

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

Prof. Ing. Andrea Prota
aprota@unina.it

Auditorium - via Villa dei Misteri, 2 Pompei (NA)
11 Luglio 2016



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

STRUTTURE DI INTERESSE STORICO-ARTISTICO



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

STRUTTURE DI INTERESSE STORICO-ARTISTICO



Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo



Convenzione Rep. n. 113/2011 del 30/09/2011

**“Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali. Applicazione
O.P.C.M. 3274/2003 s.m.i. e della Direttiva P.C.M. 12.10.2007”**

Convenzione Rep. n. 21/2011 del 26/10/2011



**Dipartimento di Strutture per
l'Ingegneria e l'Architettura**



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Progetto MIBAC-RELUIS

17 Unità di Ricerca hanno lavorato su 46 strutture museali

I CASI STUDIO: UNINA

Museo Archeologico Nazionale



Museo di Capodimonte



Museo Duca di Martina



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

METODOLOGIA D'ANALISI

1 IDENTIFICAZIONE DELLA COSTRUZIONE

**2 CARATTERIZZAZIONE FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO E DEI SUOI SPAZI**

3 RILIEVO GEOMETRICO E DEL DANNO

**4 ANALISI STORICA DEGLI EVENTI E INTERVENTI
SUBITI**

**5 RILIEVO MATERICO COSTRUTTIVO E LO STATO
DI CONSERVAZIONE**

**6 CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICA E
MECCANICA DEI MATERIALI**

7 ASPETTI GEOTECNICI

8 METODI SEMPLIFICATI: LV1

9 MECCANISMI LOCALI: LV2

**10 ANALISI GLOBALI/ MECCANISMI LOCALI:
LV3**

11 CRITERI GENERALI

12 SCELTE DEGLI INTERVENTI

FASE 1 : RILIEVO E CONOSCENZA

**FASE 2 : VALUTAZIONE DELLA
SICUREZZA SISMICA**

FASE 3 : PROGETTAZIONE



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

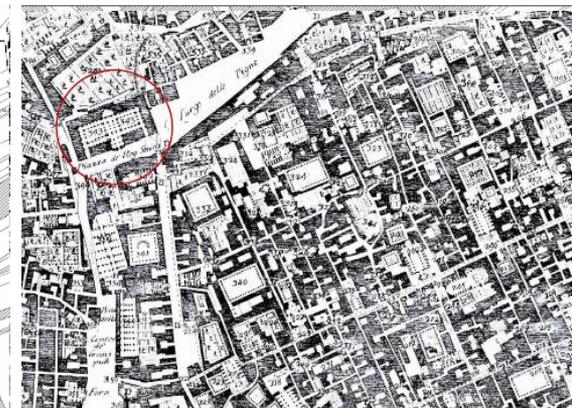
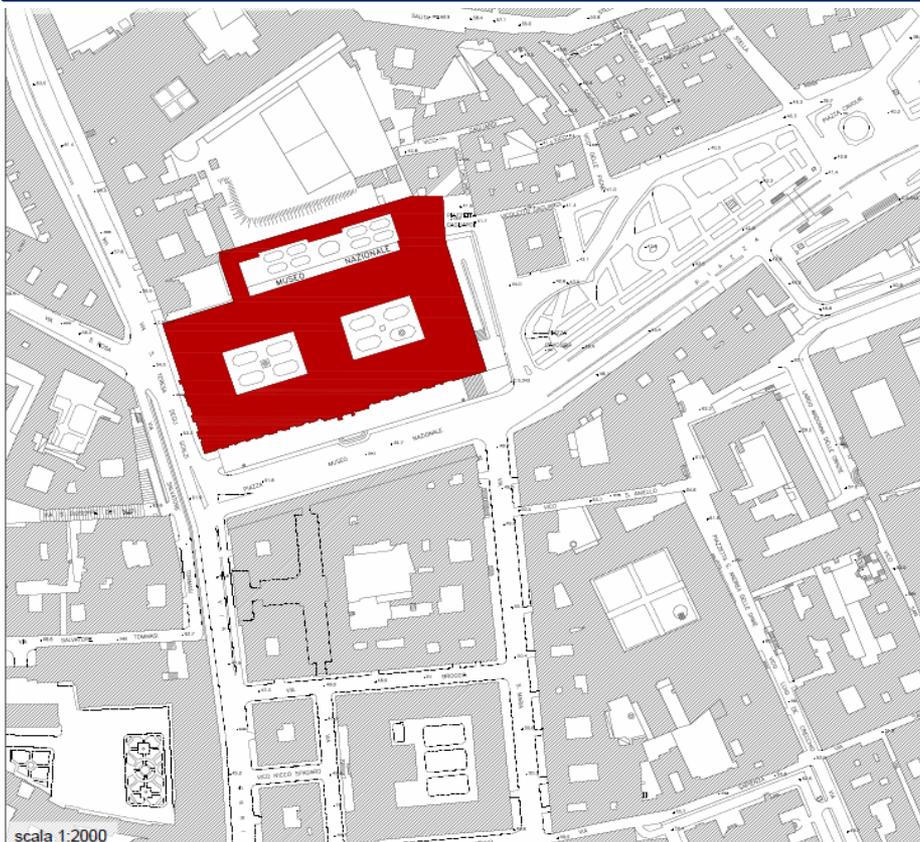
SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Museo Archeologico Nazionale di Napoli



G. Carafa G. CARAFA (duca di Noja) N. CARLETTI, Mappa topografica della città di Napoli e de' suoi contomi, Napoli 1750-1775



F. SCHIAVONI, Pianta della Città di Napoli, (24 carte) Napoli 1863-1880

Il Museo Archeologico Nazionale di Napoli (MANN) è ubicato nell'isolato definito dall'intersezione tra Via Pessina/Santa Teresa degli Scalzi ed il prolungamento di Via Foria. Nella sua configurazione attuale il palazzo del Museo si presenta come un **corpo compatto di forma rettangolare a due piani principali**, con la facciata prospiciente l'omonima Piazza corrispondente al lato di maggiori dimensioni, e disposta a sud-ovest, mentre il lato minore occidentale si sviluppa lungo Via Santa Teresa degli Scalzi



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

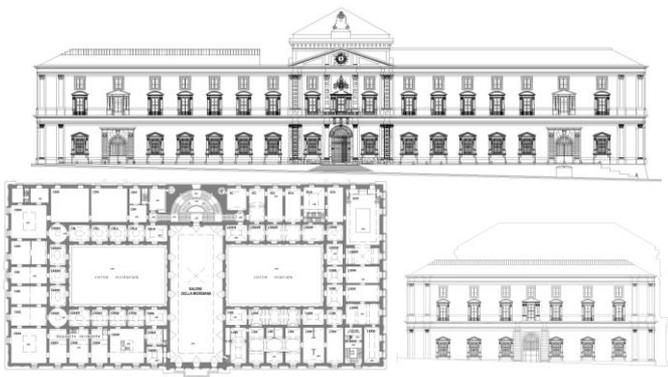
SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Rilievo geometrico

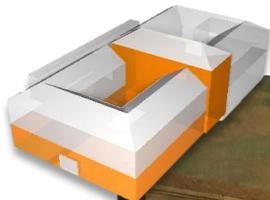


Rilievo del danno



Tipologie di danno			
	Spanciamento		Crollo
	Lesione non passante		Lesione del cantonale
	Lesione passante		Martello
	Lesione diffusa		Incrocio
	Lesione a croce		Lesione all'architrav

