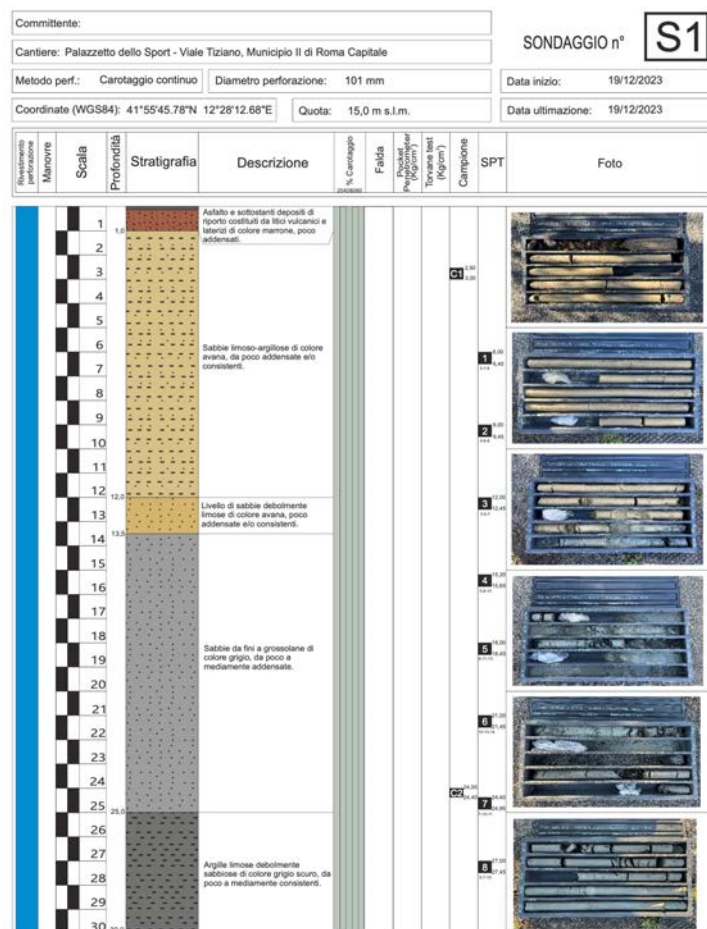


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

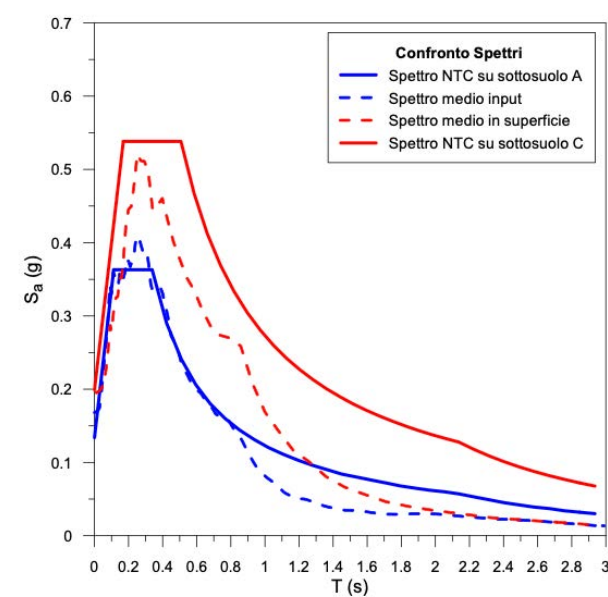
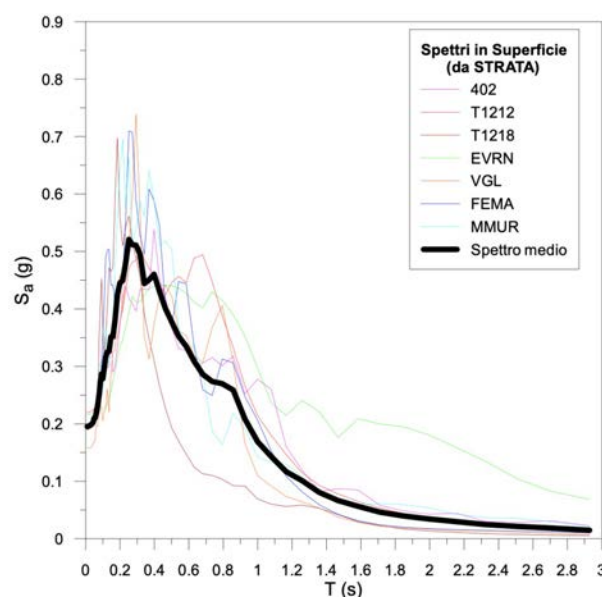
21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Indagini geotecniche



Le indagini geotecniche hanno previsto l'esecuzione di carotaggi continui e prelievo di campioni indisturbati, prove SPT (Standard Penetration Test) nel corso del carotaggio, prova MASW (Multichannel analysys of Surface Waves), prova Down-Hole, prove HVSR per determinare la frequenza fondamentale di vibrazione del deposito e prove di laboratorio sulle terre estratte.



Indagini strutturali

- Calcoli statici dello studio Ing. Nervi & Bartoli 24 Settembre 1956;
- Elaborati grafici risalenti all'epoca della costruzione;
- Materiale fotografico CONI
- Materiale di archivio del Museo nazionale delle arti del XXI secolo;
- Certificato di collaudo redatto a firma dell'Ing. Arturo Messina il 10 Novembre 2007;
- Controlli sperimentali non distruttivi eseguiti dalla Società Tecnica MP srl il 09 Novembre 2007;
- Certificato di collaudo redatto a firma dell'Ing. Carlo Alimonti il 27 Novembre 2017;
- Indagini sperimentali in sito sulle strutture eseguite dal laboratorio ISTEDIL S.p.a. il 27 Novembre 2017.

Calcestruzzo		
Peso	$\gamma = 25 \text{ KN/mc}$	da NTC 2018
Rigidezza fondazione	$E_c = 35667 \text{ MPa}$	da NTC 2018
Rigidezza super-struttura	$E_c = 33571 \text{ MPa}$	
Resistenza a compres. fondazione	$f_{cm} = 41.3 \text{ MPa}$	valori medi
Resistenza a compres. super-struttura	$f_{cm} = 29.9 \text{ MPa}$	
Resistenza a traz. fondazione	$f_{ctm} = 3.1 \text{ MPa}$	da NTC 2018
Resistenza a traz. super-struttura	$f_{ctm} = 2.4 \text{ MPa}$	
Acciaio per armatura		
Rigidezza	$E_{sm} = 210000 \text{ MPa}$	da NTC 2018
Tensione di snervamento	$f_{ym} = 390.7 \text{ MPa}$	valori medi
Resistenza di picco	$f_{tm} = 549.0 \text{ MPa}$	
Deformazione ultima	$A_{gt} = 19.8\%$	



Indagini strutturali

Sono state eseguiti 6 prelievi di carote, 6 prelievi di spezzoni di barra di armatura, ispezioni endoscopiche e 3 prove di detensionamento dei trefoli di fondazione, rilievo di barre di armatura con pacometri, prove sonreb, prove di carbonatazione ed infine prove di carico della passerella del cupolino e delle balaustre sia in ferro che in vetro.

TIPOLOGIA INDAGINE	NUMEROSITÀ
Scavo per rilievo geometrico fondazioni	2
Prova di detensionamento di fili/trefoli per la stima dello stato tensionale residuo dell'armatura di precompressione	3
Indagini magnetometriche	11 mq
Prelievi di carote in calcestruzzo per esecuzione di prove di Laboratorio	6
Misurazione della profondità di carbonatazione su carote in calcestruzzo	6
Misurazione della profondità di carbonatazione su zone dei cavalletti	12
Prova di sfilamento su barra filettata	2
Prova di carico statico su passerella	1
Prova di carico statico su parapetti	4
Prove Sonreb	18
Saggio strutturale per rilievo testata di ancoraggio cavo di precompressione	1
Saggi / Indagini videoendoscopiche su cavi di precompressione	3
Prelievi di barre di armatura per esecuzione di prove di Laboratorio	6
Indagini georadar per rilievo presenza armatura lenta e/o di precompressione	A corpo



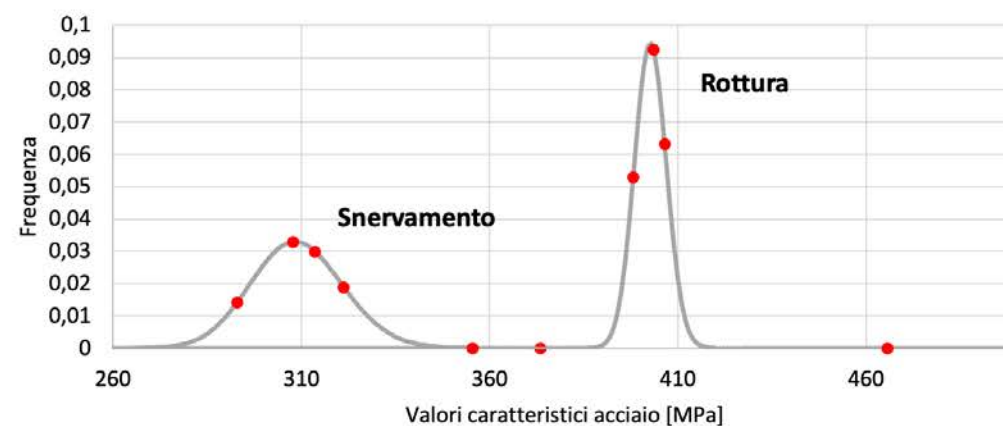
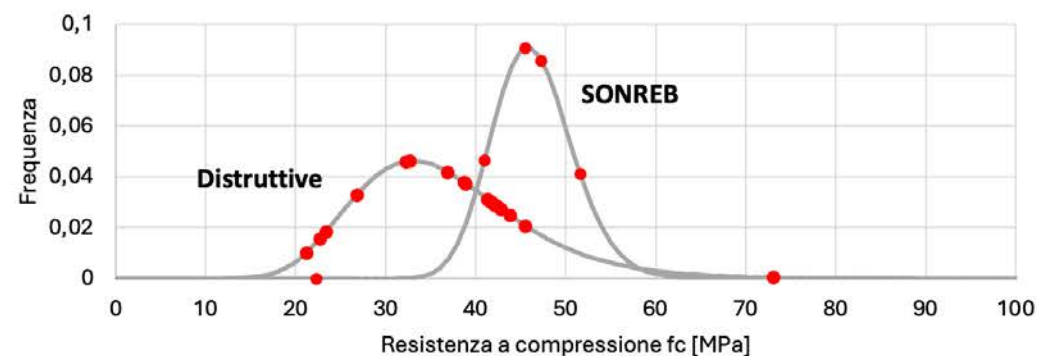
Caratterizzazione meccanica

Prove DISTRUTTIVE		
N	4	-
m	3.83	-
s	0.095	-
$m_{0.16}$	3.79	-
f_k	37.7	MPa
f_m	46.4	MPa

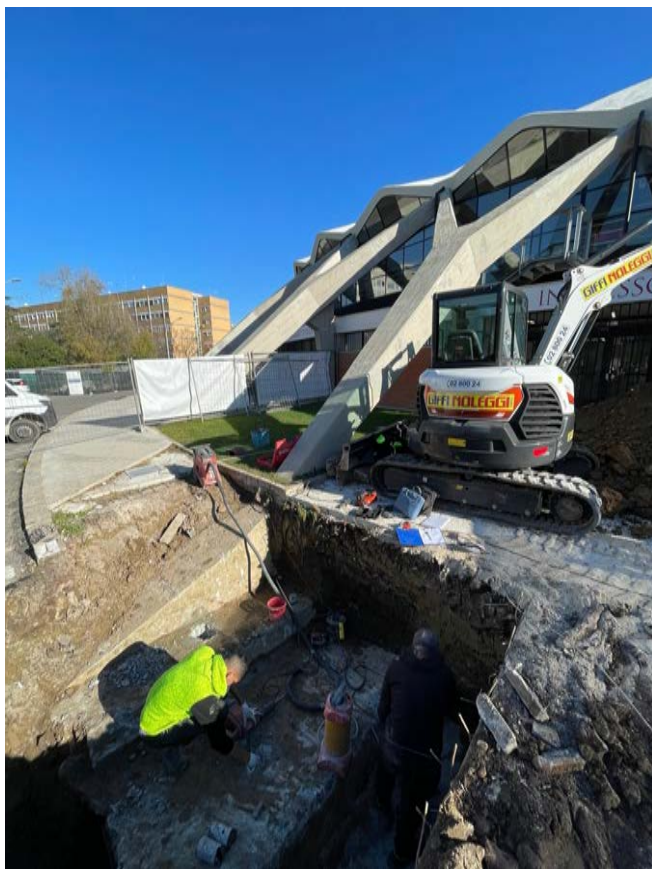
Prove DISTRUTTIVE - Distribuzione		
Media	41.5	MPa
Varianza	11.4	MPa
Mediana	45.5	MPa
Q1	41.0	MPa
Q3	47.3	MPa
IQR	6.3	MPa
f_{min}	31.6	MPa
f_{max}	56.8	MPa

Prove SONREB		
N	17	-
m	3.56	-
s	0.253	-
$m_{0.16}$	3.50	-
R_k	21.8	MPa
f_k	18.1	MPa
R_m	36.2	MPa
f_m	30.0	MPa

Prove SONREB - Distribuzione		
Media	38.2	MPa
Varianza	11.7	MPa
Mediana	40.1	MPa
Q1	32.4	MPa
Q3	42.3	MPa
IQR	9.9	MPa
R_{min}	17.5	MPa
R_{max}	57.2	MPa



Caratterizzazione meccanica

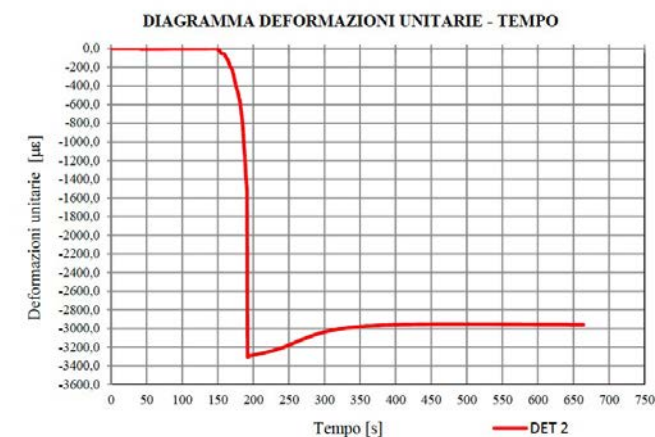


INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE

**PROVA DI RILASCIO TENSIONALE
SU CAVO DI PRECOMPRESSIONE - DET 2**

DIAMETRO GUAINA: 40 mm

DIAMETRO SINGOLO FILO: 7 mm



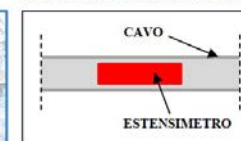
RISULTATI:

Rilascio DET 2	-2954	$\mu\epsilon$	accorciamento estensimetro
Tensione stimata	620,34	Mpa	(E stimato = 210.000MPa)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**SCHEMA GRAFICO
DISPOSIZIONE ESTENSIMETRO**

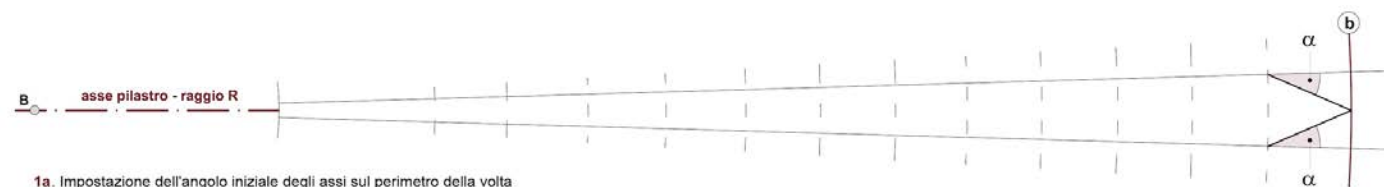
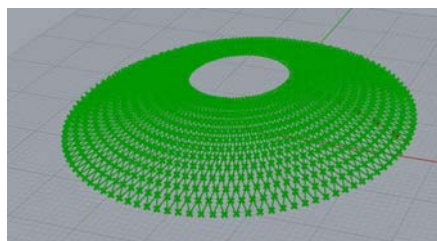
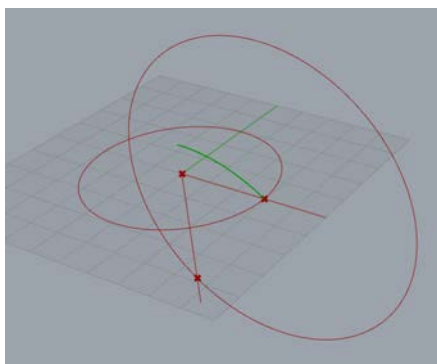
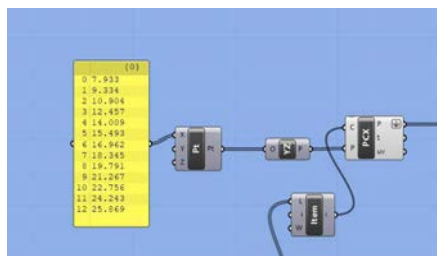


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

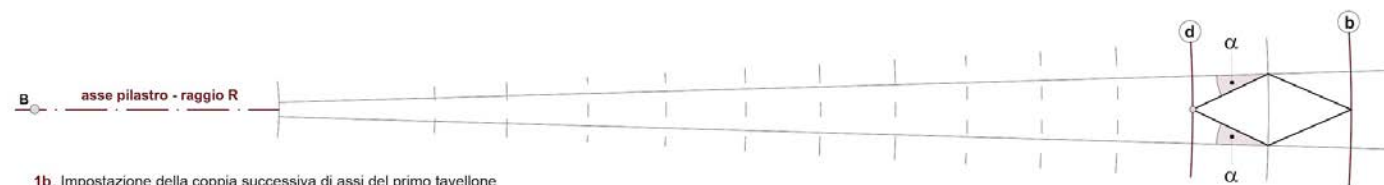
21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