Ipotesi evolutiva

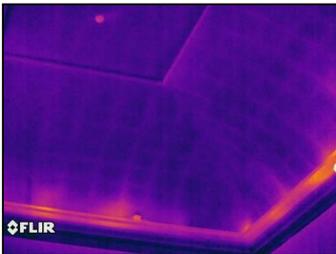


ANNI 1612-1616

FASE 2



Indagini



ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI POTENZA

fondazione architetti e ingegneri liberi professionisti iscritti INARCASSA

POMPEII

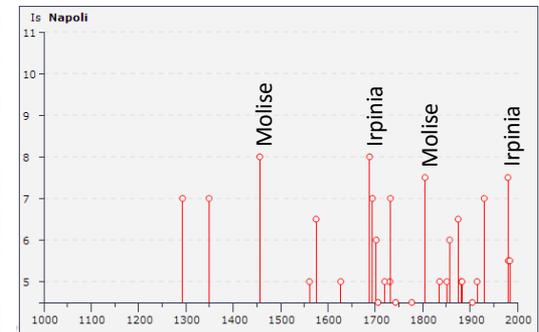
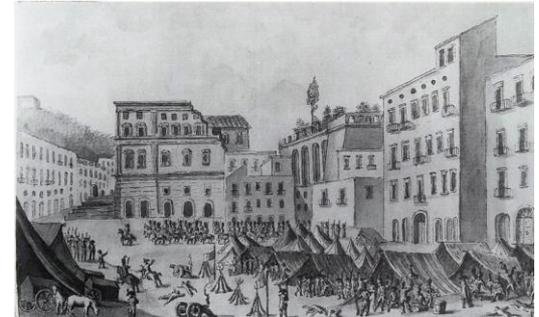
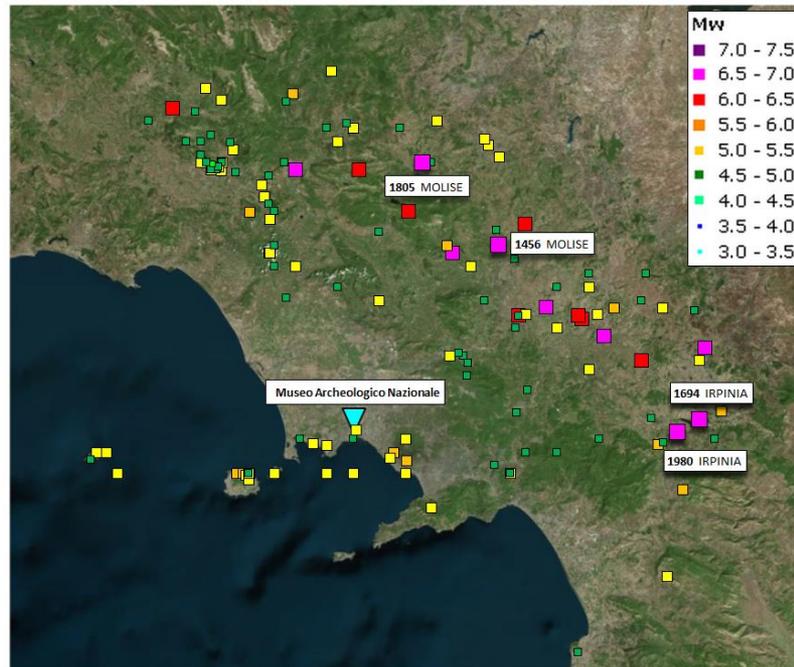
SOPRINTENDENZA POMPEI



Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Analisi Storica degli eventi

A partire dal **1400**, il territorio del comune di Napoli ha subito numerosi scuotimenti tellurici anche di elevata intensità.



Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Caratterizzazione Materiali

Fattore di confidenza Linee guida B. C.

Rilievo geometrico	Identificazione della specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
Rilievo geometrico completo $F_{C1}=0.05$	Restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2}=0.12$	Parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3}=0.12$	Limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4}=0.06$
Rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1}=0$	Restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione; b) esteso rilievo materico degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione $F_{C2}=0.06$	Limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3}=0.06$	Disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4}=0.03$
	Restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{C2}=0$	Estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3}=0$	Estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4}=0$

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck}$$

LINEE GUIDA EQ 4.1

$$F_C = 1 + (0 + 0.06 + 0.06 + 0.06)$$

$$F_C = 1.18$$



LC2

Tabella 4.1 - Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione

architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Caratterizzazione Materiali

Caratteristiche meccaniche dei materiali

LIVELLO DI CONOSCENZA LC2

- $FC = 1,18$ fattore di confidenza;
- $\gamma = 2$, coefficiente di sicurezza per edifici in muratura (§ 7.8.1.1 NTC-08 [2]).

Analisi lineari $\rightarrow f_d = \frac{f_m}{(FC \cdot \gamma)}$

Analisi non lineari $\rightarrow f_d = \frac{f_m}{FC}$

Tabella C8A.2.1

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbalzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura $< 45\%$)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	

Valori **medi** di Tabella C8A.2.1

TIPOLOGIA DI MURATURA	ANALISI	f_d (N/cm ²)	T_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	Lineare	80,51	1,485	1080	360	16
	Non Lineare	161,02	2,97			

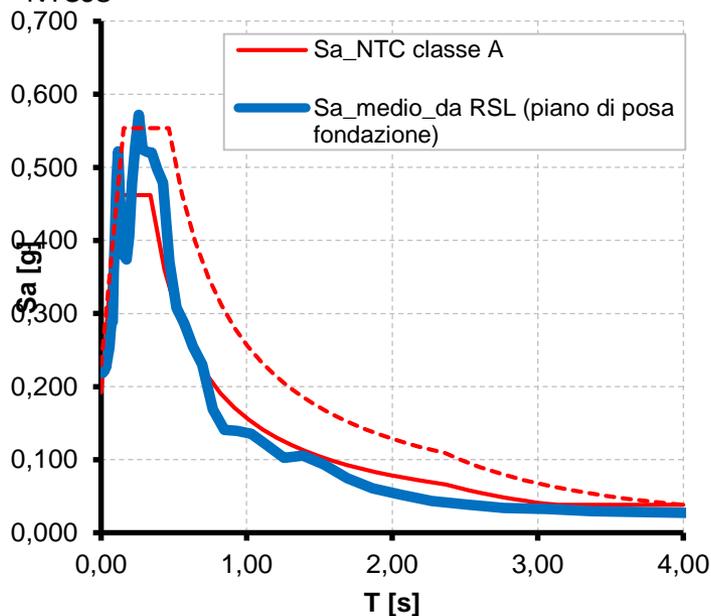
Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Azione Sismica

Le indagini sui terreni per la caratterizzazione dei suoli dal punto di vista dell'amplificazione stratigrafica dell'accelerazione sismica, è stata eseguita dal **CNR-IGAG**, il quale ha effettuato una analisi della risposta sismica locale (RSL).

$V_N=50$ anni

Classe d'uso (C_U) = **Classe III** in osservanza del §2.4.2
 NTC08



	TR [anni]	a_g [g]	F° [-]	T^*C [s]
SLO	45	0,056	2,338	0,306
SLD	75	0,075	2,326	0,323
SLV	712	0,192	2,416	0,341
SLC	1462	0,240	2,501	0,343

AZIONE SISMICA	
Vita nominale	$V_N = 50$
Classe d'uso	$C_U = 1,5$
Periodo di riferimento dell'azione sismica	$V_R = 75$
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 0,1$
Periodo di ritorno dell'azione sismica	$T_R = 712$

Categoria di sottosuolo	B	
Coefficienti di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1,2
	$C_C =$	1,36
Categoria topografica	T1	
	$S_T =$	1



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



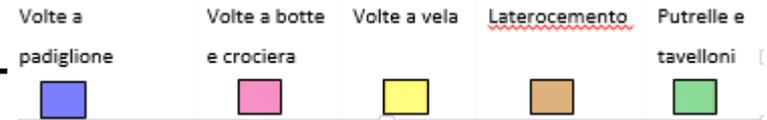
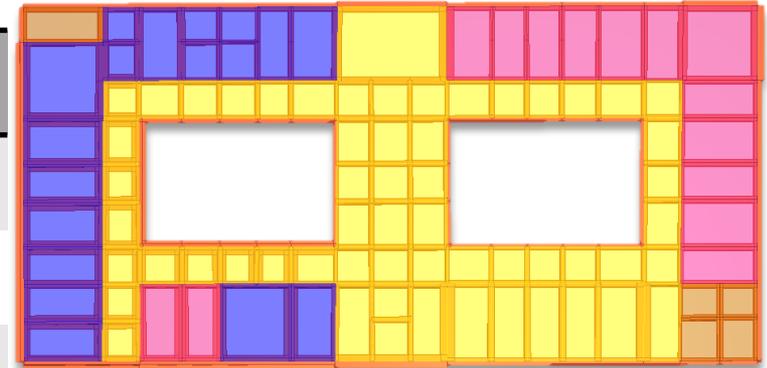
Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

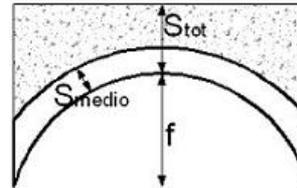
Carichi

$$G_1 + G_2 + \sum_j \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Ambiente	Categoria	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
Scale e ballatoi	C	4,00	4,00	2,00
Sale espositive	C	5,00	5,00	3,00
Depositi	E	6,00	6,00	1,00
Copertura	H	0,50	1,20	1,00



	Ψ_{2j}
Categoria C2	0,6
Categoria C3	0,6
Categoria E1	0,6
Categoria H	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0



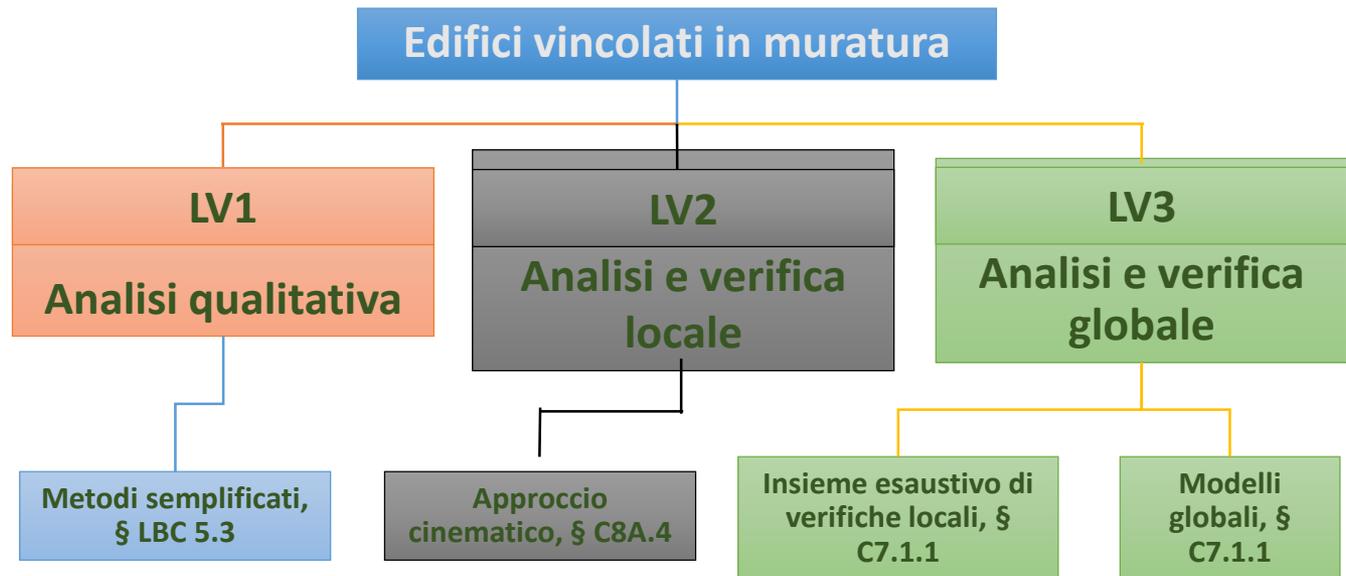
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE – Volta			
Spessore totale in chiave	$S_{tot} =$	1,4	m
Spessore medio strutturale	$S_{med} =$	0,4	m
Freccia	$f =$	0,3	m
Materiale volta	Tufo Giallo		
Materiale riempimento	Lapideo e tufaceo		
Peso specifico muratura	$\gamma_m =$	16	kN/m ³
Peso specifico riempimento	$\gamma_r =$	16	kN/m ³

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Normativa

Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare **meccanismi locali** e **meccanismi d'insieme**.

La **sicurezza** della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo (**NTC2008 §8.7.1**).



Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV1

La valutazione della sicurezza sismica può essere condotta con riferimento a metodi semplificati che siano tuttavia in grado di stimare l'indice di sicurezza sismica

$$LBC \text{ Eq 2.3 } I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} \quad \begin{array}{l} T_{SLV} = \text{periodo di ritorno che porta allo SLV} \\ T_{R,SLV} = \text{periodo di ritorno di riferimento} \end{array}$$

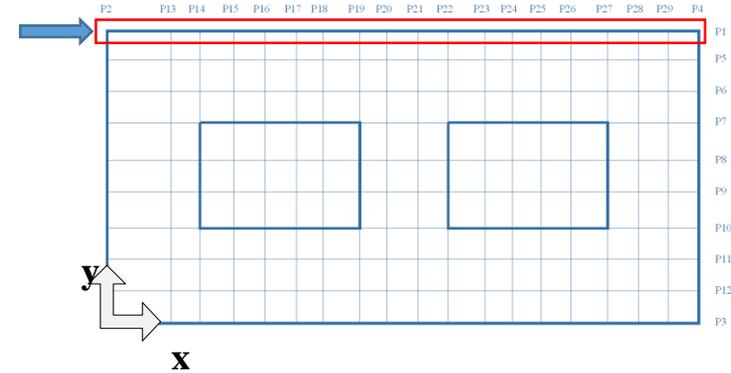
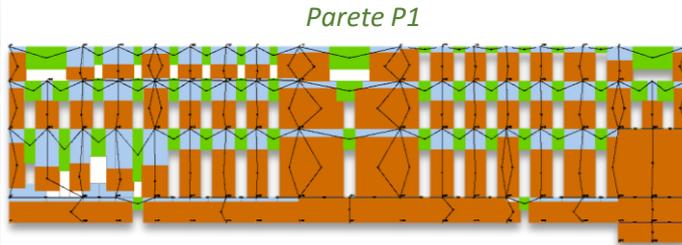
I metodi semplificati LV1 possono in alternativa fornire come risultato la **vita nominale** per la quale il manufatto presenta un indice di sicurezza uguale a 1 (tenendo conto anche delle condizioni d'uso). In questo caso, la vita nominale rappresenta il periodo di tempo nel quale la costruzione può essere usata con lo stesso livello di sicurezza prescritto per le nuove costruzioni.