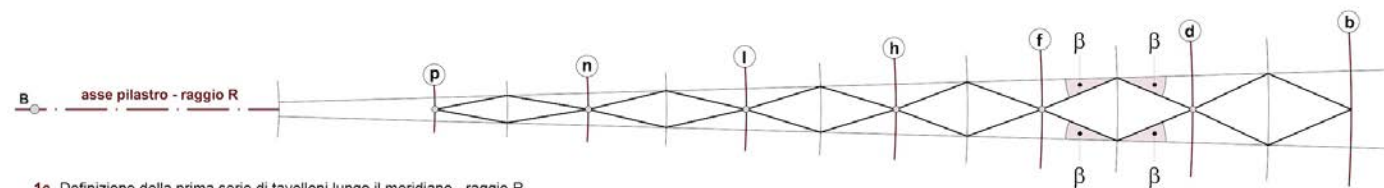
Modellazione



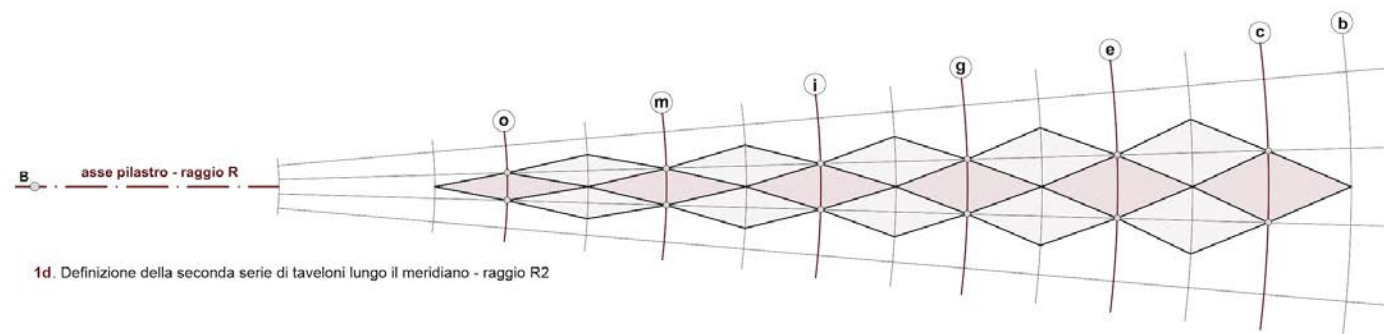
1a. Impostazione dell'angolo iniziale degli assi sul perimetro della volta



1b. Impostazione della coppia successiva di assi del primo tavellone



1c. Definizione della prima serie di tavelloni lungo il meridiano - raggio R



1d. Definizione della seconda serie di taveloni lungo il meridiano - raggio R2



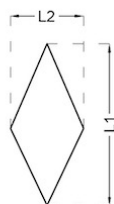
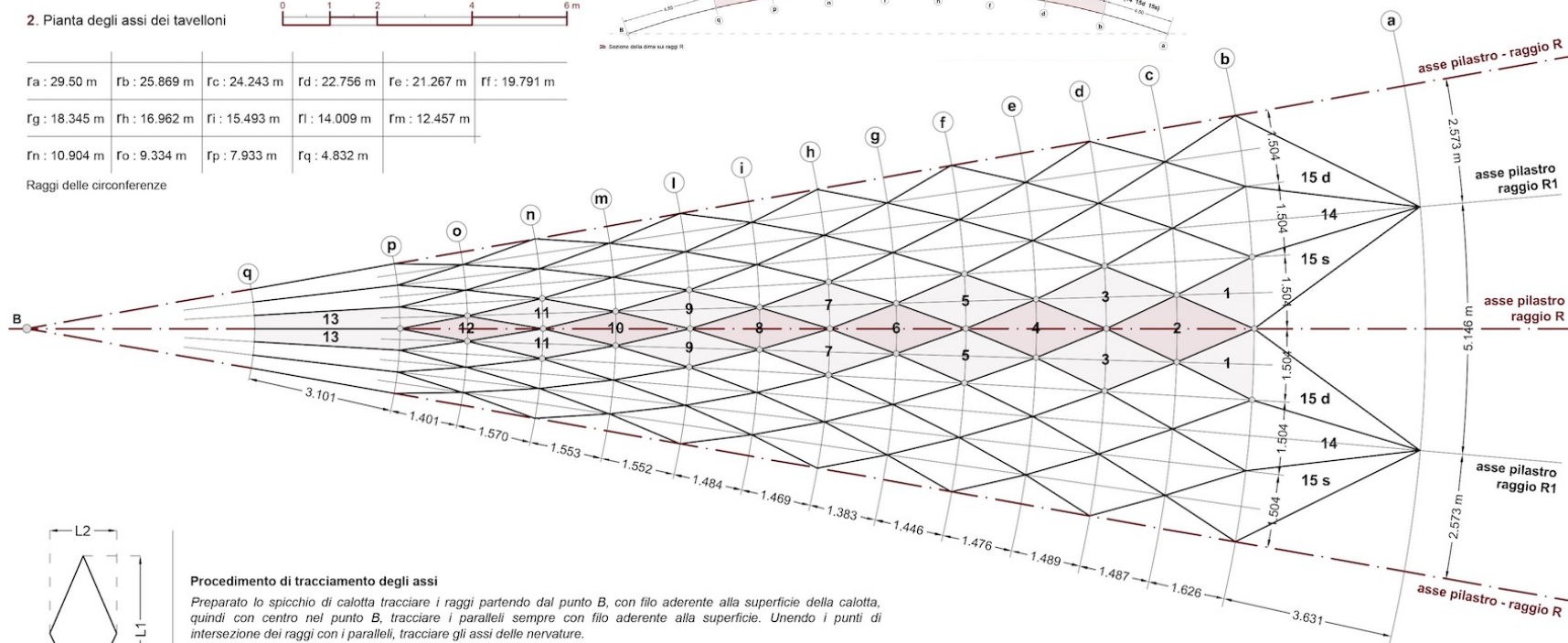
Modellazione

2. Pianta degli assi dei tavelloni



r _a : 29.50 m	r _b : 25.869 m	r _c : 24.243 m	r _d : 22.756 m	r _e : 21.267 m	r _f : 19.791 m
r _g : 18.345 m	r _h : 16.962 m	r _i : 15.493 m	r _l : 14.009 m	r _m : 12.457 m	
r _n : 10.904 m	r _o : 9.334 m	r _p : 7.933 m	r _q : 4.832 m		

Raggi delle circonferenze



Procedimento di tracciamento degli assi

Preparato lo spicchio di calotta tracciare i raggi partendo dal punto B, con filo aderente alla superficie della calotta, quindi con centro nel punto B, tracciare i paralleli sempre con filo aderente alla superficie. Unendo i punti di intersezione dei raggi con i paralleli, tracciare gli assi delle nervature.

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7	Tipo 8	Tipo 9	Tipo 10	Tipo 11	Tipo 12	Tipo 13
Lunghezza L1	1.626 m	3.113 m	2.976 m	2.965 m	2.922 m	2.829 m	2.852 m	2.953 m	3.036 m	3.105 m	3.123 m	2.971 m	4.502 m
Larghezza L2	1.5042 m	1.4097 m	1.3232 m	1.2863 m	1.1508 m	1.0668 m	0.9863 m	0.9091 m	0.8148 m	0.7243 m	0.6340 m	0.5427 m	0.4613 m
N° elementi	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108

Pianta degli assi dei tavelloni - dati dimensionali delle losanghe

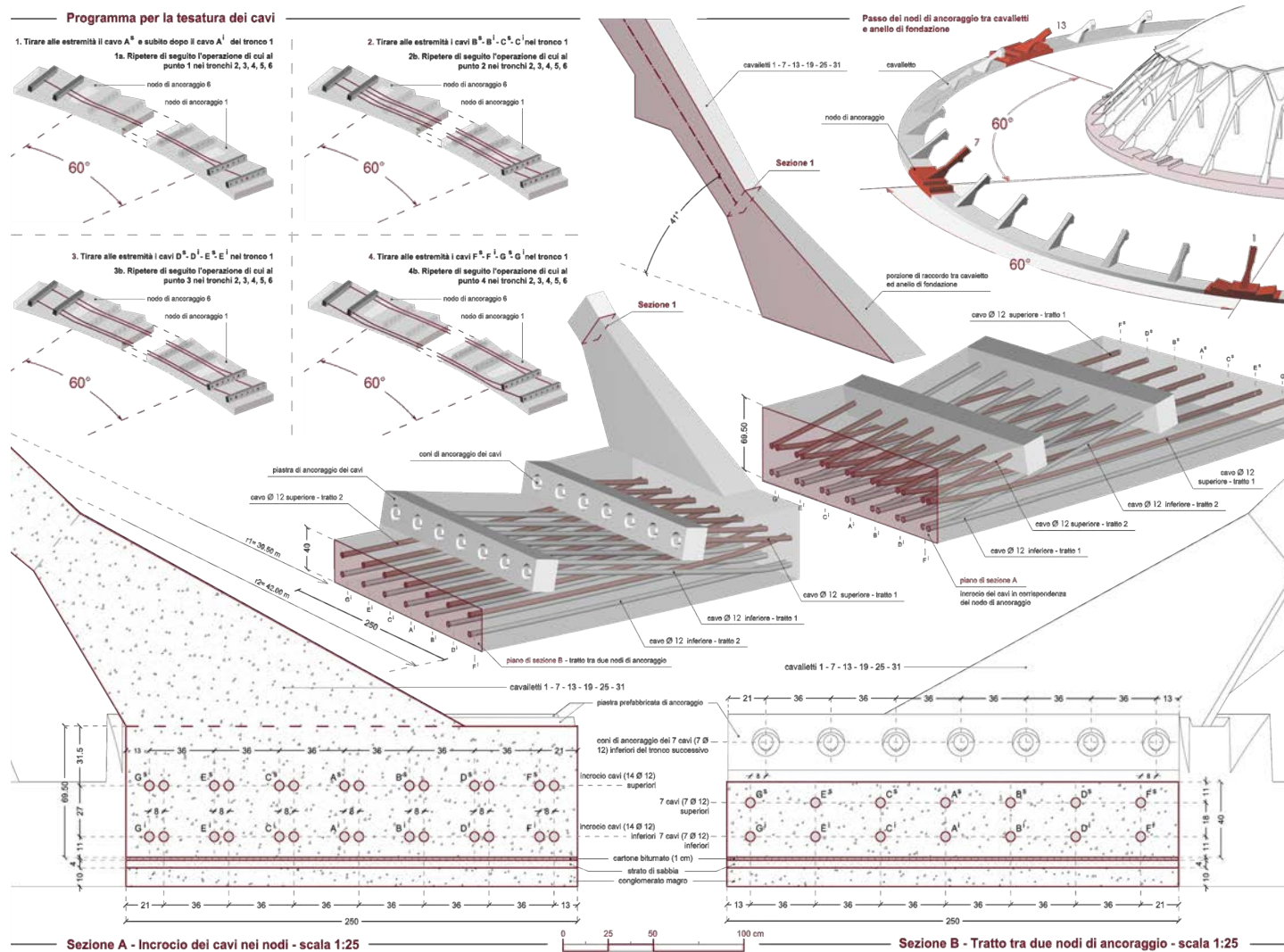


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

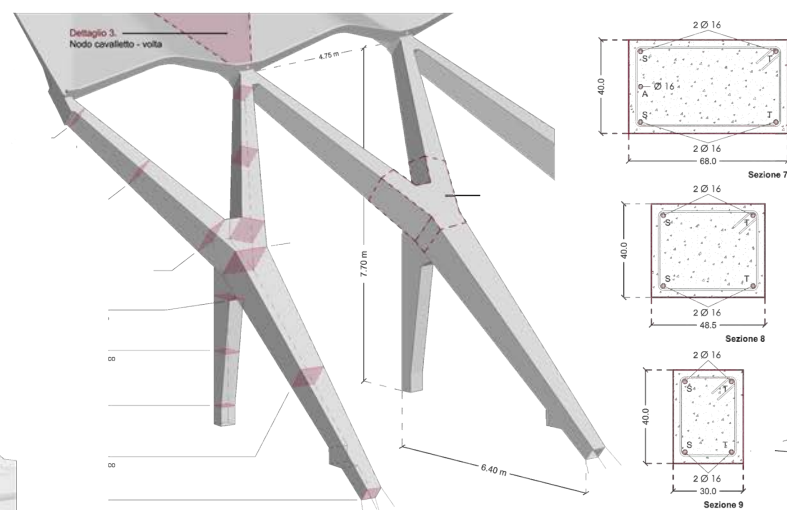
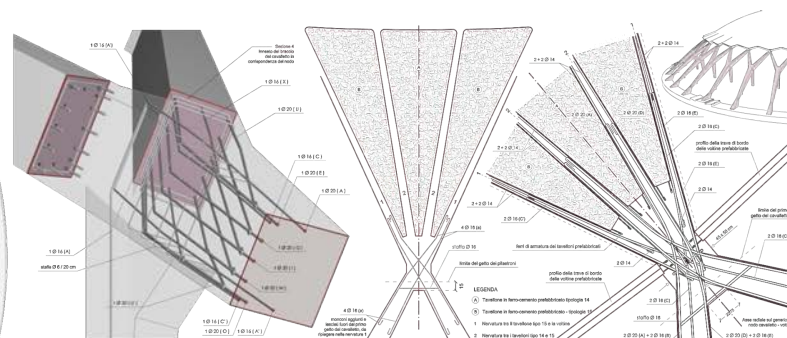
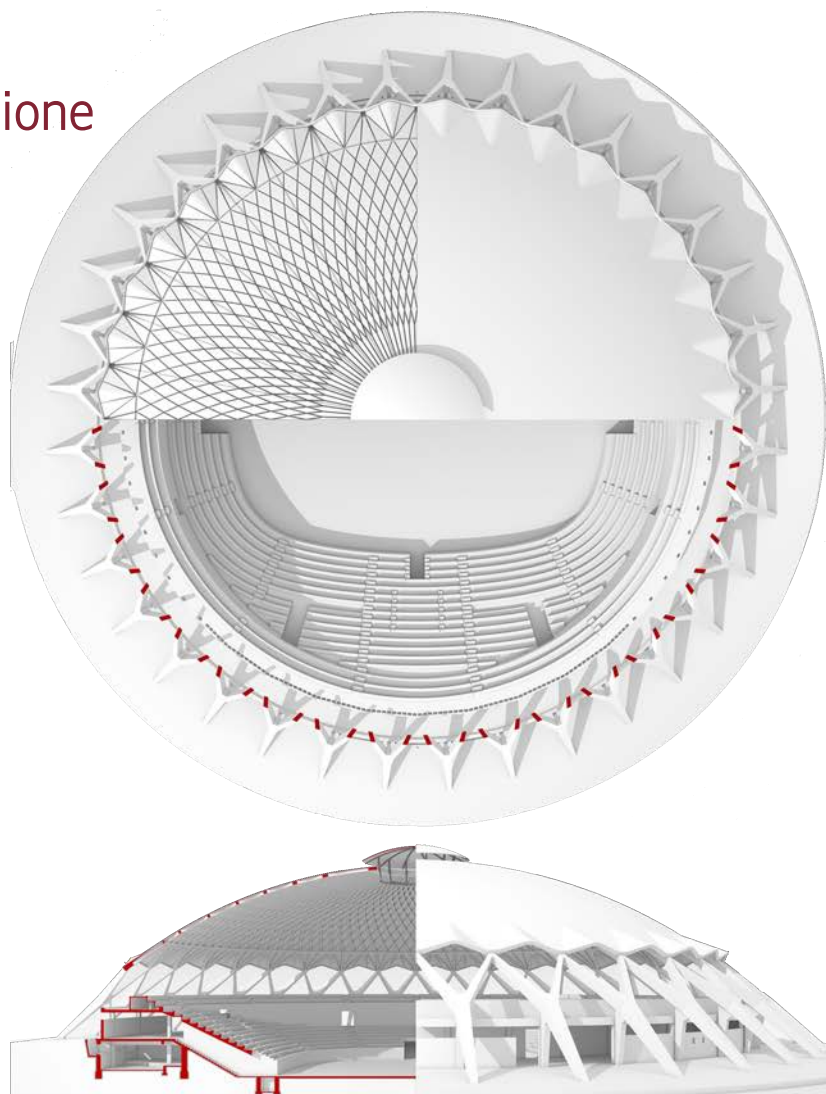
21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Modellazione



Modellazione

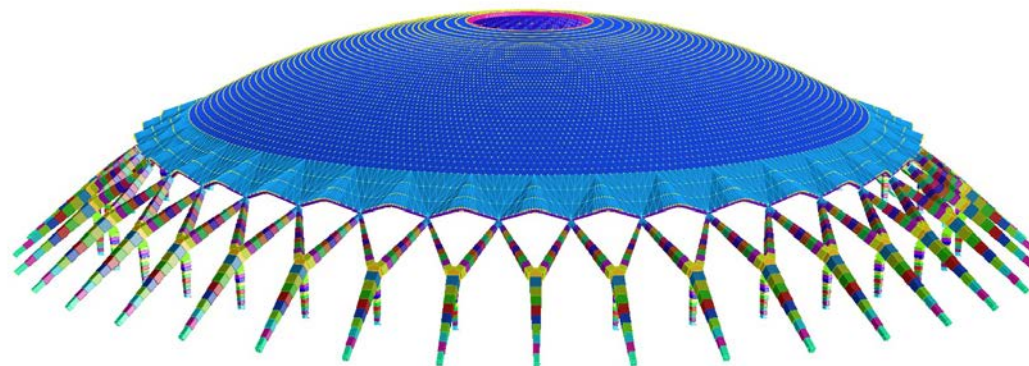
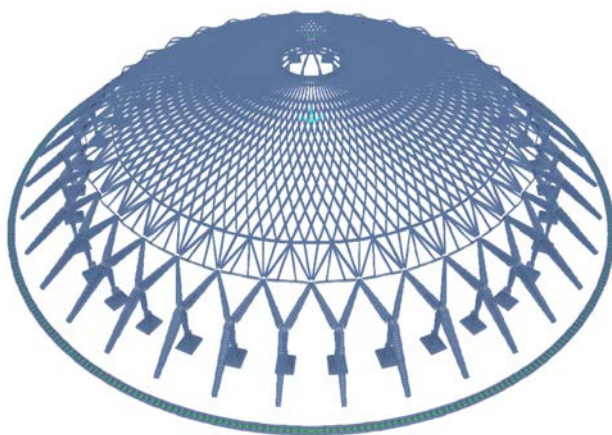
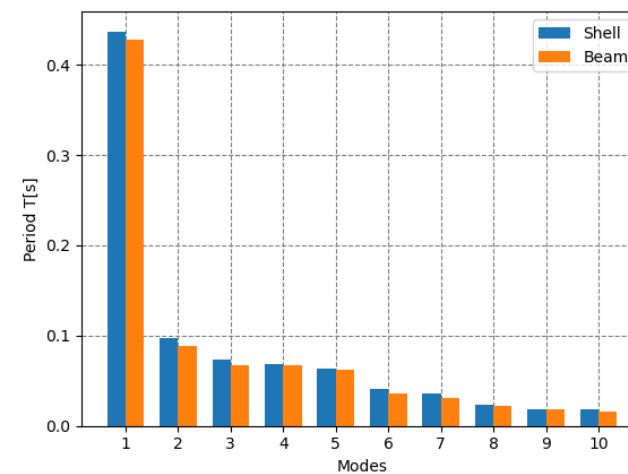
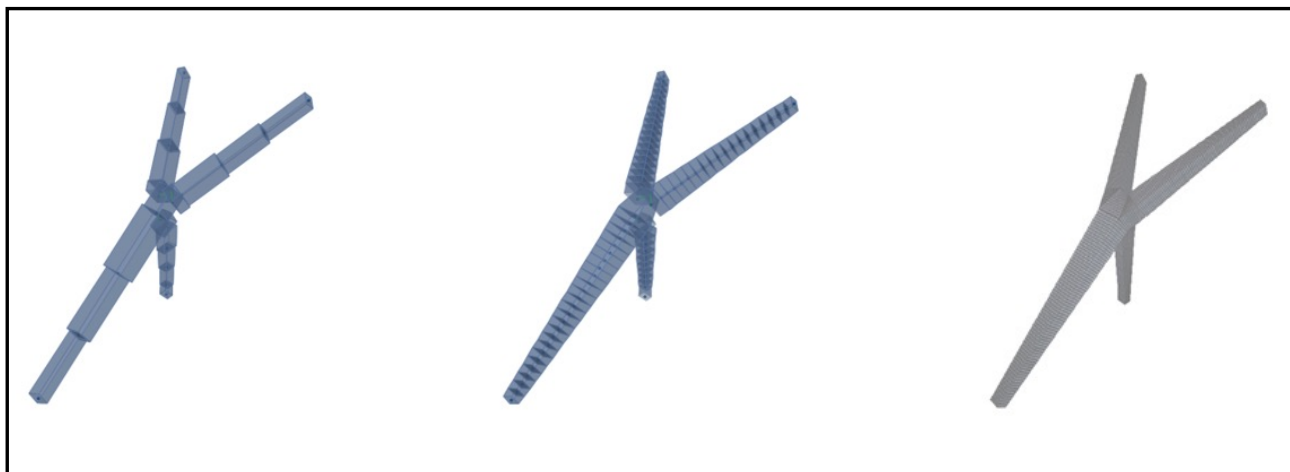