$$V_N = -\frac{T_{SL}}{C_U} \ln(1 - P_{V_R}) \quad \begin{array}{l} T_{SLV} = \text{periodo di ritorno che porta allo SLV} \\ P_{V_R} = \text{è la probabilità di superamento dello SLV} \end{array}$$

$$LBC \text{ Eq 2.4 } C_U = \text{Classe d'uso}$$

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV1



PARAMETRI DI INPUT								PARAMETRI CALCOLATI										
Livello	N.	Spessore	Base	Baricentro Z	Altezz a	Y_i	N_{di}	A_{xi}	A_i	I	K_{ix}	ΣK_{ix}	$K_{ix} * Y_i$	$\Sigma K_{ix} * Y_i$	ΣA_{xi}^2	N_{mxi}	$\sigma_{0i,kj}$	$\sigma_{0i,k}$
[-]	[-]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[kN]	[m ²]	[m ²]	[m ⁴]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[m ⁴]	[-]	[N/cm ²]	[N/cm ²]
-2	56	210	1530	190	380	73.04	11517	32.12	32.12	626.16	2.49E+06	2.49E+06	1.82E+08	1.82E+08	1.03E+03	1	35.86	35.86
-1	61	165	2745	576	391	72.75	17838	45.29	263.51	2844.00	3.45E+06	1.83E+07	2.51E+08	1.34E+09	11835	7	39.38	42.60
	62	165	3472	576	391	72.83	16198	57.29		5755.45	4.38E+06		3.19E+08				28.27	
	63	165	310	576	391	72.96	4078	5.11		4.08	2.72E+05		1.98E+07				79.79	
	64	165	1999	576	391	73	12664	32.98		1097.86	2.50E+06		1.83E+08				38.40	
	57	250	2254	615	470	72.89	17947	56.34		2384.77	3.55E+06		2.59E+08				31.85	
	58	145	2371	615	470	72.93	13947	34.37		1609.56	2.17E+06		1.58E+08				40.58	
	59	210	1530	615	470	73.04	12812	32.12		626.16	2.00E+06		1.46E+08				39.89	

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV1

Metodologia Linee guida B.C. § LBC 5.3



Direzione X				Direzione Y			
	PT	P1	P2		PT	P1	P2
M _i [kN]	554501	329485	203775	M _i [kN]	554501	329485	203775
e* [-]	1.00	0.90	0.86	e* [-]	1.00	0.90	0.86
k _i [-]	1.00	0.83	0.50	k _i [-]	1.00	0.83	0.50
σ _{0i} [N/cm ²]	68.54	38.36	15.97	σ _{0i} [N/cm ²]	68.54	38.36	15.97
τ _{di} [N/cm ²]	12.01	9.20	6.35	τ _{di} [N/cm ²]	12.01	9.20	6.35
A _{xi} [m ²]	854.11	746.74	602.06	A _{yi} [m ²]	899.06	662.76	616.61
y _{ci} [m]	37.43	38.16	35.82	x _{ci} [m]	72.23	83.44	88.73
y _{gi} [m]	41.70	36.70	40.38	x _{gi} [m]	75.88	75.26	72.80
d _{yi} [m]	37.43	38.16	40.22	d _{xi} [m]	78.17	82.89	88.04
e _{yi} [m]	4.27	1.46	4.56	e _{xi} [m]	3.65	8.18	15.92
β _{xi} [-]	1.23	1.08	1.23	β _{yi} [-]	1.09	1.20	1.25
μ _{xi} [-]	0.80	0.80	0.80	μ _{yi} [-]	0.80	0.80	0.80
ξ _{xi} [-]	1	1	1	ξ _{yi} [-]	1	1	1
F _{SLV,xi} [kN]	66843	61281	49895	F _{SLV,yi} [kN]	79021	48894	50152
q [-]	2.5	2.5	2.5	q [-]	2.5	2.5	2.5
S _{e,SLV} [g]	0.154	0.157	0.133	S _{e,SLV} [g]	0.182	0.125	0.134
a _{SLV} [g]	0.076	0.078	0.066	a _{SLV} [g]	0.089	0.063	0.067
f _{a,SLV} [-]	0.40	0.40	0.35	f _{a,SLV} [-]	0.46	0.33	0.35
T _{R,SLV} [anni]	79	82	61	T _{R,SLV} [anni]	107	55	62
I _{s,SLV} [-]	0.11	0.12	0.09	I _{s,SLV} [-]	0.15	0.08	0.09

$$e^* = 0,75 + 0,25 N^{0,75}$$

DIREZIONE Y

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = 0,33$$

$$T_{R,SLV} = 55 \text{ anni}$$

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} = 0,08$$

Fattore di struttura	a _{SLV,min} [g]	f _{a,SLV} [-]	T _{R,SLV} [anni]	I _{s,SLV} [-]
q=2.25	0.058	0.30	47	0.07
q=2.50	0.063	0.33	55	0.08
q=2.80	0.070	0.36	67	0.09

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

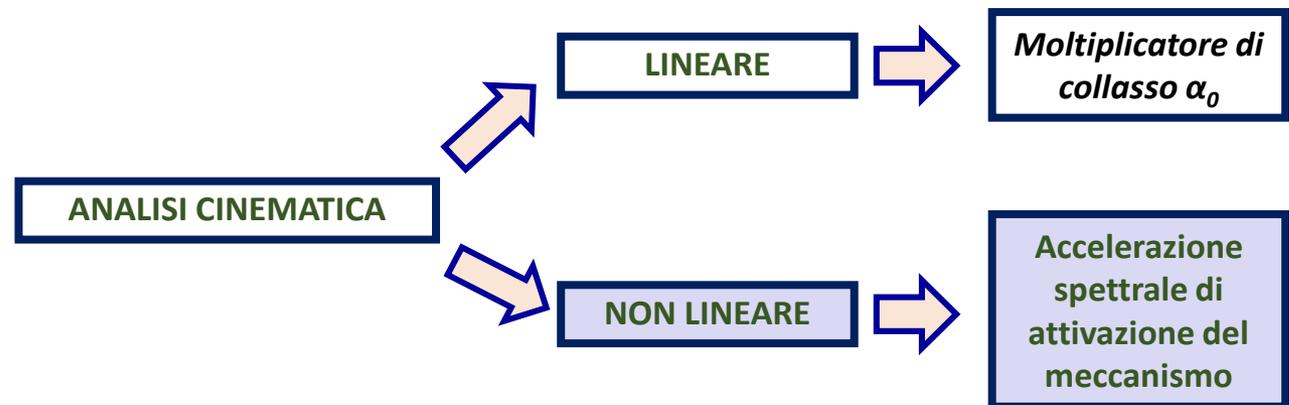
SOPRINTENDENZA POMPEII



Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV2

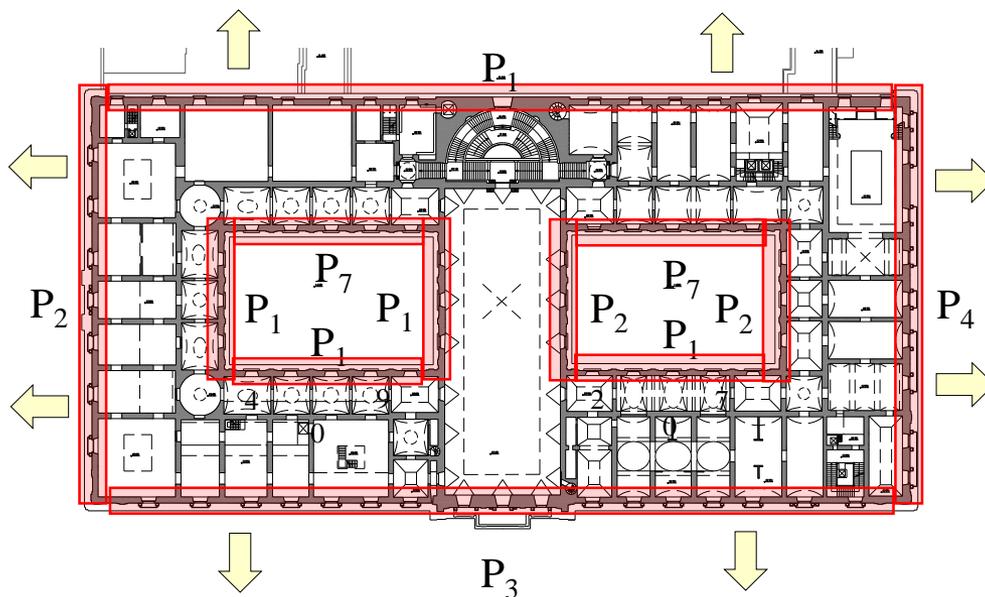
Questo livello di valutazione si applica nei casi in cui sono previsti interventi di restauro che interessano singole parti della costruzione.



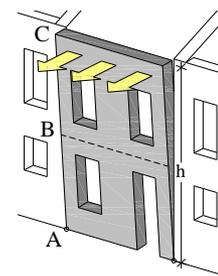
Nel caso di **interventi locali, che non modifichino in modo sostanziale il funzionamento originale accertato**, sarebbe particolarmente gravoso imporre un'accurata valutazione complessiva, estesa all'intera costruzione. In tali casi per la valutazione della sicurezza sismica complessiva del manufatto possono essere utilizzati gli strumenti del livello di valutazione **LV1**.

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

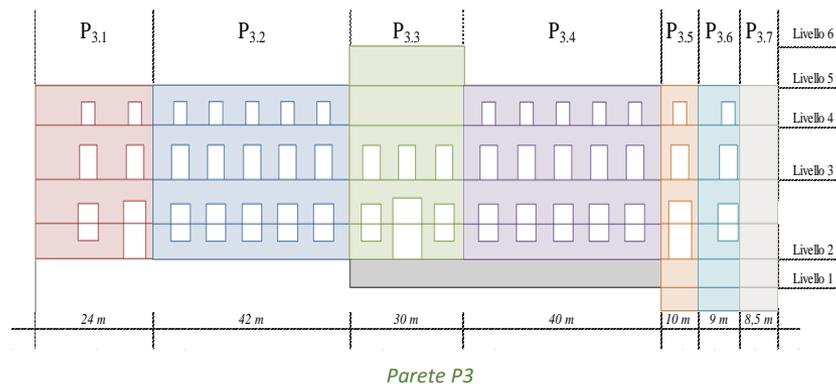
Livello LV2: Valutazione sicurezza meccanismi locali



Ribaltamento semplice



Per tenere conto dei diversi scarichi dei solai e dell'irregolarità in altezza dell'edificio, l'analisi delle pareti viene effettuata su diverse sue porzioni



ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI POTENZA

fondazione architetti e ingegneri liberi professionisti iscritti INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI

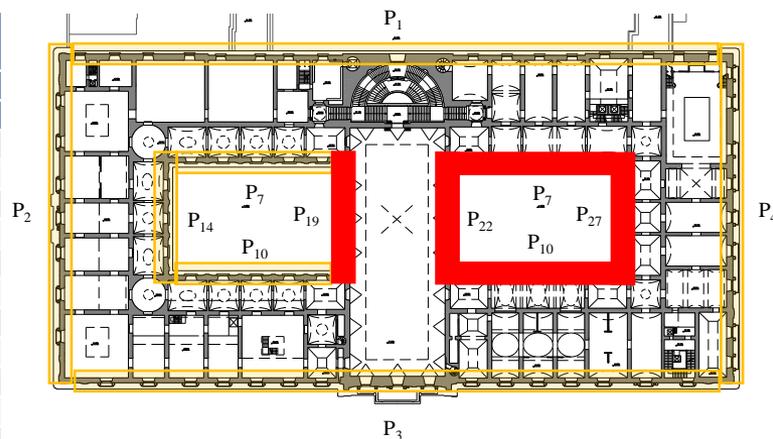


Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV2: Valutazione sicurezza meccanismi locali

Verifica semplificata con fattore di struttura q

PARETE	ANALISI CINEMATICA LINEARE		ANALISI CINEMATICA NON LINEARE				
	PORZIONE	α	a_0^*	$a_g S/q$	ESITO VERIFICA	%	I_s
			[m/s ² /g]	[m/s ² /g]			$a_0^*/(a_g S/q)$
P ₁	P _{1.1}	0,048	0,49	1,13	NON VERIF. DEL	57%	0,43
	P _{1.2}	0,095	0,95	1,13	NON VERIF. DEL	16%	0,84
	P _{1.3}	0,048	0,49	1,13	NON VERIF. DEL	57%	0,43
	P _{1.4}	0,057	0,58	1,13	NON VERIF. DEL	49%	0,51
	P _{1.5}	0,05	0,47	1,13	NON VERIF. DEL	58%	0,42
	P _{1.6}	0,062	0,59	1,13	NON VERIF. DEL	48%	0,52
P ₂	P _{2.1}	0,035	0,33	1,13	NON VERIF. DEL	71%	0,29
	P _{2.2}	0,056	0,53	1,13	NON VERIF. DEL	53%	0,47
P ₃	P _{3.1}	0,056	0,54	1,13	NON VERIF. DEL	52%	0,48
	P _{3.2}	0,042	0,4	1,13	NON VERIF. DEL	65%	0,35
	P _{3.3}	0,064	0,59	1,13	NON VERIF. DEL	48%	0,52
	P _{3.4}	0,042	0,39	1,13	NON VERIF. DEL	65%	0,35
	P _{3.5}	0,065	0,77	1,13	NON VERIF. DEL	32%	0,68
	P _{3.6}	0,043	0,41	1,13	NON VERIF. DEL	64%	0,36
	P _{3.7}	0,083	0,86	1,13	NON VERIF. DEL	24%	0,76
P ₄	Unica	0,076	0,8	1,13	NON VERIF. DEL	29%	0,71
P ₇	P _{7.1}	0,053	0,42	1,13	NON VERIF. DEL	63%	0,37
	P _{7.2}	0,037	0,33	1,13	NON VERIF. DEL	71%	0,29
P ₁₀	P _{10.1}	0,062	0,55	1,13	NON VERIF. DEL	51%	0,49
	P _{10.2}	0,035	0,31	1,13	NON VERIF. DEL	73%	0,27
P ₁₄	Unica	0,066	0,6	1,13	NON VERIF. DEL	47%	0,53
P ₁₉	Unica	0,025	0,23	1,13	NON VERIF. DEL	80%	0,20
P ₂₂	Unica	0,029	0,27	1,13	NON VERIF. DEL	76%	0,24
P ₂₇	Unica	0,035	0,26	1,13	NON VERIF. DEL	77%	0,23