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

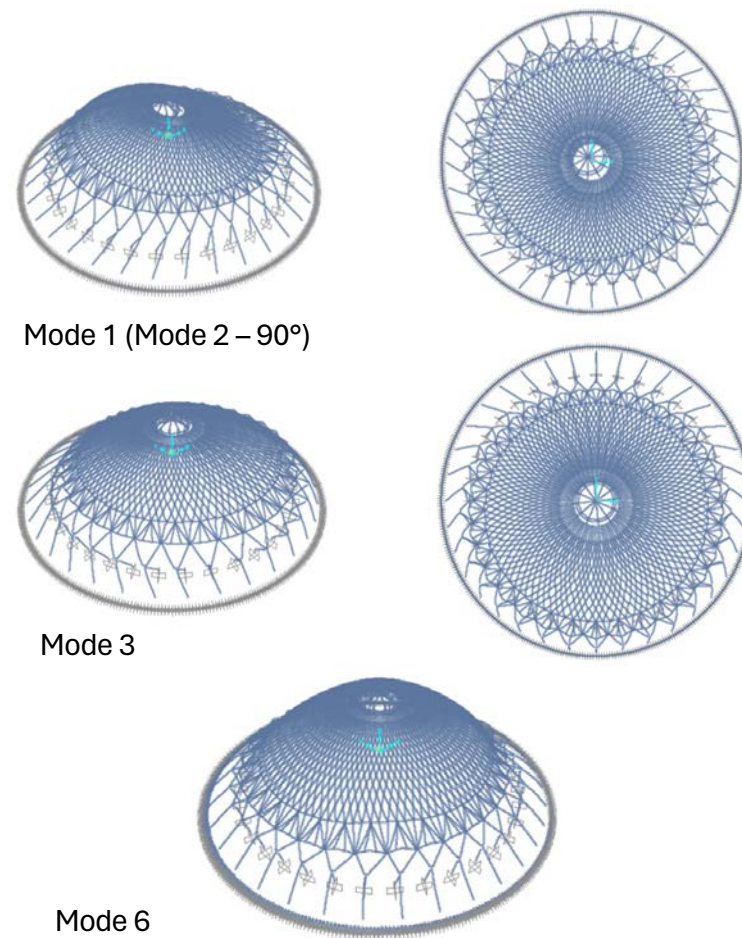
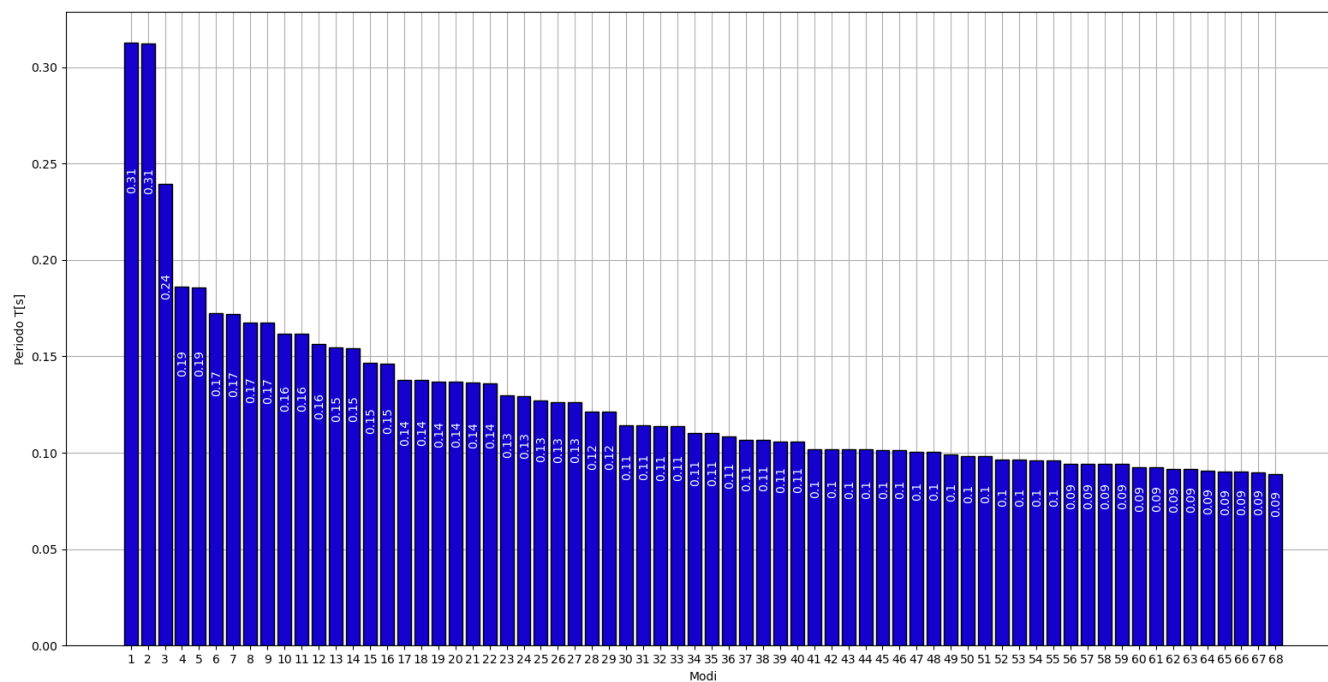
21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

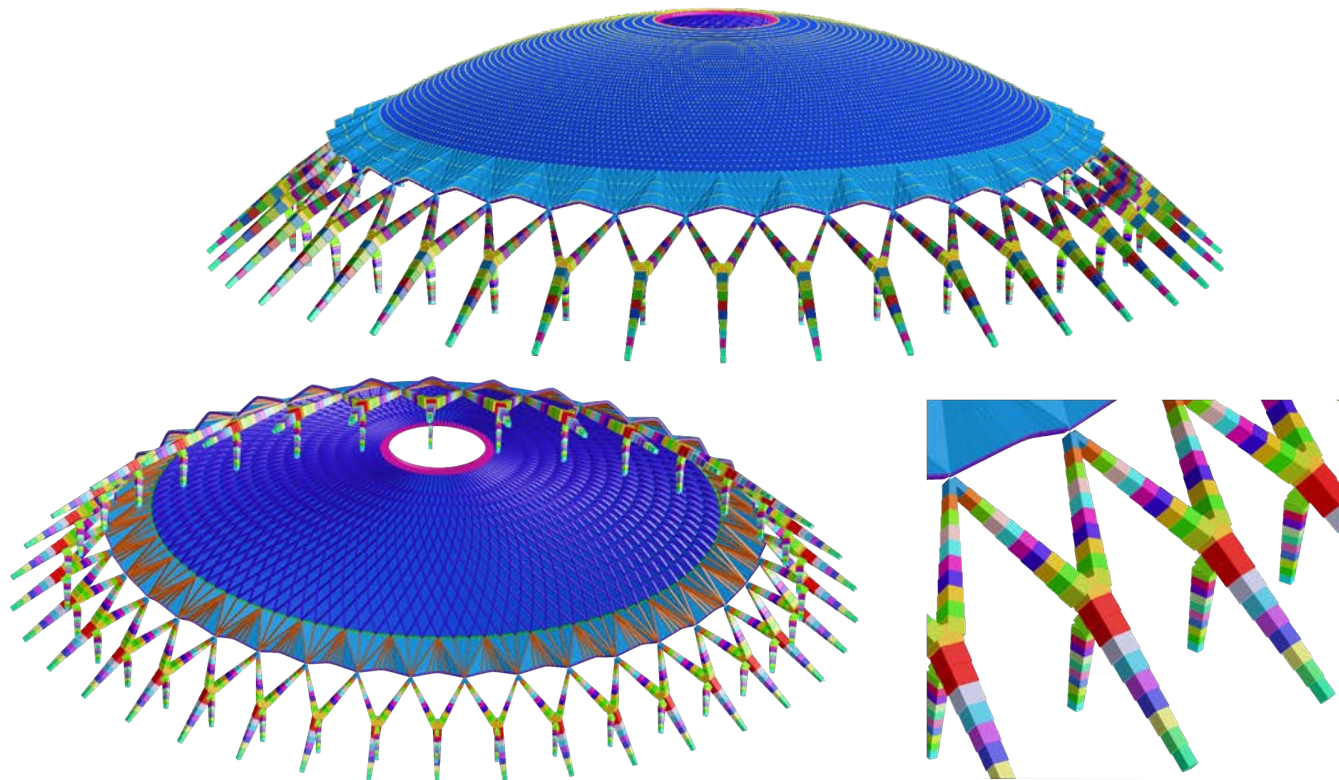
Calibrazione modellazione FEM



Analisi modale



Analisi modale



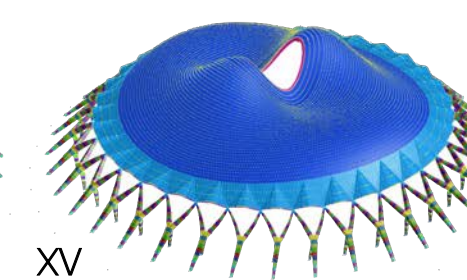
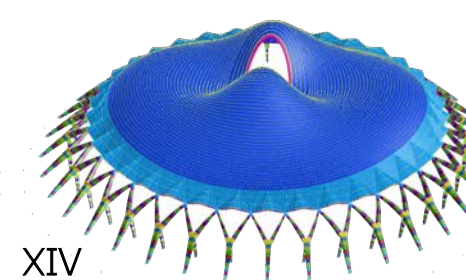
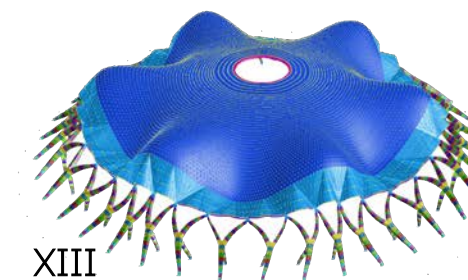
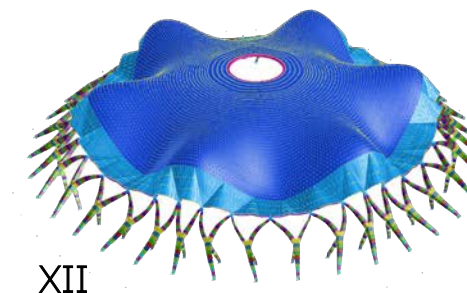
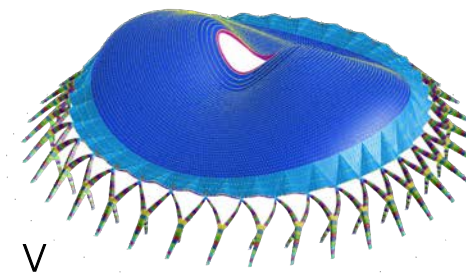
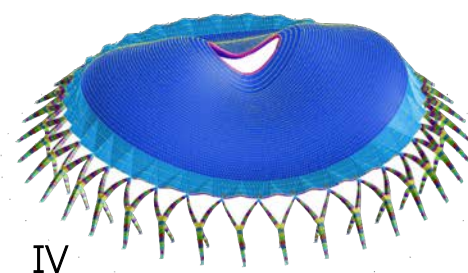
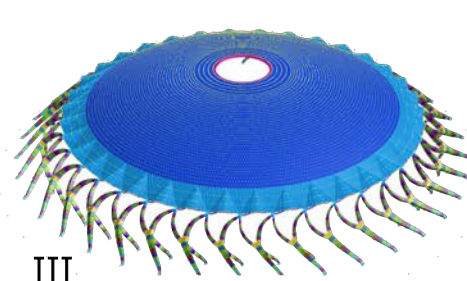
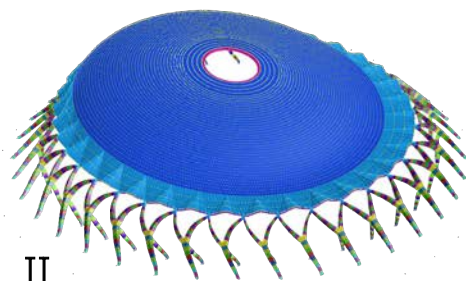
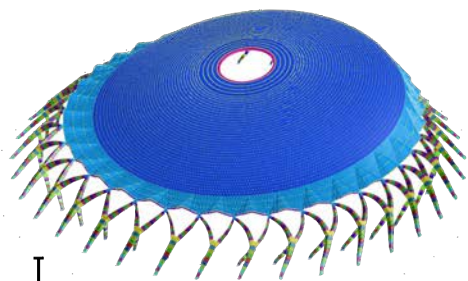
FE model (Strand7)

Cavalletti: elementi "line" a sezione prismatica

Dome: elementi "plate" e link rigidi con le nervature (parametric geometry generation)



Analisi modale

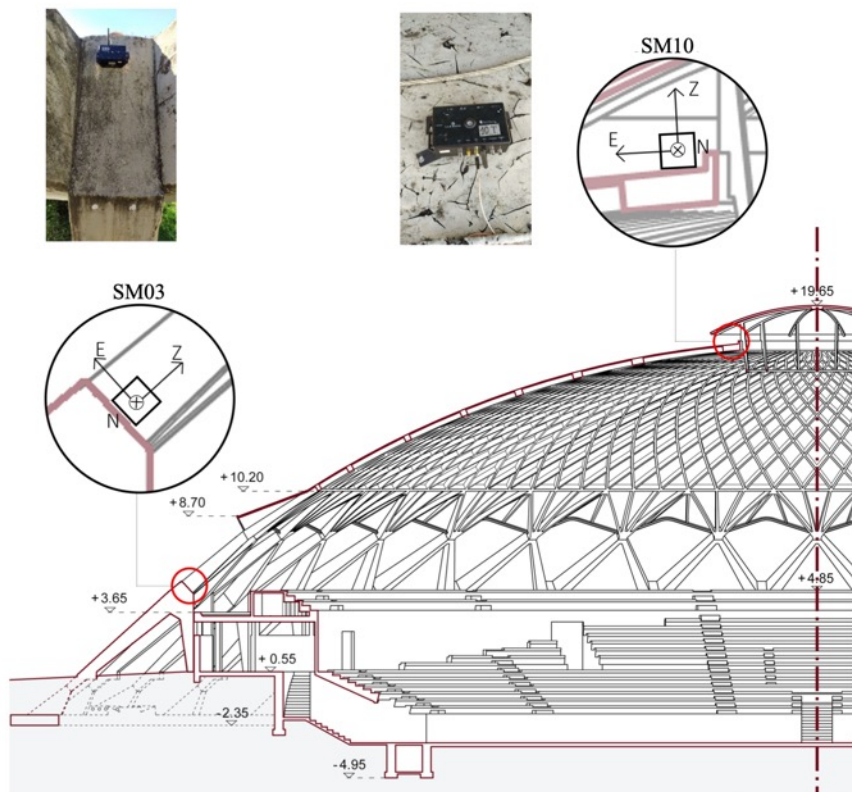


Mode	$f^{(FEA)}$ (Hz)
I	3.63
II	3.63
III	4.87
IV	5.52
V	5.52
XII	6.45
XIII	6.45
XIV	6.55
XV	6.55

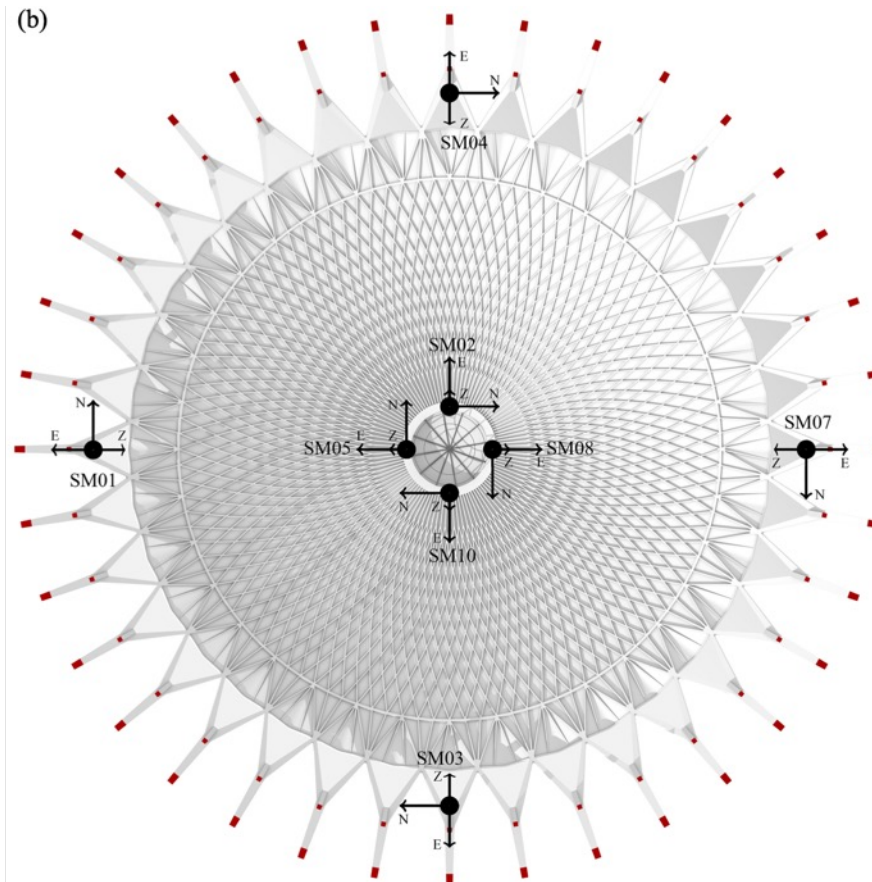


Caratterizzazione dinamica

(a)