$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

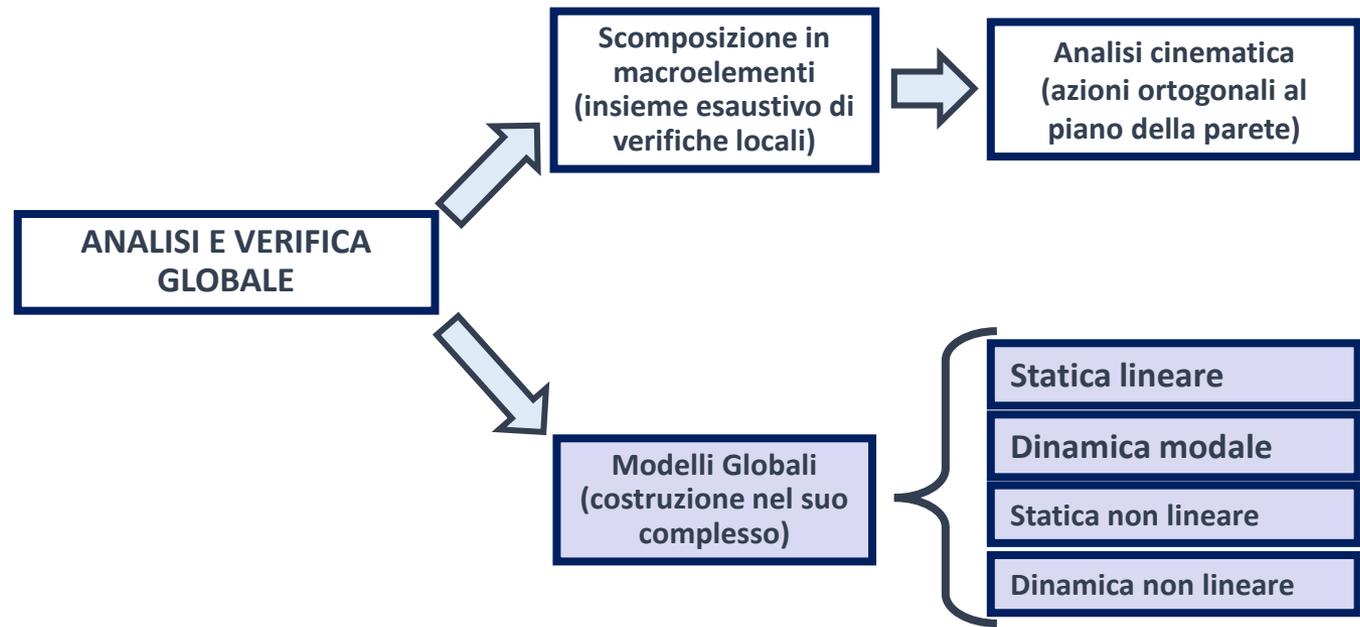
SOPRINTENDENZA
POMPEII



Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV3: Valutazione sicurezza analisi globale

Questo livello di valutazione considera la sicurezza sismica della costruzione nel suo **complesso**, ovvero l'accelerazione del suolo che porta allo stato limite ultimo la costruzione nel suo complesso o singole sue parti significative (**macroelementi**).



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
 per strutture di interesse storico e archeologico

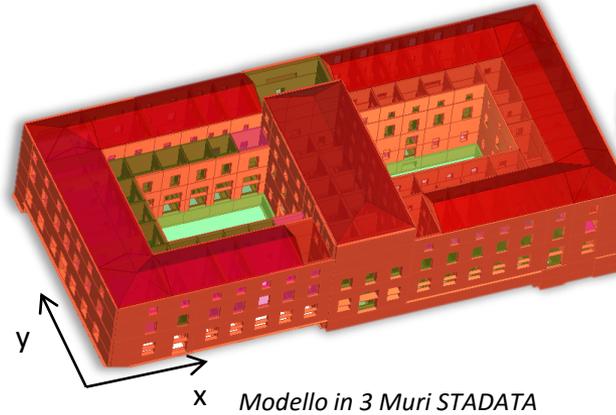
Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV3: Valutazione sicurezza analisi globale

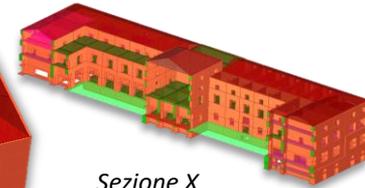
Museo Archeologico Nazionale



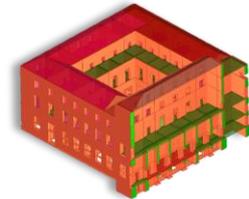
Vista dall'alto



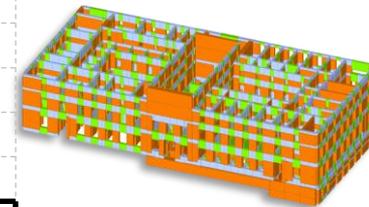
Modello in 3 Muri STADATA



Sezione X

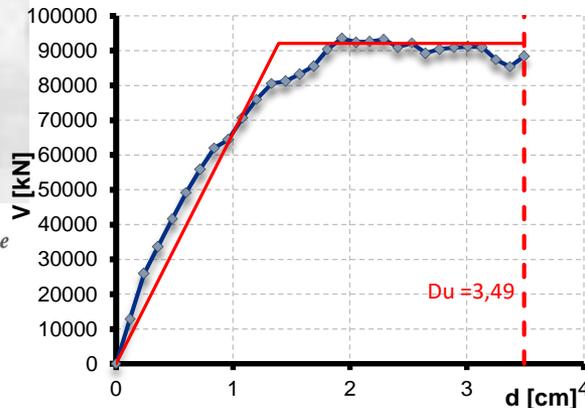


Sezione Y



Schematizzazione in Macro elementi

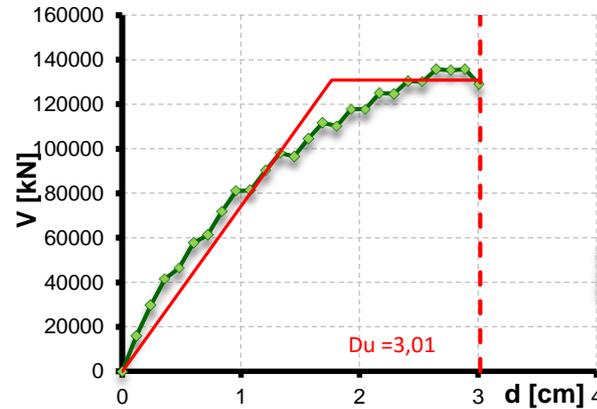
Combinazione N° 15 Modo -X



$$\alpha_{u x} = \frac{PGA_C}{PGA_D} = 0,71 = 71\%$$

$T_R = 299$ anni

Combinazione N° 21 Masse - Y



$$\alpha_{u y} = \frac{PGA_C}{PGA_D} = 0,69 = 69\%$$

$T_R = 281$ anni



POMPEII

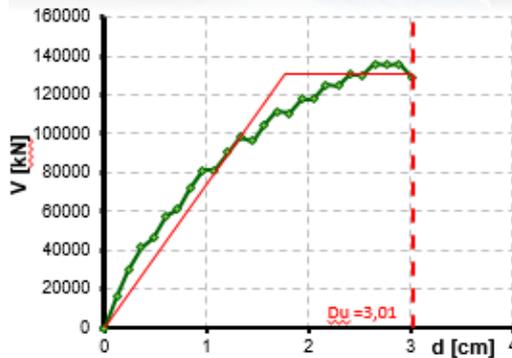
SOPRINTENDENZA POMPEII



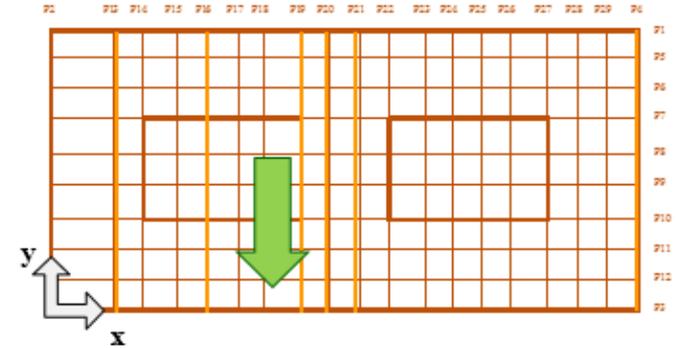
Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV3: Valutazione sicurezza analisi globale

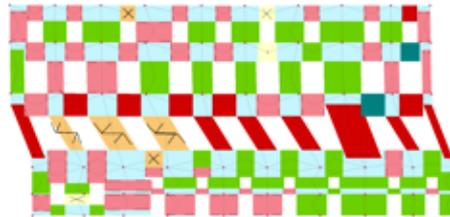
Museo Archeologico Nazionale



Combinazione N° 21 Masse -Y



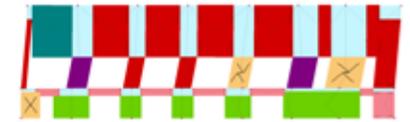
$$\alpha_{uy} = \frac{PGA_C}{PGA_D} = 0,69 = 69\%$$