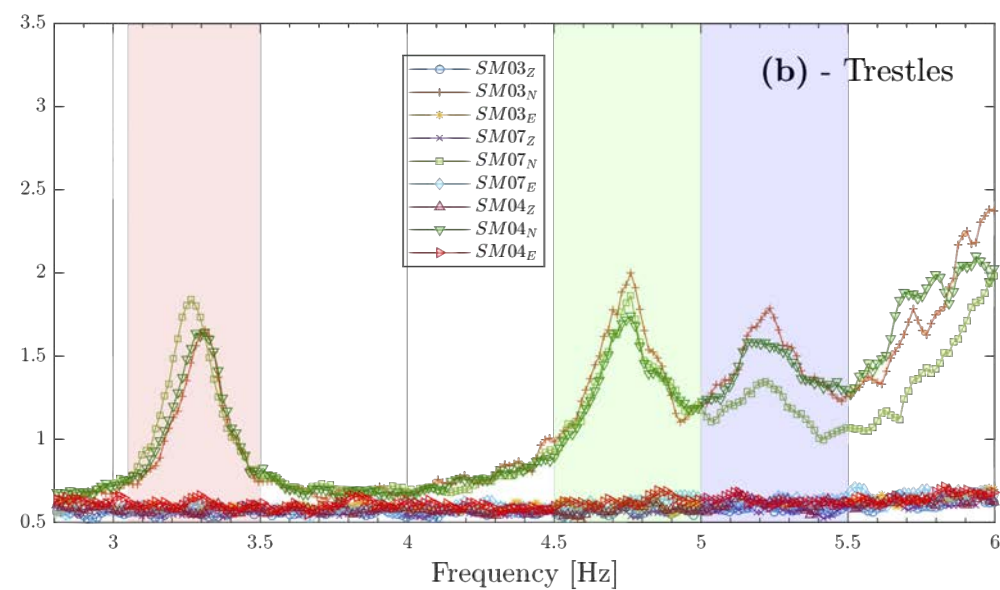
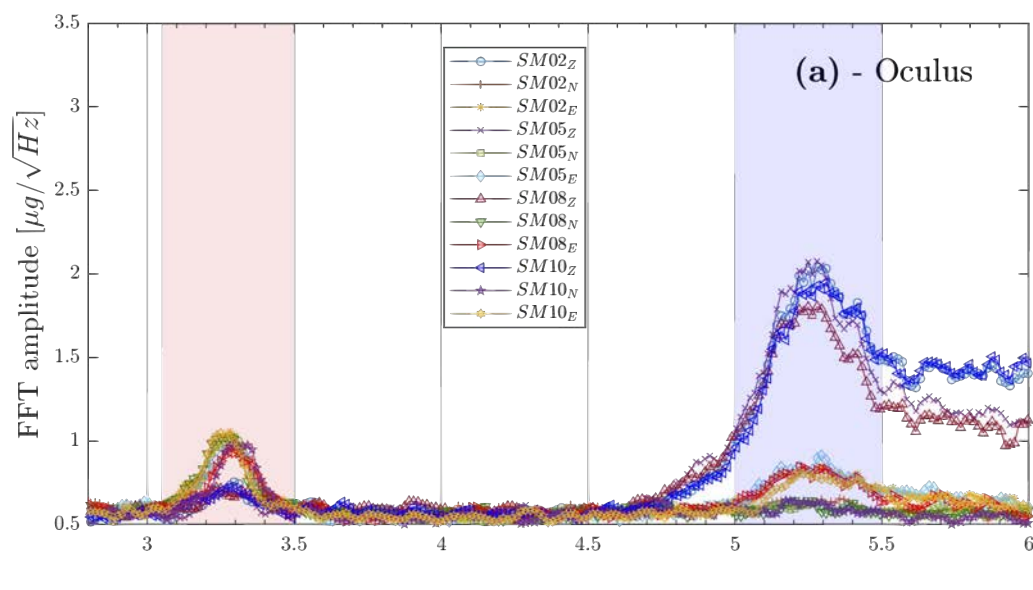
(b)



8 MEMS wireless triaxial accelerometers with built-in GPS synchronization ($\leq 7 \mu\text{g/Hz}$ in the band 0-100 Hz).

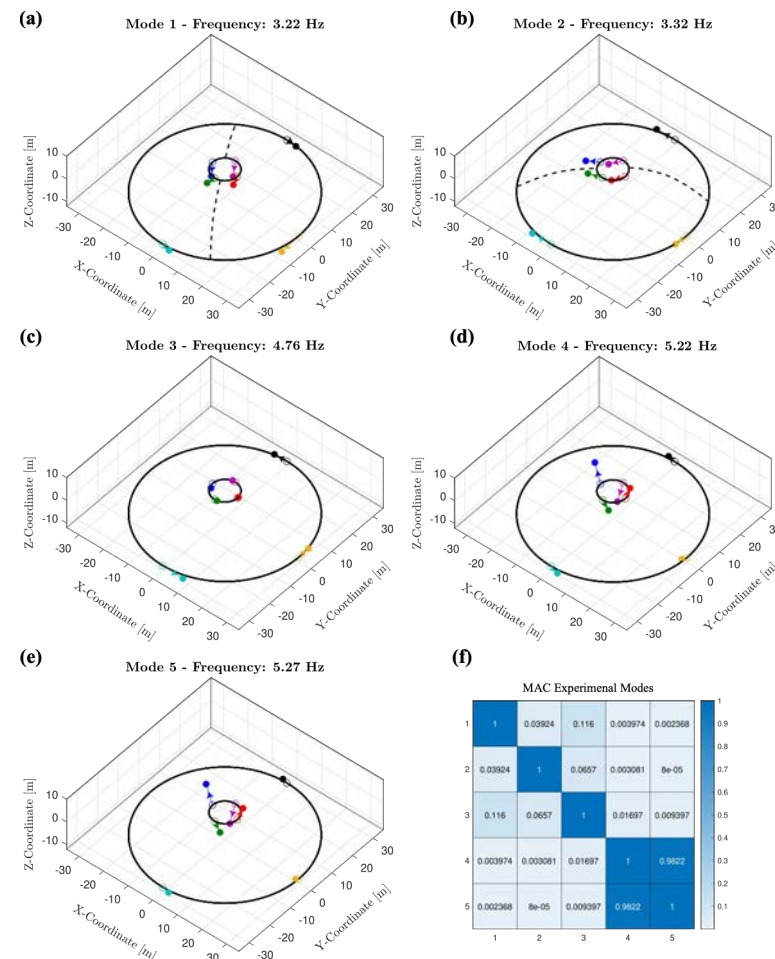
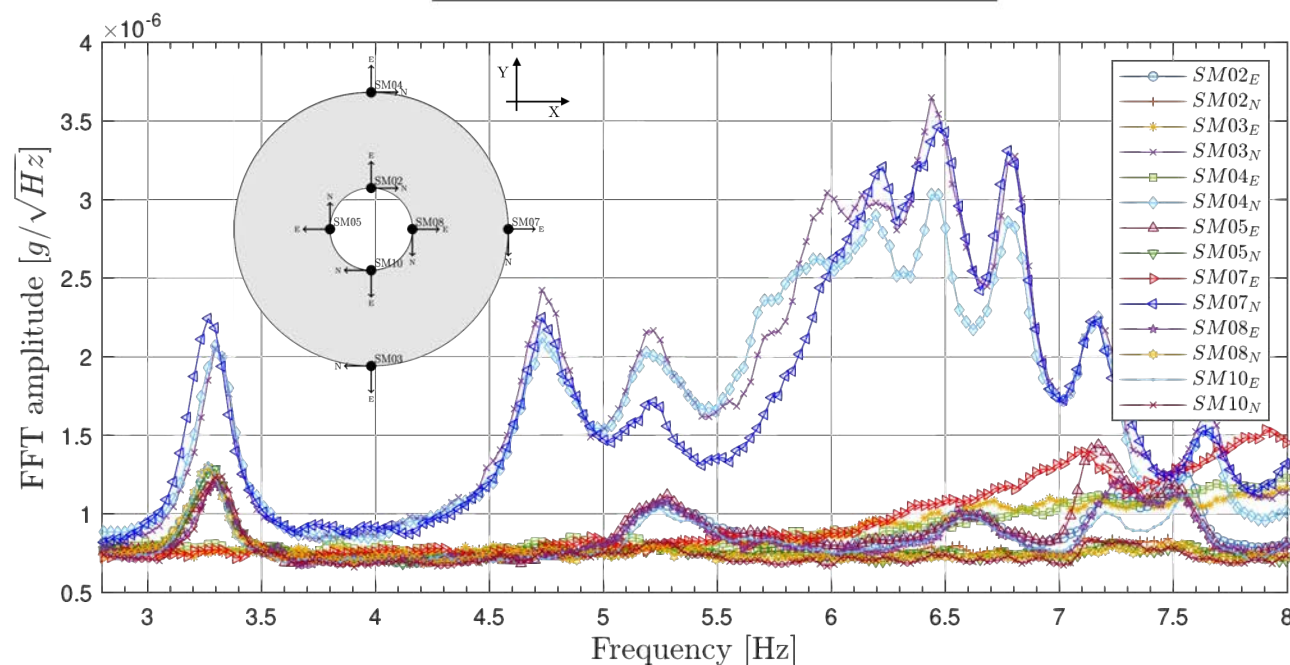


Calibrazione modello FEM via OMA



Calibrazione modello FEM via OMA

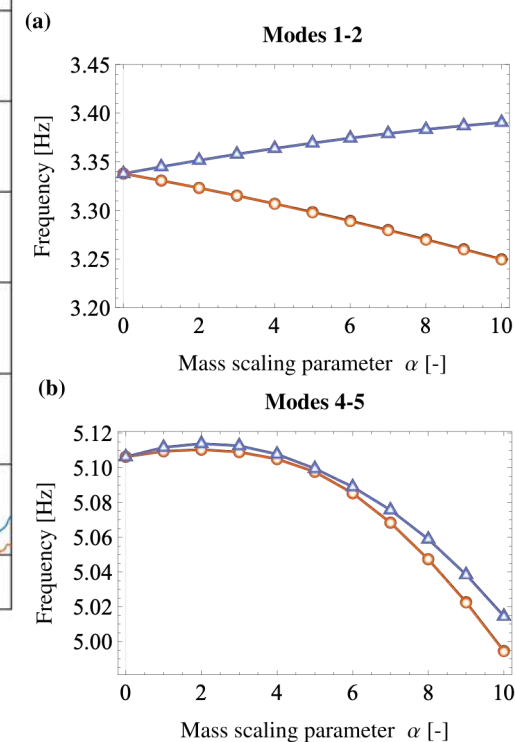
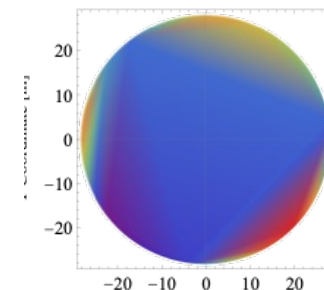
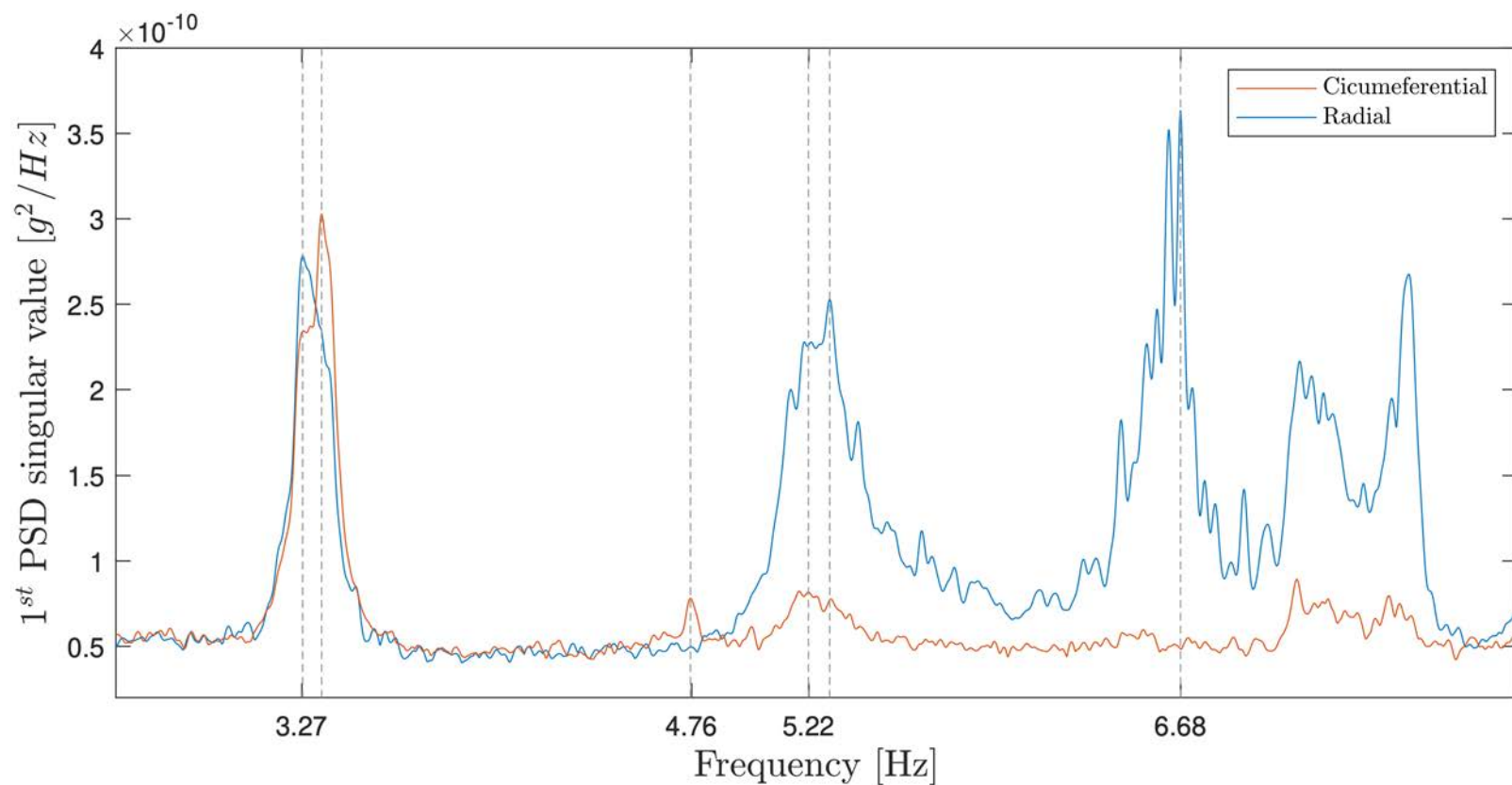
Douglas-Reid model updating results			
Mode	f^U (Hz)	$f^{(exp)}$ (Hz)	$f^U/f^{(exp)}$
1	3.36	3.22	1.04
2	3.36	3.32	1.01
3	4.82	4.76	1.01
4	5.11	5.22	0.98
5	5.11	5.27	0.97



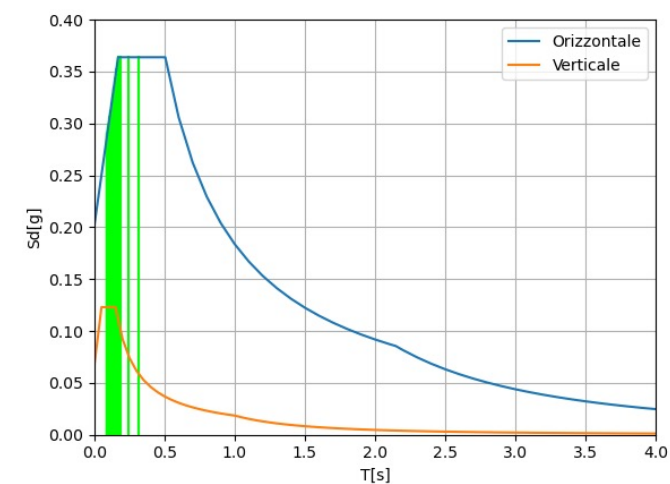
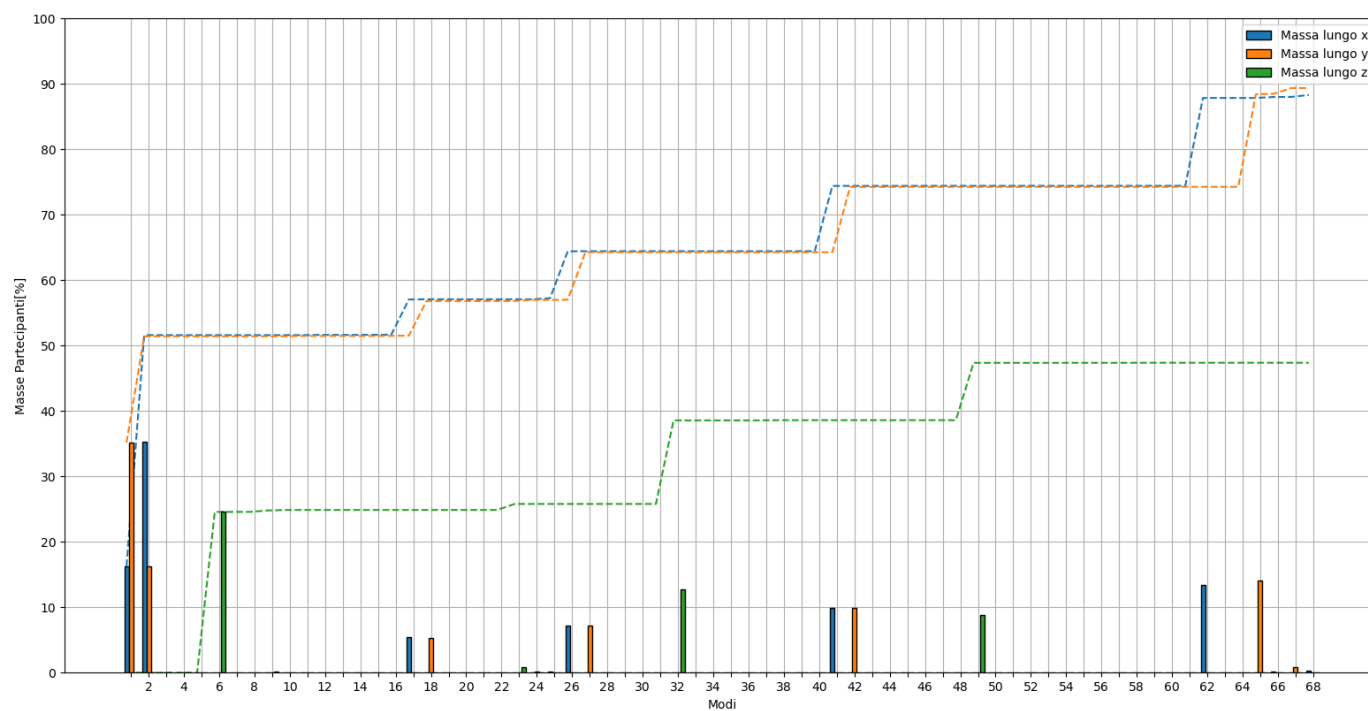
MAC Experimental Modes				
1	1	0.03924	0.116	0.003974
2	0.03924	1	0.0657	0.003081
3	0.116	0.0657	1	0.01697
4	0.003974	0.003081	0.01697	1
5	0.002368	8e-05	0.009597	0.9622