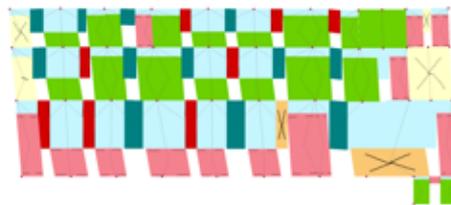
Parete 4 passo 27



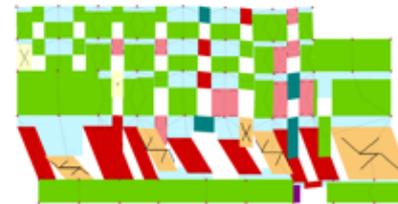
Parete 16 passo 27



Parete 20 passo 27



Parete 13 passo 27



Parete 19 passo 27



Parete 21 passo 27

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV3: Valutazione sicurezza analisi globale

Museo Archeologico Nazionale

LIVELLO LV1

DIREZIONE Y

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} = 0,08$$

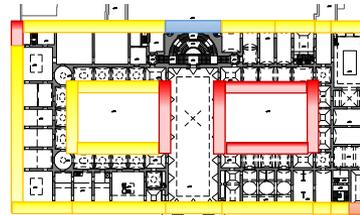
$$T_{R,SLV} = 55 \text{ anni}$$

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = 0,33$$

Fattore di struttura	$a_{SLV,min}$ [g]	$f_{a,SLV}$ [-]	$T_{R,SLV}$ [anni]	$I_{S,SLV}$ [-]
q=2.25	0,058	0,30	44	0,07
q=2.50	0,063	0,33	52	0,08
q=2.80	0,070	0,36	63	0,09

LIVELLO LV2

Verifica semplificata con fattore di struttura q



Legenda :

- $I_s < 0,30$
- $I_s < 0,70$
- $I_s > 0,70$

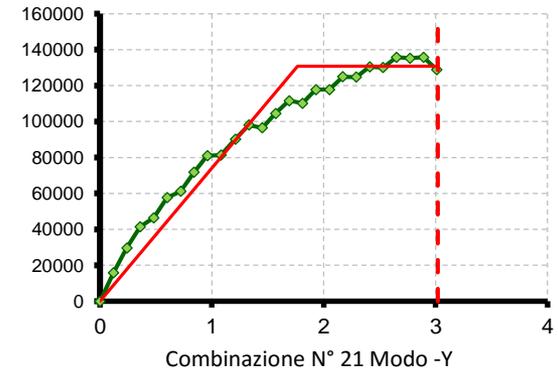
$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

$$I_{S,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = \frac{a_0^*}{\left(\frac{a_g \cdot S}{q}\right)}$$

$$I_{S,min} = 0,20$$

LIVELLO LV3

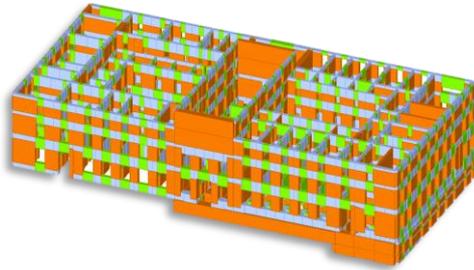
DIREZIONE Y



$$T_{R,SLV} = 281 \text{ anni}$$

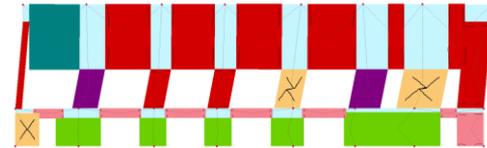
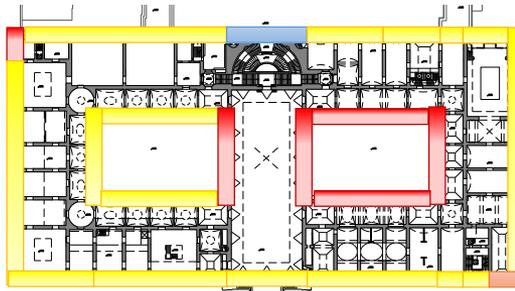
$$I_{S,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = 0,69$$

Fase 3: dalla Valutazione agli interventi

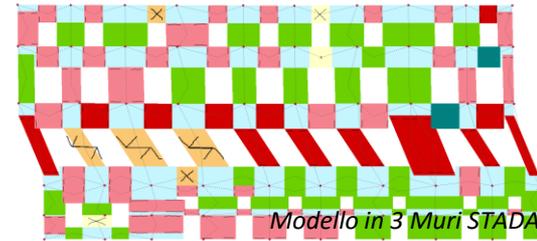


Schematizzazione in Macro elementi

Vista dall'alto



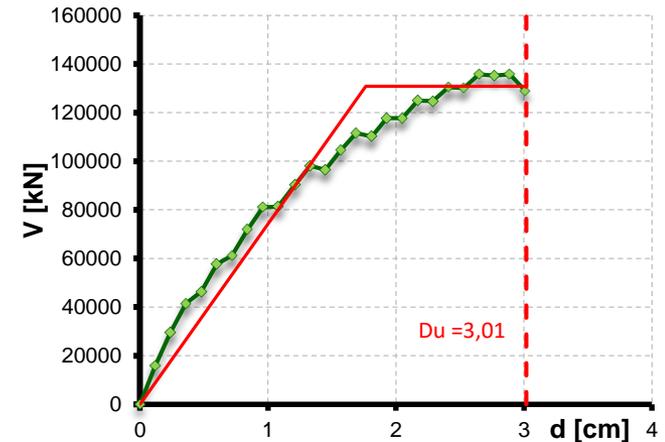
Parete 20 passo 27



Modello in 3 Muri STADATA

Parete 4 passo 27

Combinazione N° 21 Masse - Y



$$\alpha_{u,y} = \frac{PGA_C}{PGA_D} = 0,69 = 69\%$$

$$T_R = 281 \text{ anni}$$

Legenda :

$I_s < 0,30$

$I_s < 0,70$

$I_s > 0,70$

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

$$I_{S,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = \frac{a_0^*}{\left(\frac{a_g \cdot S}{q}\right)}$$

$$I_{S,min} = 0,20$$



SOPRINTENDENZA POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

Fase 3: dalla Valutazione agli interventi



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI





Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

STRUTTURE ARCHEOLOGICHE: IL CASO DI VILLA DI DIOMEDE A POMPEI



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI





«La resurrezione in 3D di una grande villa di Pompei»

Coordinatore

Prof.ssa Hélène Dessales - Ecole normale supérieure (AOROC, UMR 8546)

Partner

Centre Jean Bérard (Napoli, Ecole française de Rome - CNRS)

Inria (Institut national de recherche en informatique et automatique, centre de Paris-Rocquencourt)

IPGP (Institut de Physique du Globe de Paris (UMR 7154 CNRS))

Collaboratori

Labex TransferS

Institut des Sciences de la Terre, Grenoble. UMR 5275

Università degli studi di Napoli – Federico II

- Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (DiST) - prof. A. Prota

- Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, prof. V. Morra

- Dipartimento di Sociologia – prof. A.M. Zaccaria

- Dipartimento di Scienze Agrarie e di MUSA – prof. S. Mazzoleni

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale – prof. C. Modena

Dipartimento di Beni Culturali – prof. M.R. Valluzzi, prof. R. Deiana

Soprintendenza speciale per i beni archeologici di Pompei, Ercolano, Stabia



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

INQUADRAMENTO



- Villa di Diomede



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI





Conoscenza, valutazione sismica e intervento per strutture di interesse storico e archeologico

INQUADRAMENTO

MOTIVAZIONI - Perché Villa di Diomede?