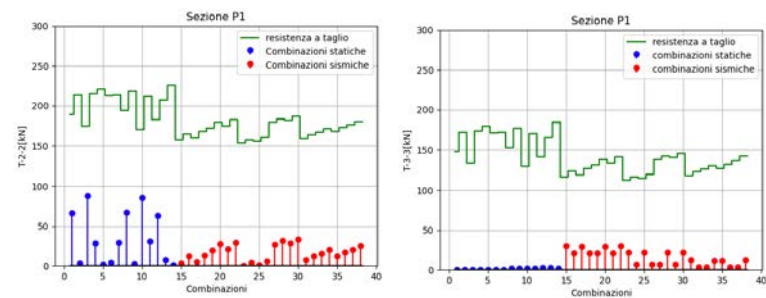
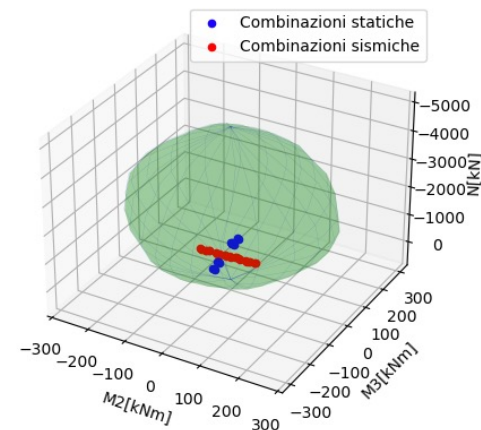
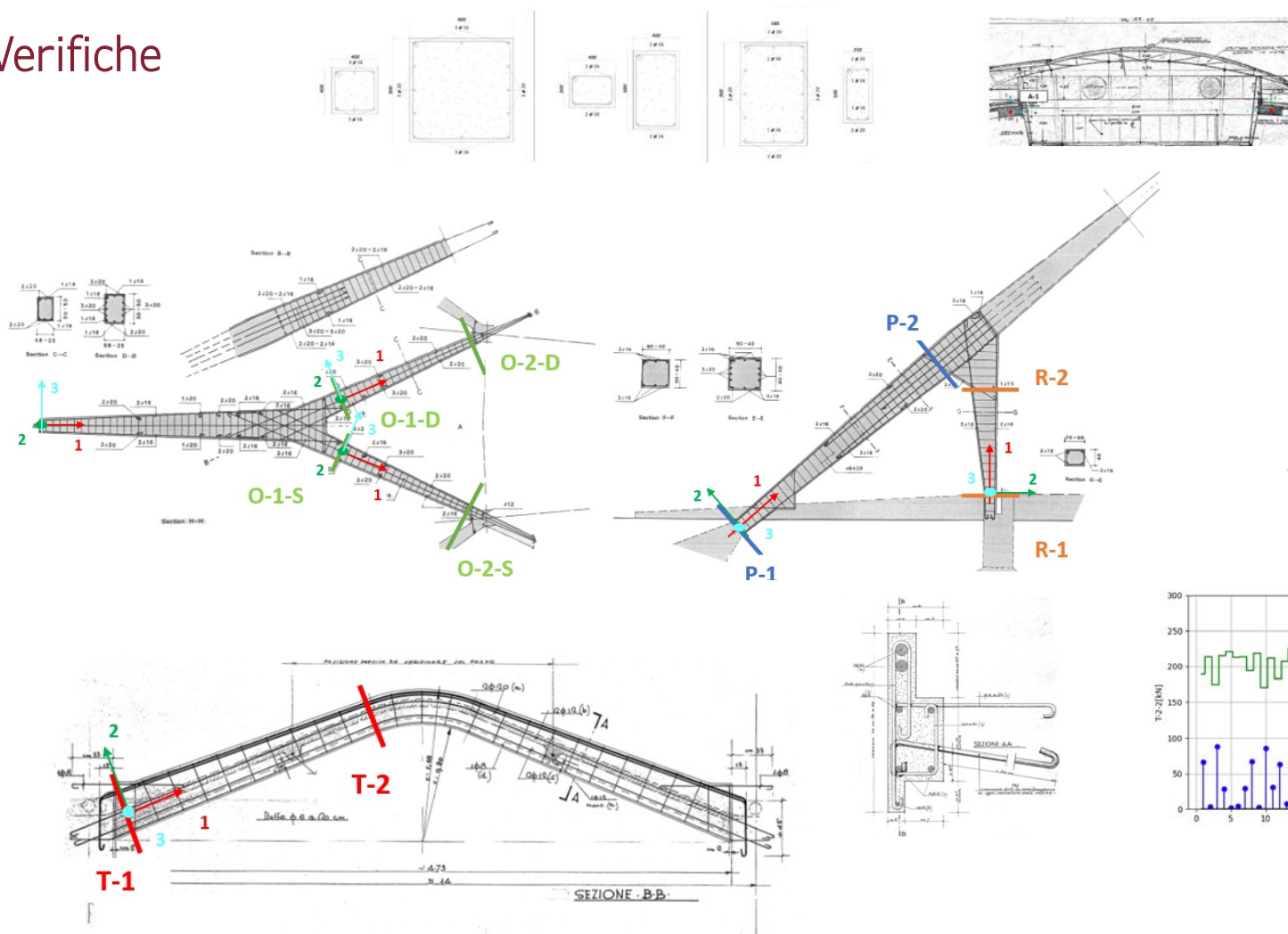
Deviazione dall'assialsimmetria



Analisi sismica



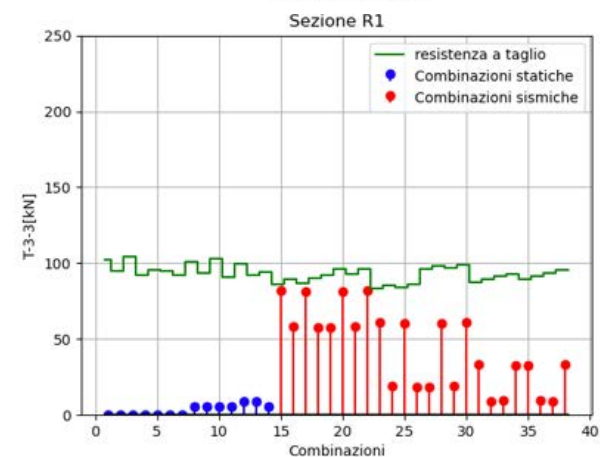
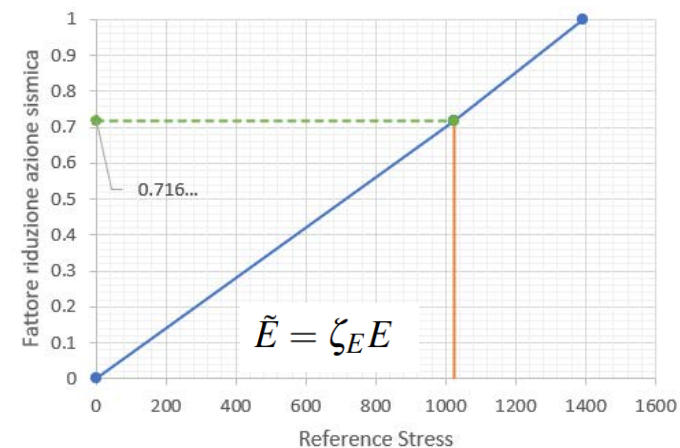
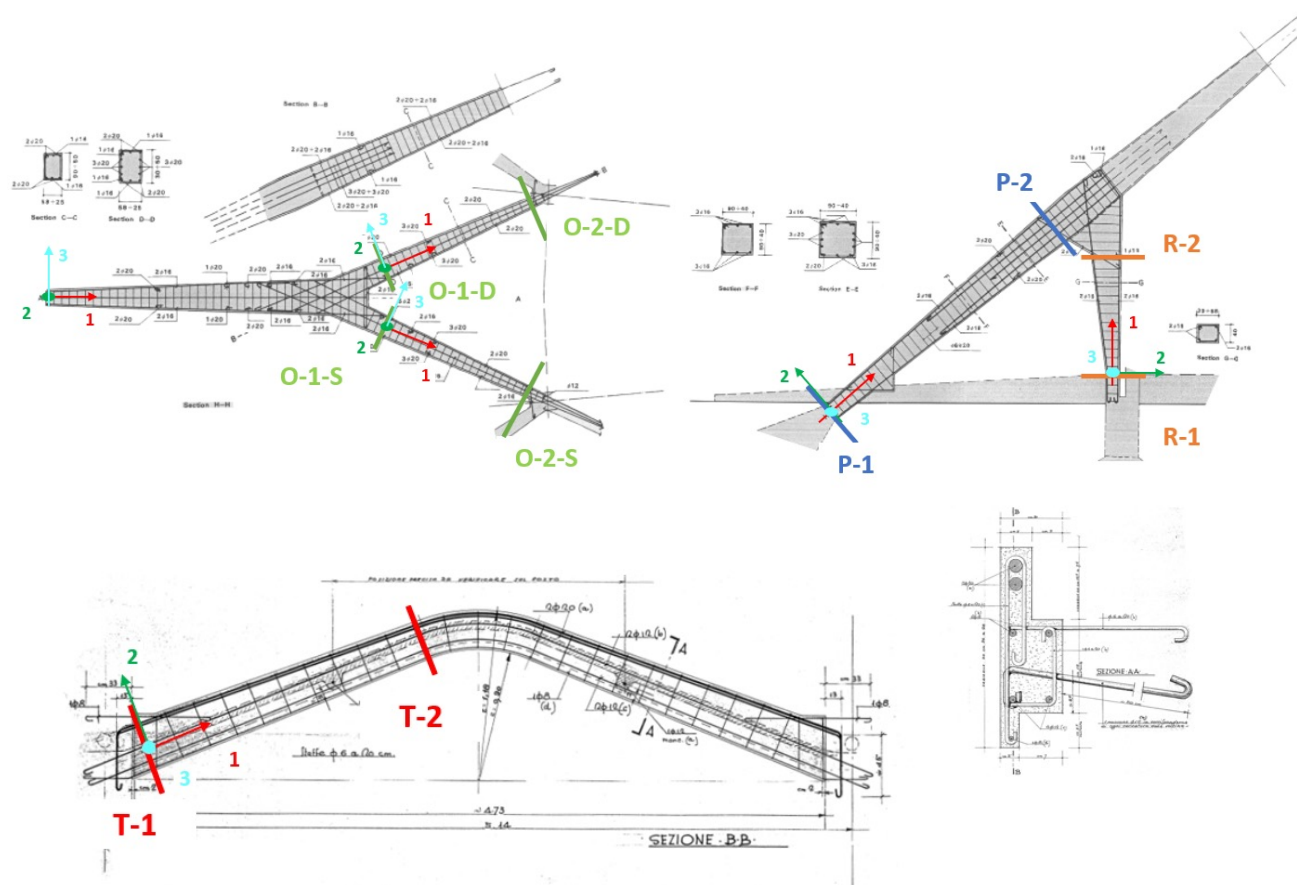
Verifiche



Section P-1



Verifiche



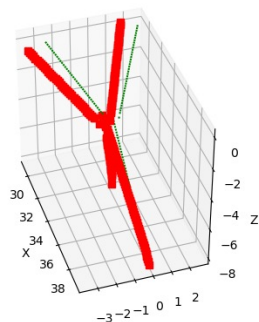
Analisi statica nonlineare

Static analysis

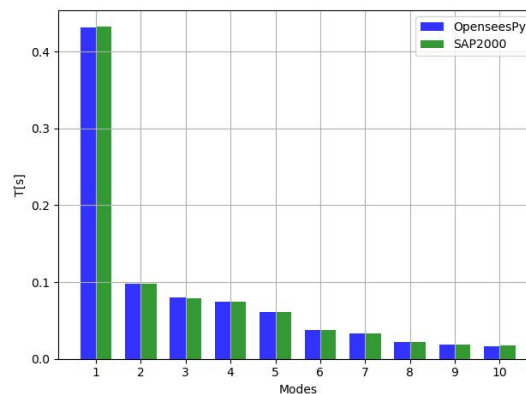
reaction_6						
SAP2000	7.624	2.82E-07	174.316	-9.13E-06	2.974	1.13E-06
opensees	7.49095	2.29E-07	174.355	-6.16E-06	2.88899	6.68E-07
Err[%]	1.7761432		0.022368		2.942551	

reaction_1						
SAP2000	-7.624	-2.83E-07	24.452	-1.36E-05	11.5532	4.84E-07
opensees	-7.49095	-2.29E-07	24.3953	-9.29E-06	11.7301	6.06E-07
Err[%]	1.776143		0.232422		1.508086	

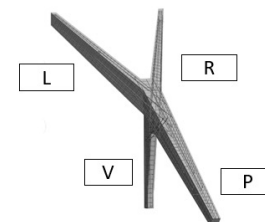
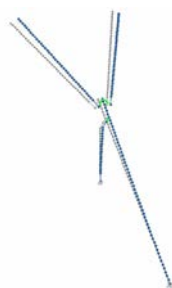
OpenseesPy



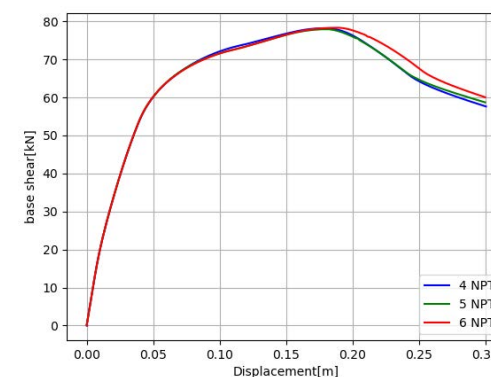
Modal analysis



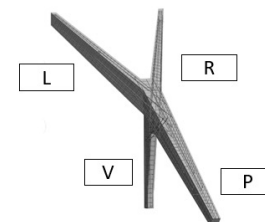
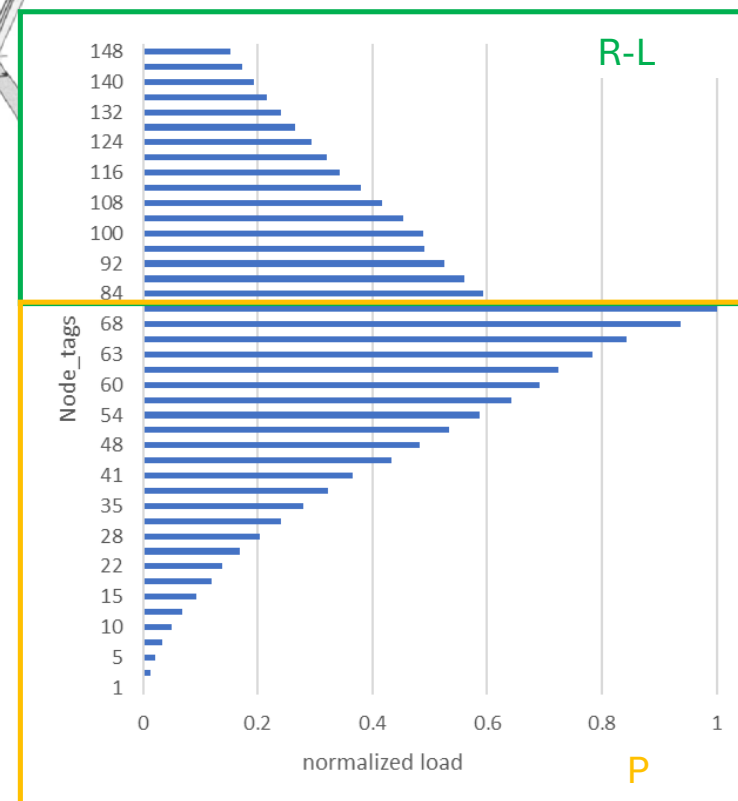
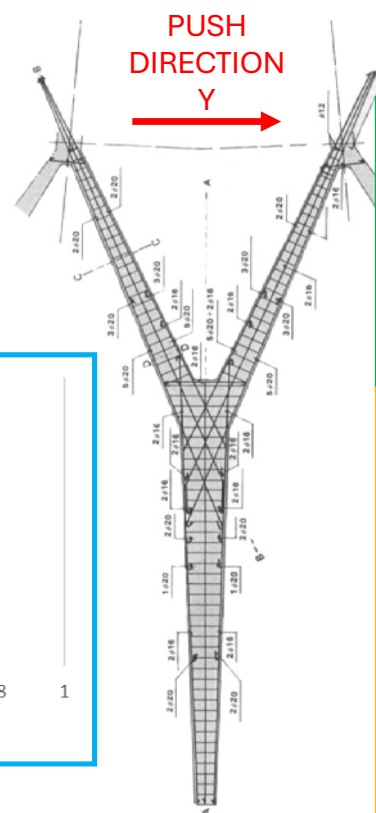
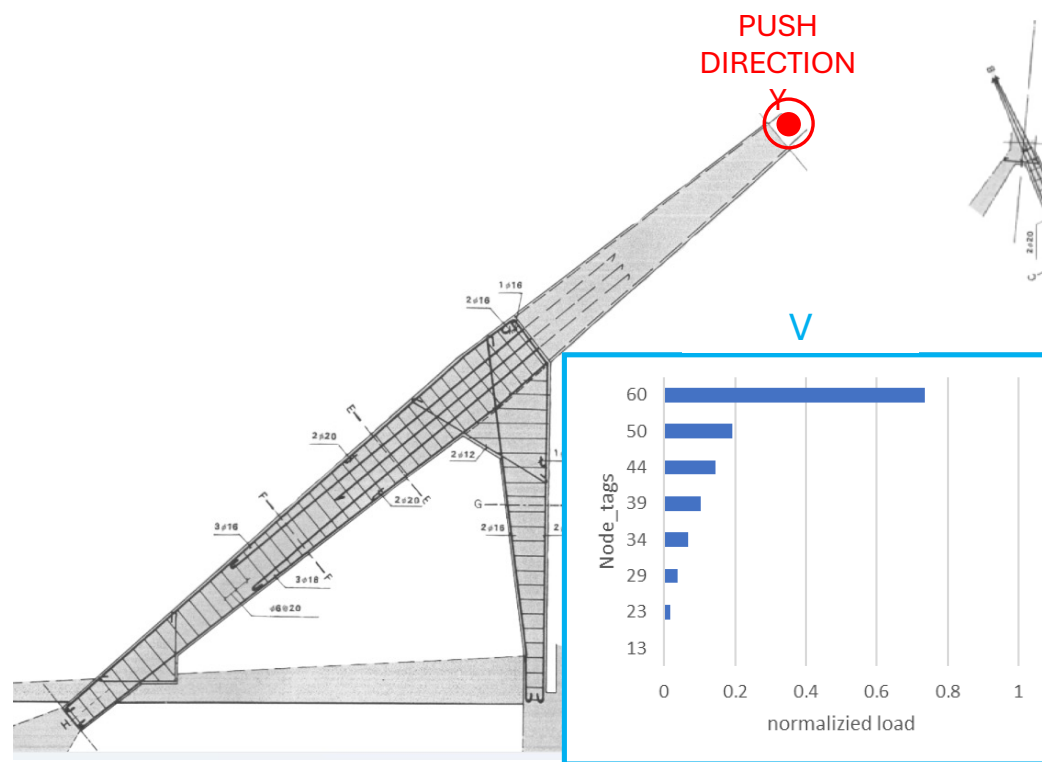
SAP2000



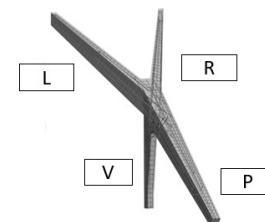
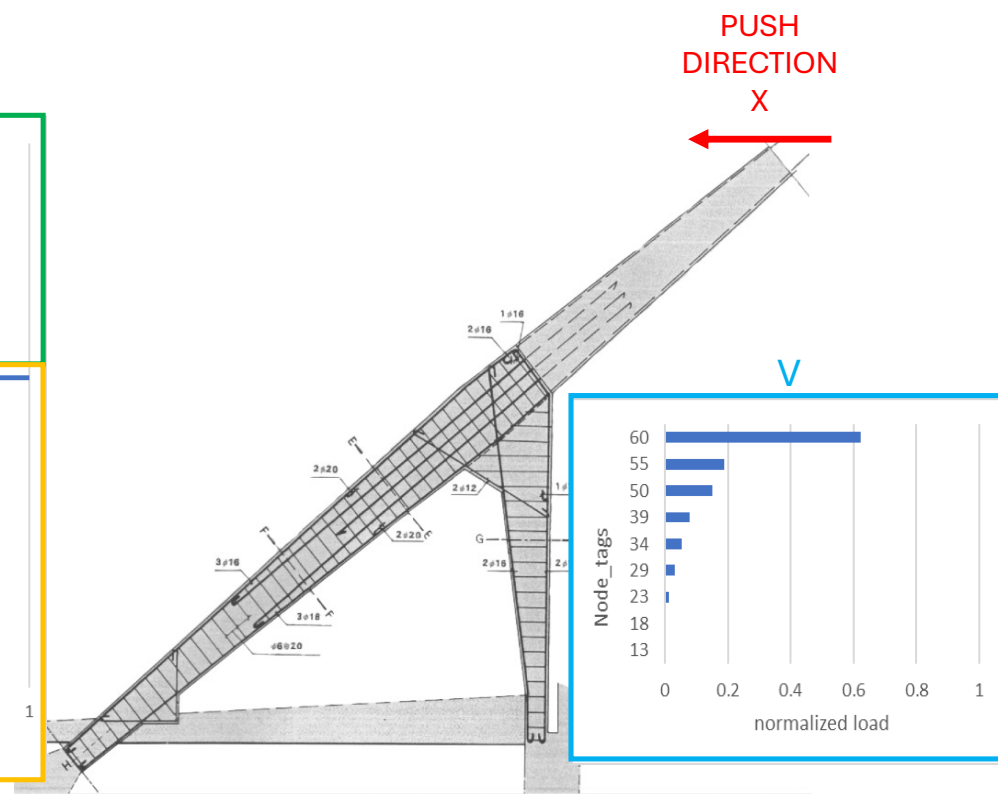
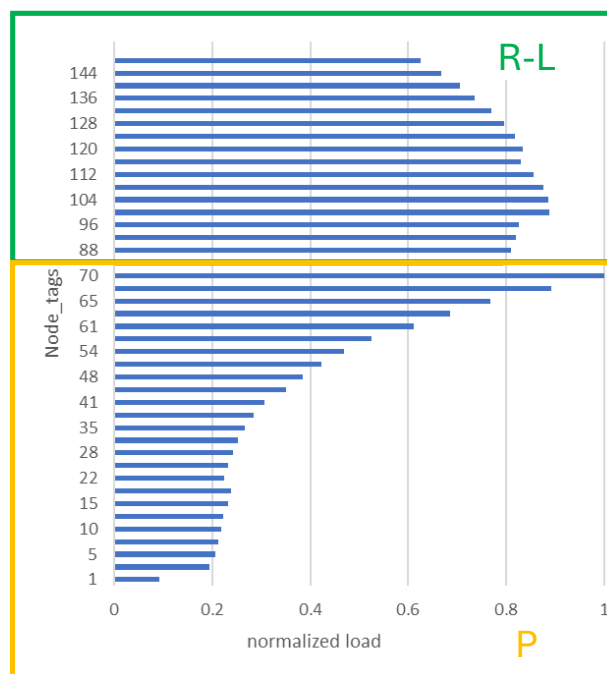
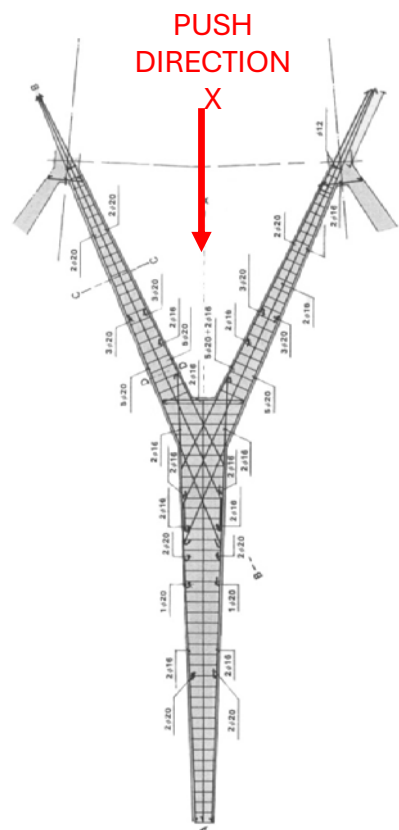
Nonlinear static analysis



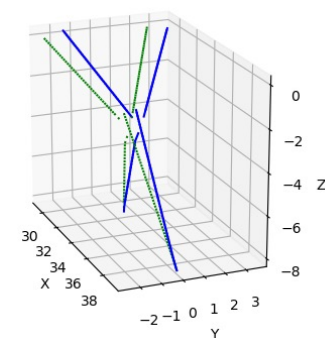
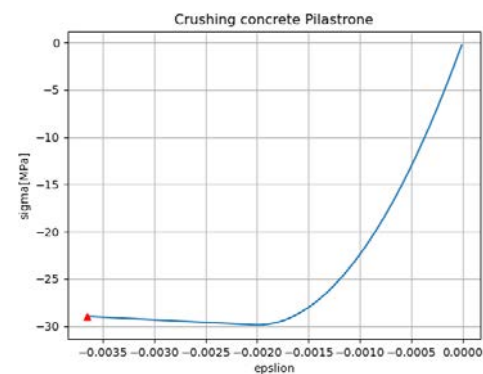
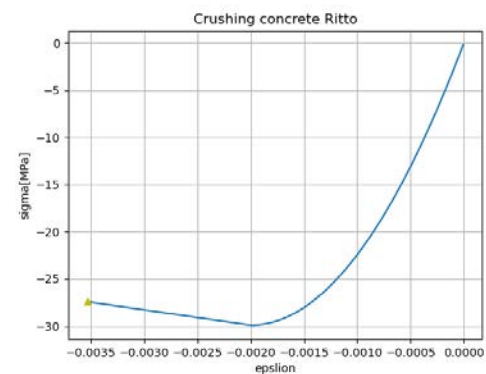
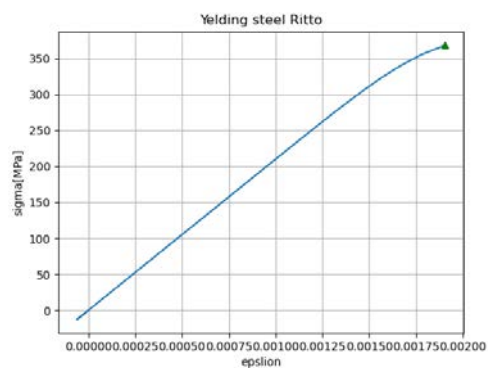
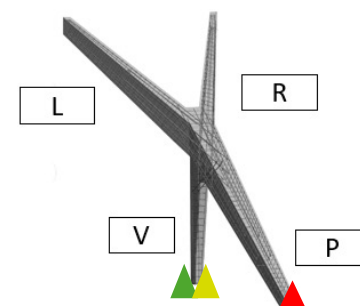
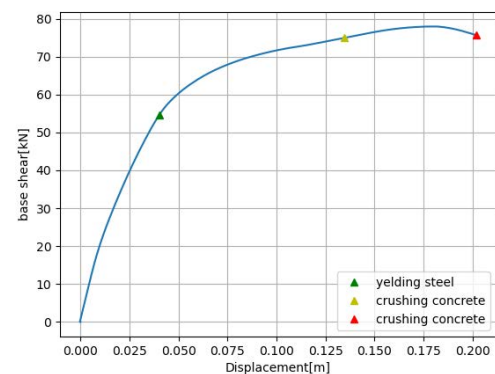
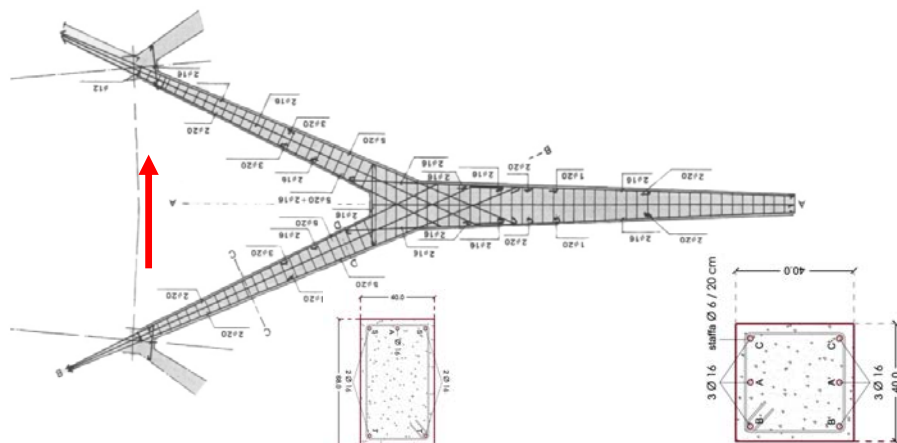
Analisi statica nonlineare



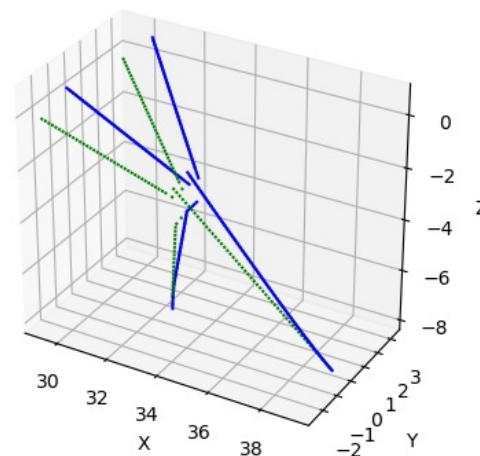
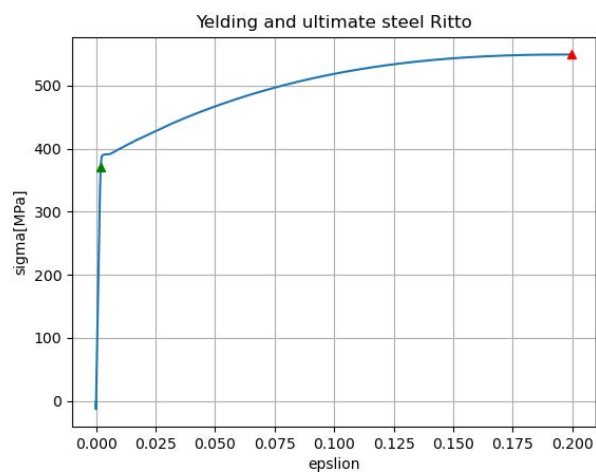
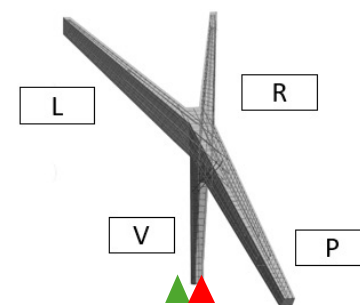
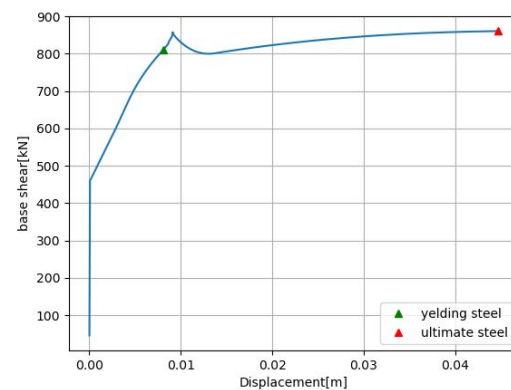
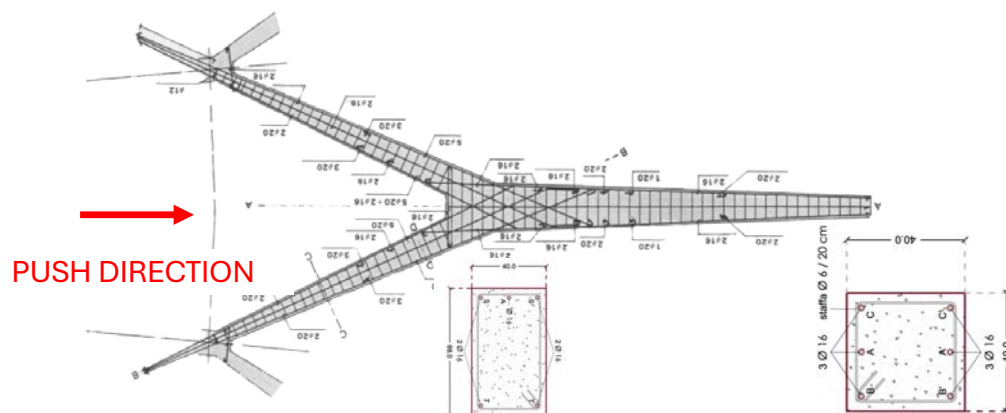
Analisi statica nonlineare



Analisi statica nonlineare



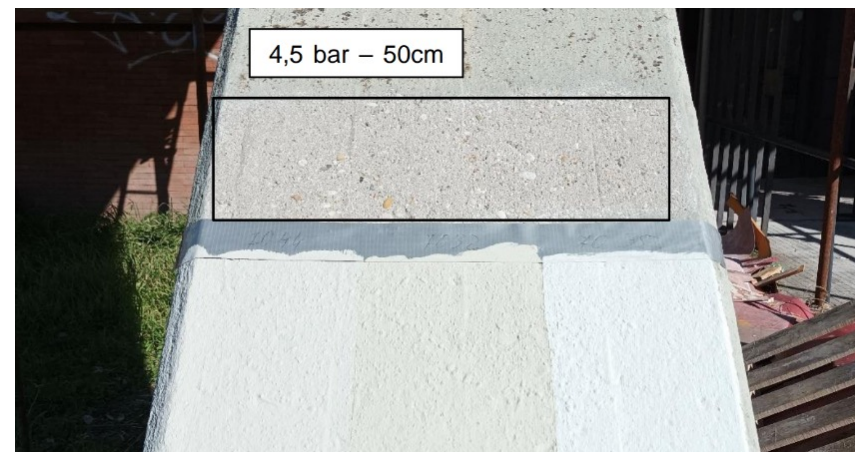
Analisi statica nonlineare



Patch repair – degrado localizzato

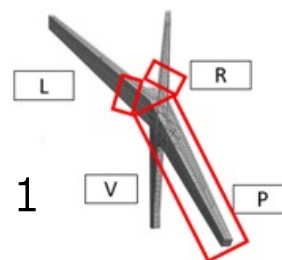


Patch repair – degrado localizzato

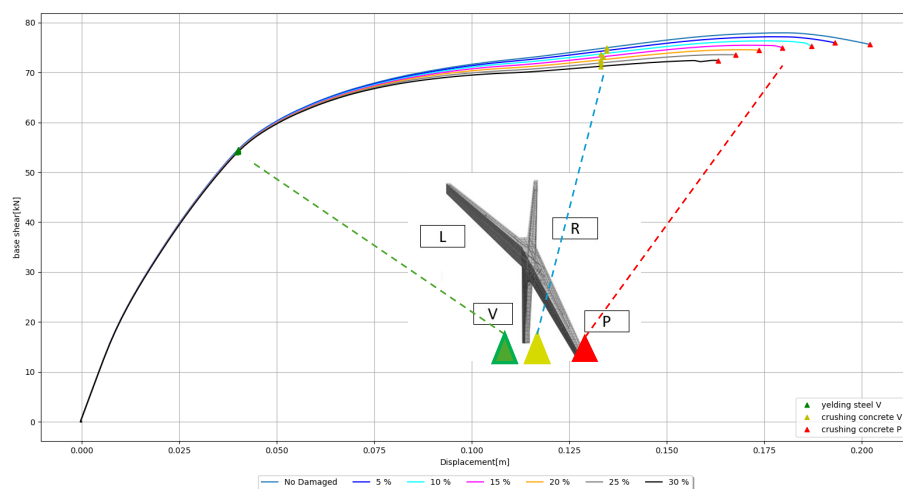


Degrado indotto dalla corrosione

Scenario 1

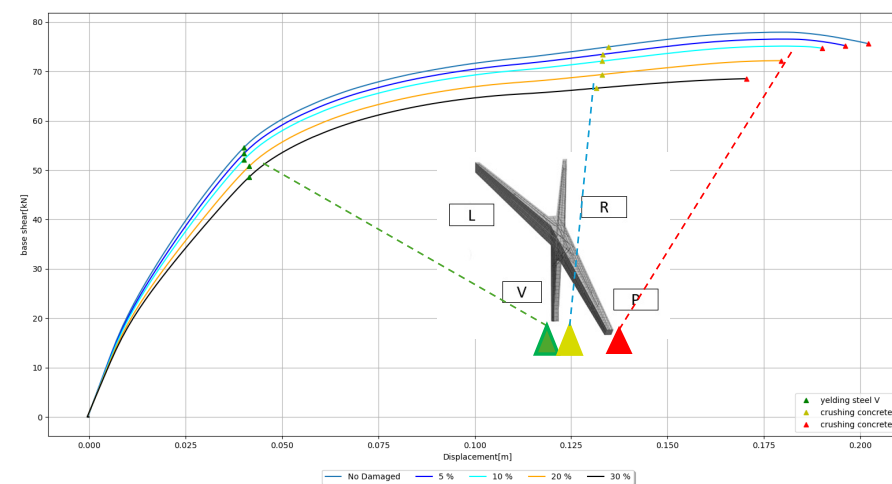


Corroded steel – Plain concrete



	μ	Loss [%]	Vmax [kN]	Loss [%]	Δu [m]	Loss [%]
No Damaged	5.04	-	77.94	-	0.20	-
5%	4.85	3.71	77.16	1.00	0.19	3.71
10%	4.66	7.41	76.34	2.06	0.19	7.42
15%	4.53	10.00	75.46	3.19	0.18	11.13
20%	4.33	14.09	74.56	4.34	0.17	14.10
25%	4.18	17.05	73.57	5.60	0.17	17.07
30%	4.06	19.28	72.43	7.07	0.16	19.30