La villa di Diomede è uno dei monumenti più celebri di Pompei



- ✓ è uno dei primi edifici scavati a Pompei (1748-1815) e per la sua posizione strategica a 200 m da porta di Ercolano è stata tappa privilegiata dal Gran Tour
- ✓ è uno dei più grandi cantieri privati del sito archeologico ;
- ✓ presenta un'eccezionale stato di conservazione
- ✓ Laboratorio privilegiato per indagare il comportamento strutturale e approfondire le tecniche utilizzate dai costruttori antichi per far fronte al rischio sismico



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI



METODOLOGIA D'ANALISI

VALUTAZIONE DELLA CAPACITA'
RESIDUA DELLA COSTRUZIONE



INCERTEZZE nella definizione di

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1) Caratteristiche meccaniche | 4) Assetto geometrico |
| 2) Carichi | 5) Caratteristiche tecnologiche |
| 3) Comportamento strutturale | 6) Efficienza in relazione al livello di degrado |



**PERCORSO DELLA
CONOSCENZA**

Procedure per la riduzione delle
incertezze



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

METODOLOGIA D'ANALISI

1 IDENTIFICAZIONE DELLA COSTRUZIONE

2 CARATTERIZZAZIONE FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO E DEI SUOI SPAZI

3 RILIEVO GEOMETRICO E DEL DANNO

4 ANALISI STORICA DEGLI EVENTI E INTERVENTI
SUBITI

5 RILIEVO MATERICO COSTRUTTIVO E LO STATO
DI CONSERVAZIONE

6 CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICA E
MECCANICA DEI MATERIALI

7 ASPETTI GEOTECNICI

FASE 1 : RILIEVO E CONOSCENZA



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA



Archeologo
esperto tecnologie costruttive



Ingegnere



Geofisico

**PERCORSO
DELLA
CONOSCENZA**



Archeologo
esperto pavimentazioni



Archeologo
esperto pitture



Geologo



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



- **Analisi storico-critica**

E' importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

- **Rilievo**

Il rilievo **geometrico-strutturale** dovrà essere riferito alla geometria complessiva dell'organismo.
Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione.



SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

La **conoscenza materico-costruttiva** si basa sull'analisi di

1. **Materiali**

2. **Tipologia costruttiva**

La **conoscenza materico-costruttive** ha consentito di mettere in relazione le fasi storiche con i materiali impiegati, quando attribuibili con certezza documentaria



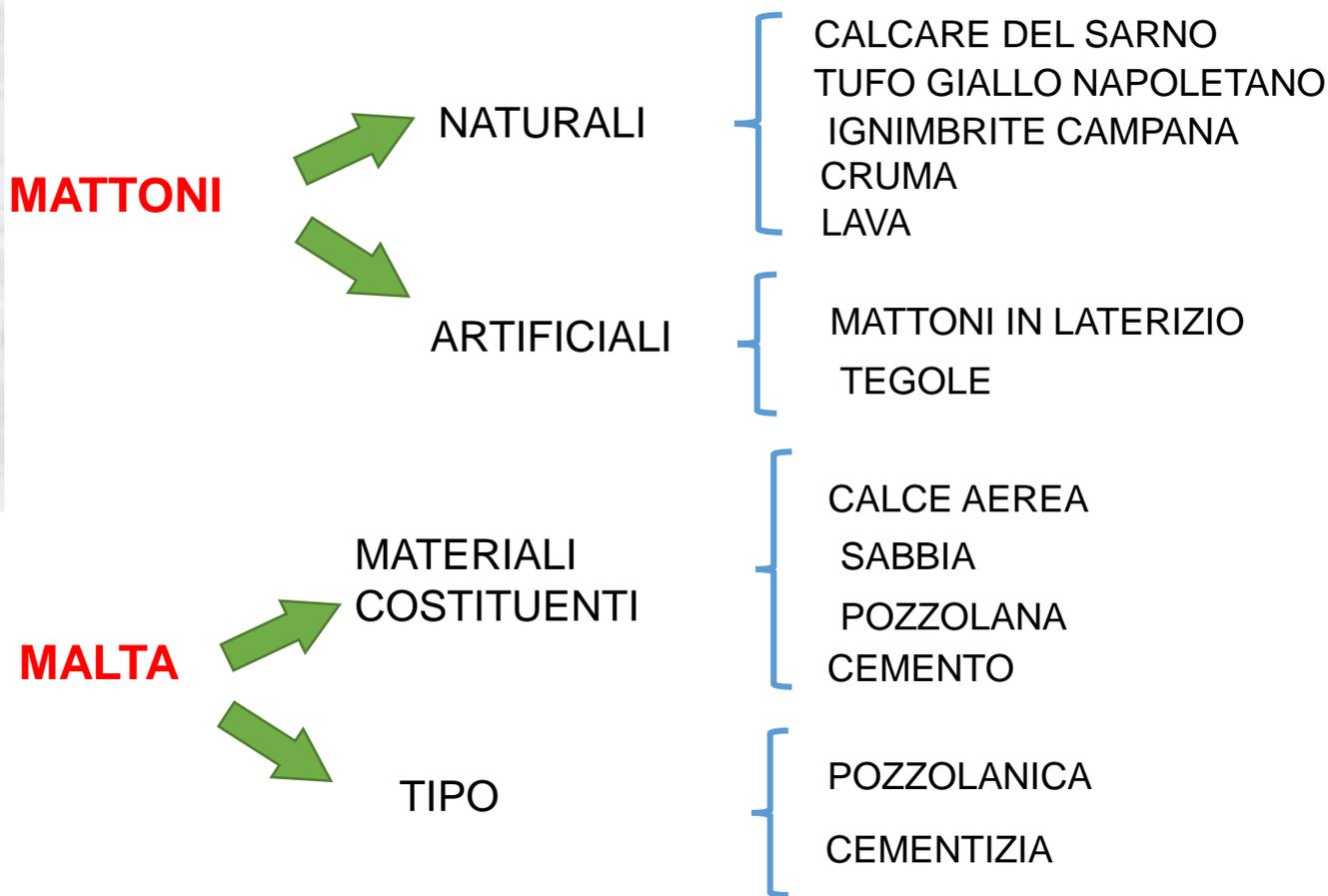
SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Materiali

In villa di Diomede l'analisi dei materiali costruttivi ha evidenziato la presenza di:



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI

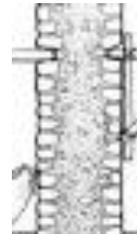


FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

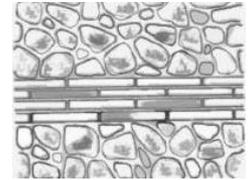
Tipologia Costruttiva

Opus caementitium



**

Opus mixtum

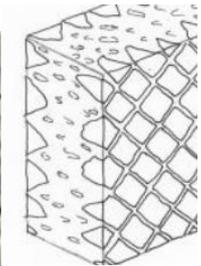


Opus incertum



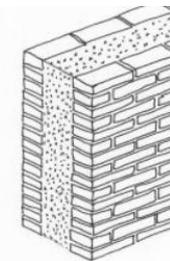
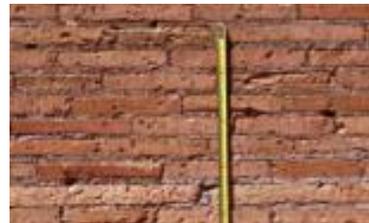
*

Opus Reticulatum



*

Opus testaceum



*

Opus Quadratum



*

Tratto da