Corroded Steel – Deteriorated Concrete

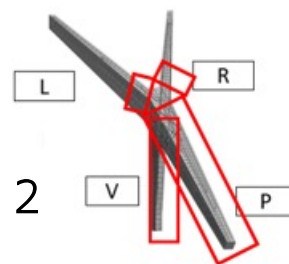


	μ	Loss [%]	Vmax [kN]	Loss [%]	Δu [m]	Loss [%]
No Damaged	5.04	-	77.94	-	0.20	-
5%	4.89	2.93	76.54	1.79	0.20	2.98
10%	4.74	5.84	75.12	3.62	0.19	5.96
20%	4.32	14.16	72.18	7.40	0.18	11.18
30%	4.11	18.38	68.59	12.00	0.17	15.66



Degrado indotto dalla corrosione

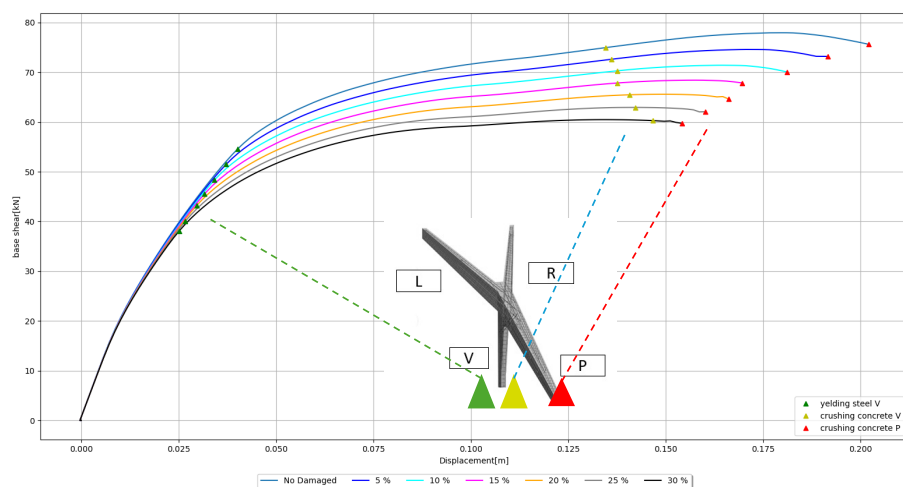
Scenario 2



Riduzioni del:

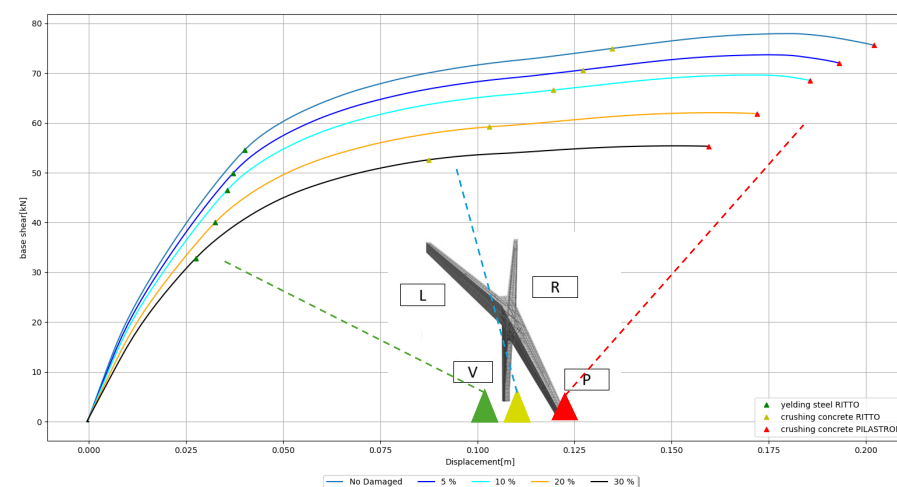
20% duttilità in spostamento
30% taglio alla base
25% spostamento ultimo

Corroded steel – Plain concrete



	μ	Loss [%]	Vmax [kN]	Loss [%]	Δu [m]	Loss [%]
No Damaged	5.04	-	77.94	-	0.20	-
5%	5.16	-2.47	74.59	4.30	0.19	5.19
10%	5.31	-5.36	71.41	8.37	0.18	10.39
15%	5.36	-6.48	68.41	12.23	0.17	16.08
20%	5.61	-11.32	65.58	15.86	0.17	17.81
25%	6.01	-19.39	62.94	19.25	0.16	20.78
30%	6.13	-21.78	60.48	22.41	0.15	23.75

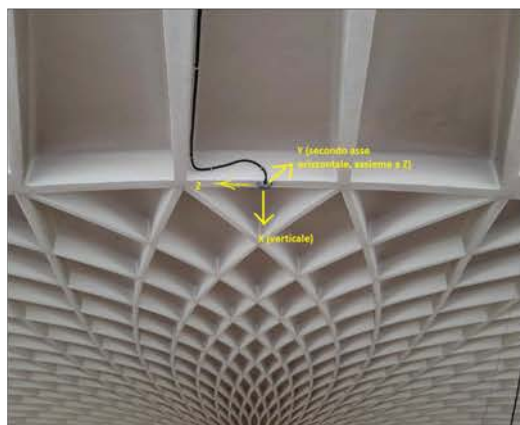
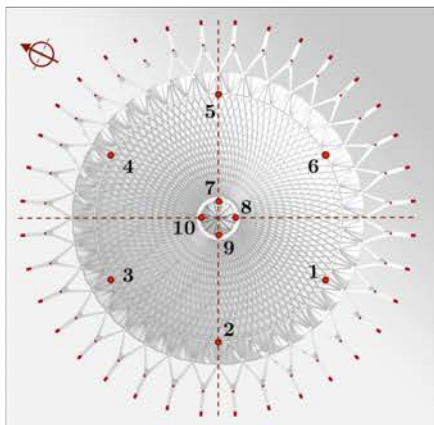
Corroded Steel – Deteriorated Concrete



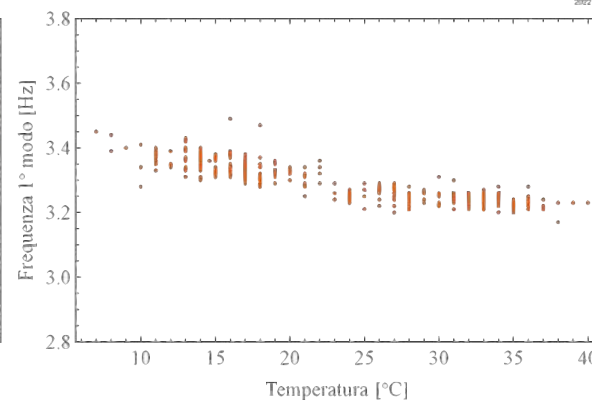
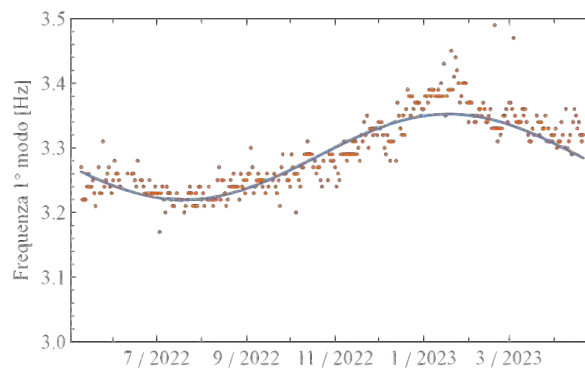
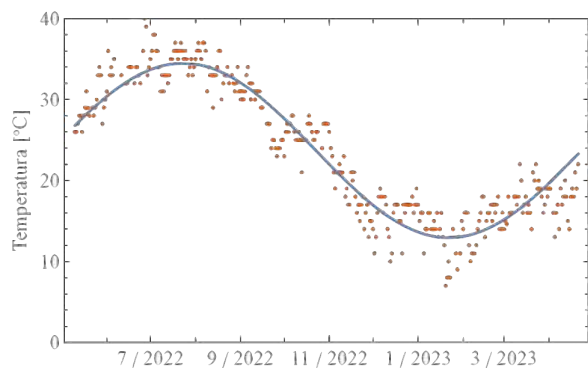
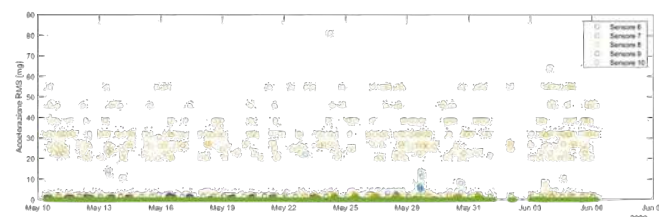
	μ	Loss [%]	Vmax [kN]	Loss [%]	Δu [m]	Loss [%]
No Damaged	5.04	-	77.94	-	0.20	-
5%	5.20	-3.31	73.69	5.45	0.19	4.46
10%	5.21	-3.55	69.63	10.67	0.19	8.19
20%	5.29	-5.00	62.06	20.38	0.17	14.89
30%	5.80	-15.26	55.40	28.92	0.16	21.11



Monitoraggio dinamico



0.05g RMS
0.15g Peak

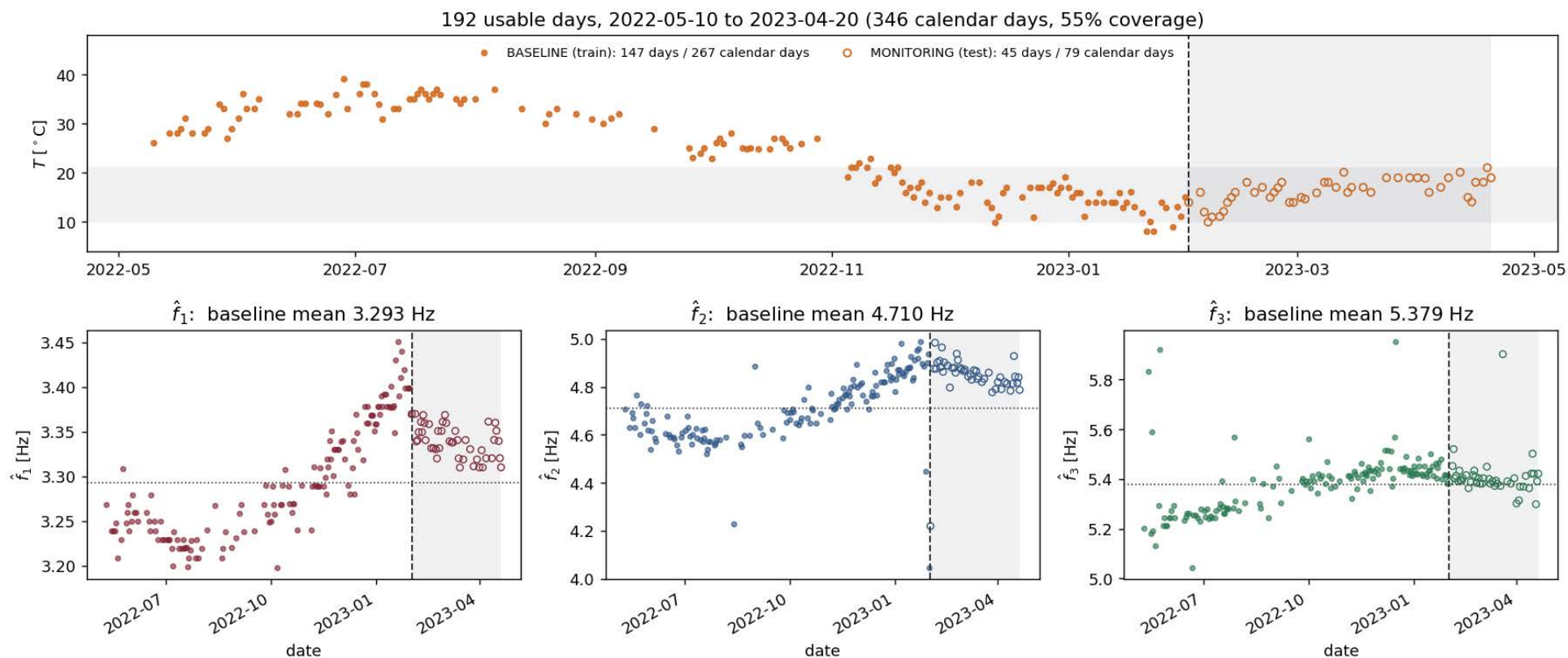


F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Monitoraggio dinamico



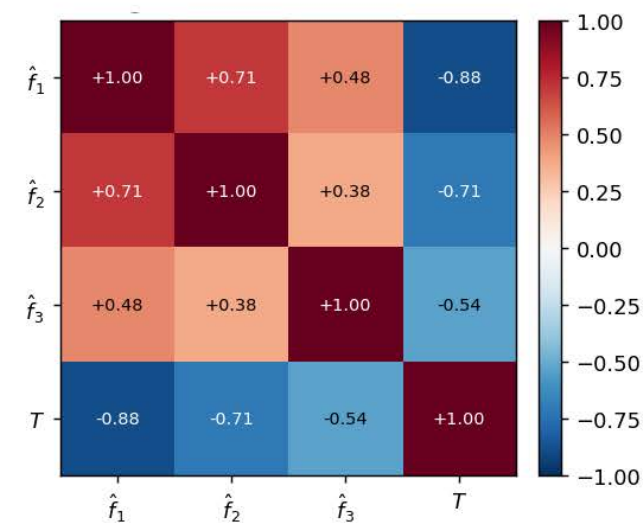
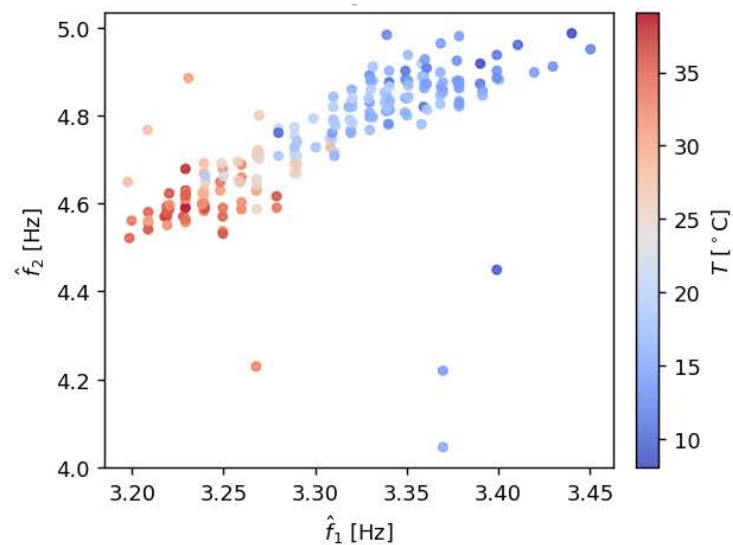
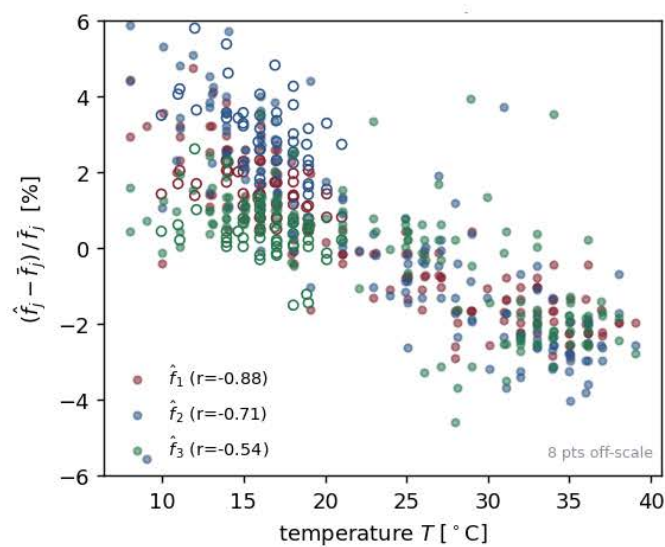
Monitoraggio dinamico – Algoritmo SHM

Train/test split. Fit on the **baseline** (2022-05 → 2023-01, 147 days, full seasonal range); apply the frozen model to the held-out **monitoring** period (2023-02 → 04, 45 days). **Notation.** $\hat{f}_j$ = frequency of mode j identified on a given day, $\bar{f}_j$ = its baseline mean (3.293, 4.710, 5.379 Hz). the baseline mean subtracted and divided out.

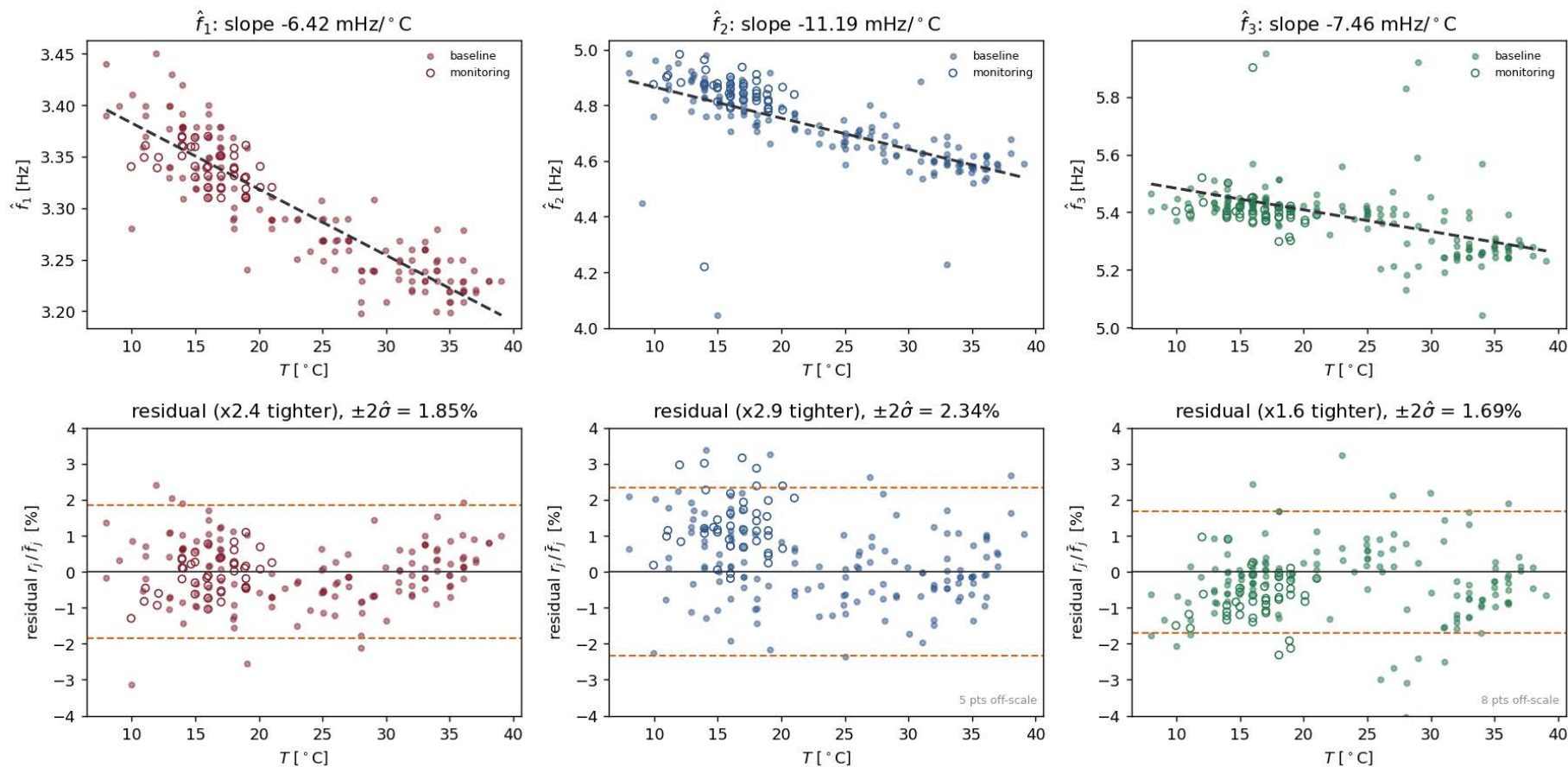
- ❶ **Temperature model** - per mode j , OLS on the baseline: $\hat{f}_j = a_j + b_j T + r_j$.
- ❷ **Robust residual** - remove the fit, scale by the median absolute deviation: $r_j = \hat{f}_j - (a_j + b_j T)$, $\hat{\sigma}_j = 1.4826 \text{ med}_i |r_{ij} - \text{med}(r_j)|$, $z_j = r_j / \hat{\sigma}_j$.
- ❸ **Health index** - fuse the three modes with a Mahalanobis distance: $D^2 = (\mathbf{z} - \boldsymbol{\mu})^\top \Sigma^{-1} (\mathbf{z} - \boldsymbol{\mu})$.
- ❹ **Robust screening (MCD)** - the Minimum-Covariance-Determinant estimator *selects the days*. It locates the least-scattered core of the 147 baseline days (123 retained after its internal $\chi^2_{3,0.975}$ reweighting); every day whose *robust* distance exceeds $\chi^2_{3,0.999} = 16.27$ is discarded as gross data (14 days). The deployed $\boldsymbol{\mu}, \Sigma$ are the sample mean and covariance of the **133** surviving days.
- ❺ **Threshold** - Gaussian residuals give $D^2 \sim \chi^2_3$, so $\tau_\alpha = \chi^2_{3,1-\alpha}$ (**RED** 0.01 $\Rightarrow$ 11.34, **YELLOW** 0.05 $\Rightarrow$ 7.81).
- ❻ **Decision** - a single crossing is an **ALERT**; a *persistent* one is an **ALARM**, via a k -of- n counter or a one-sided CUSUM.



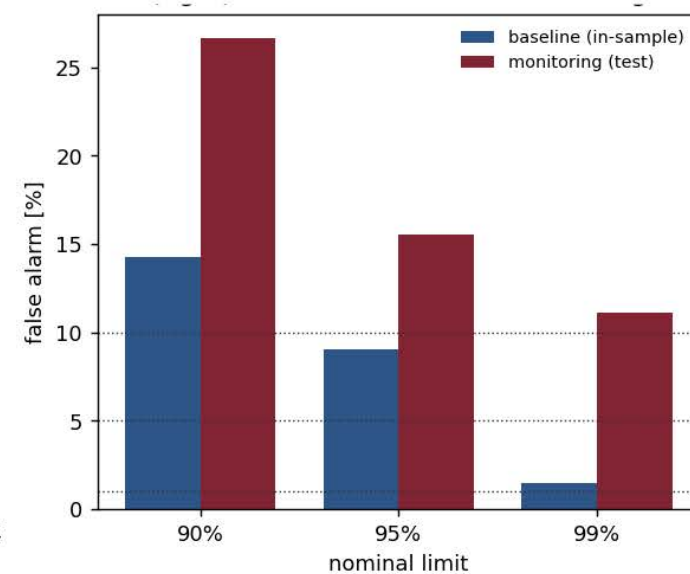
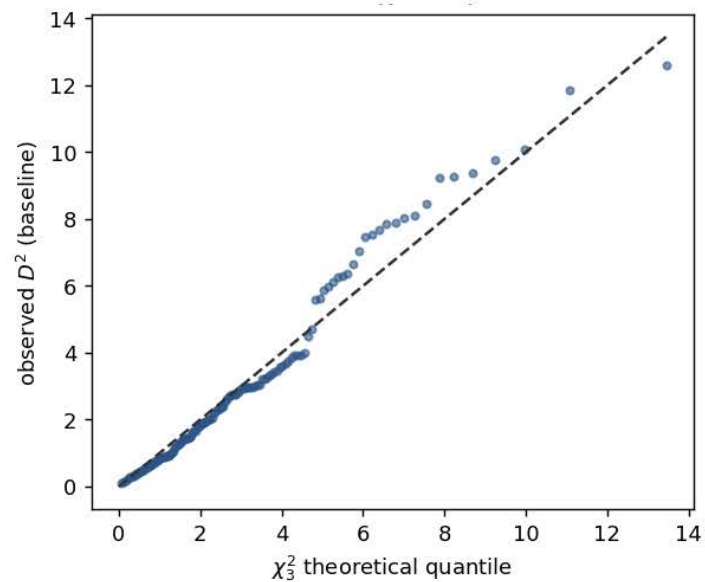
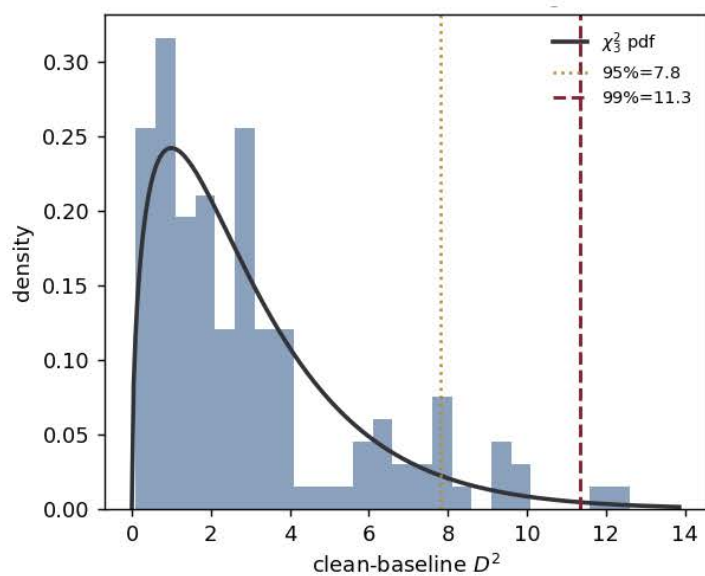
Monitoraggio dinamico – Algoritmo SHM



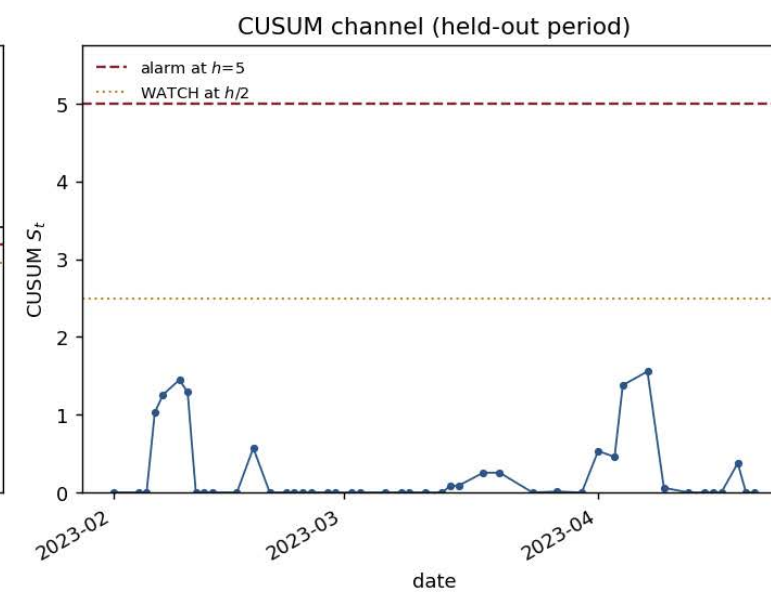
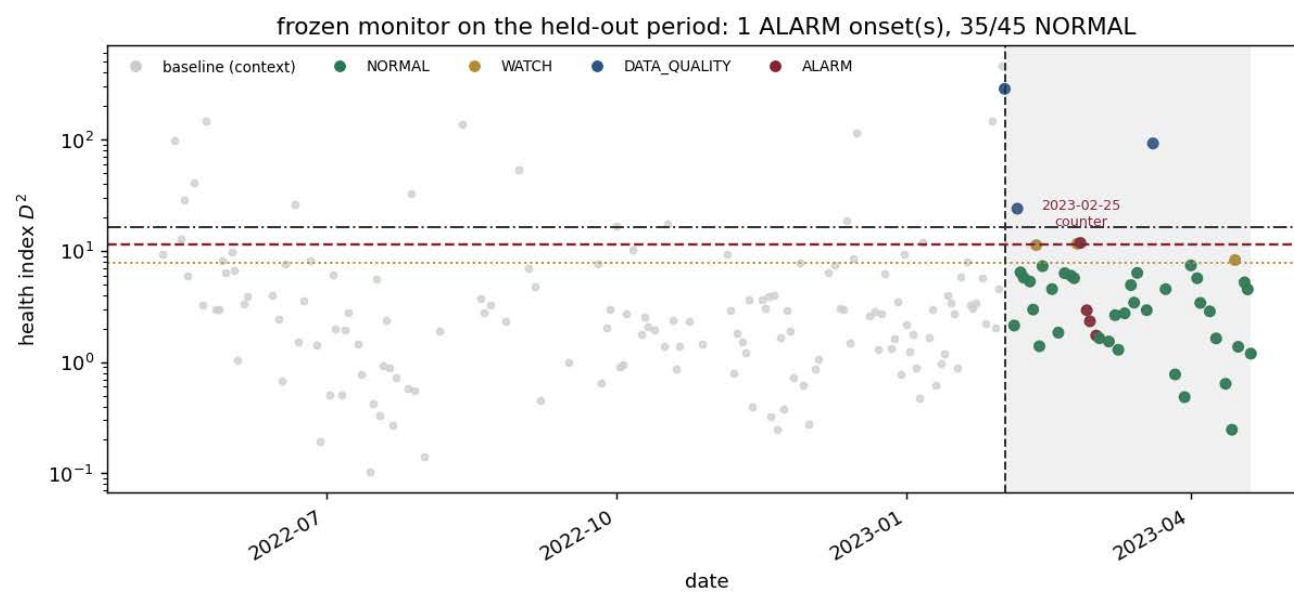
Monitoraggio dinamico – Algoritmo SHM



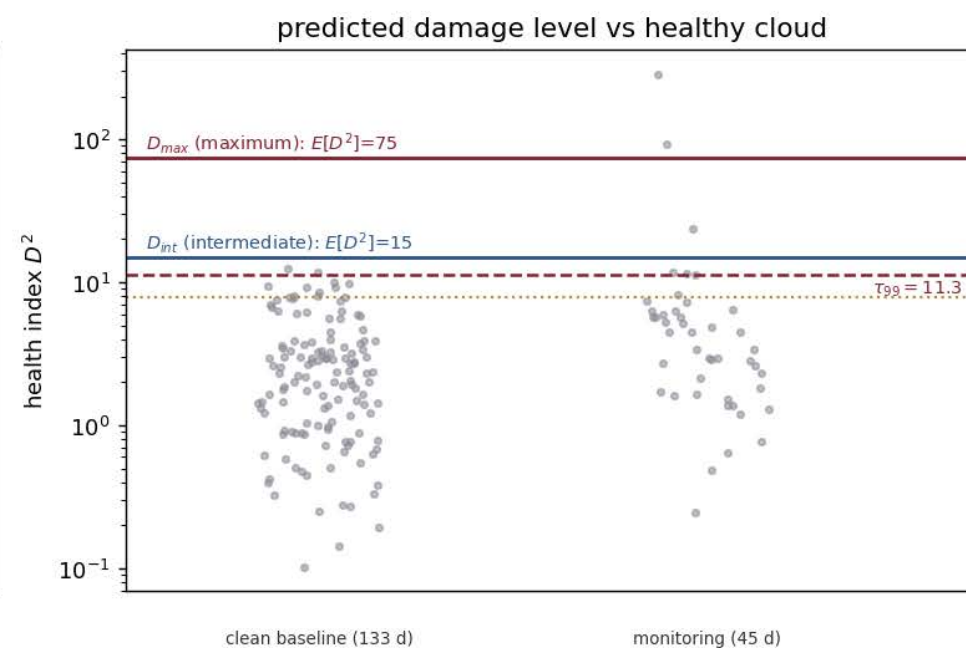
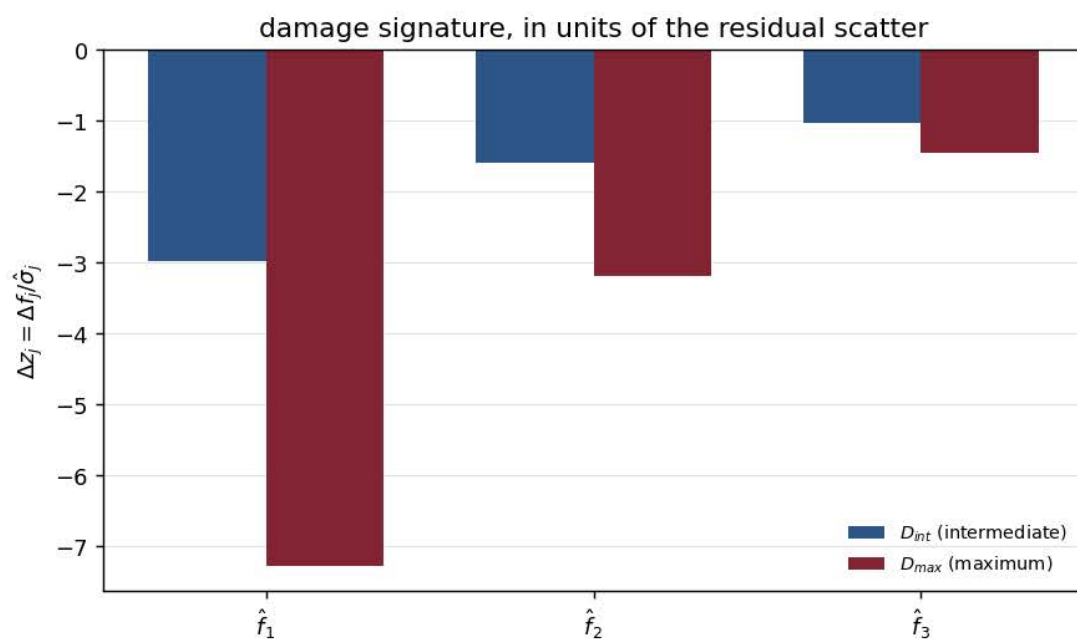
Monitoraggio dinamico – Valori soglia



Monitoraggio dinamico – Valori soglia



Monitoraggio dinamico – Valori soglia



Il Palazzetto oggi



Il Palazzetto oggi

Foto: A. Lanzetta



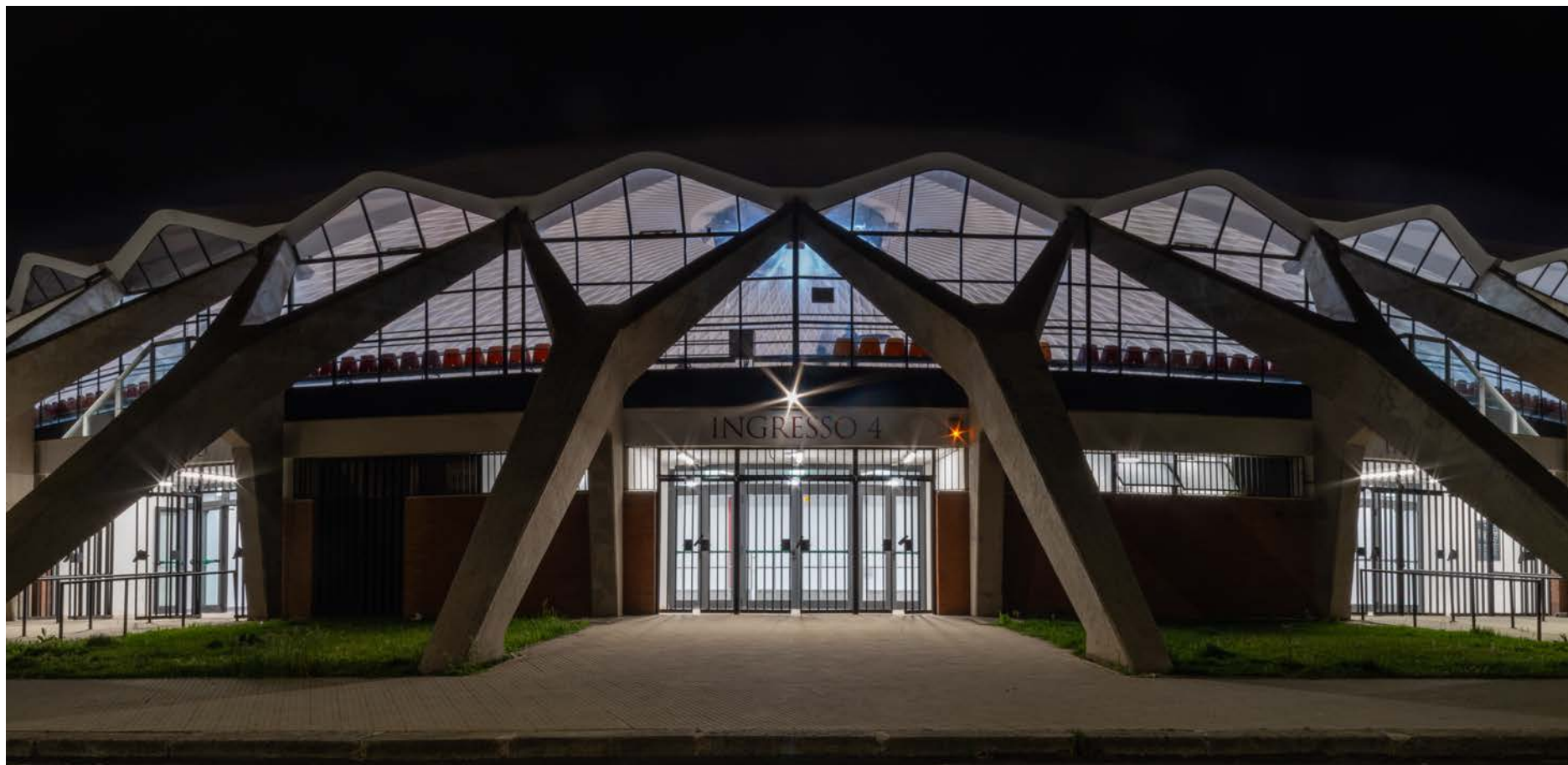
F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Il Palazzetto oggi

Foto: A. Lanzetta



F. Romeo – Sicurezza e conservazione del patrimonio in cemento armato: il Palazzetto dello Sport a Roma

21/09/2026

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI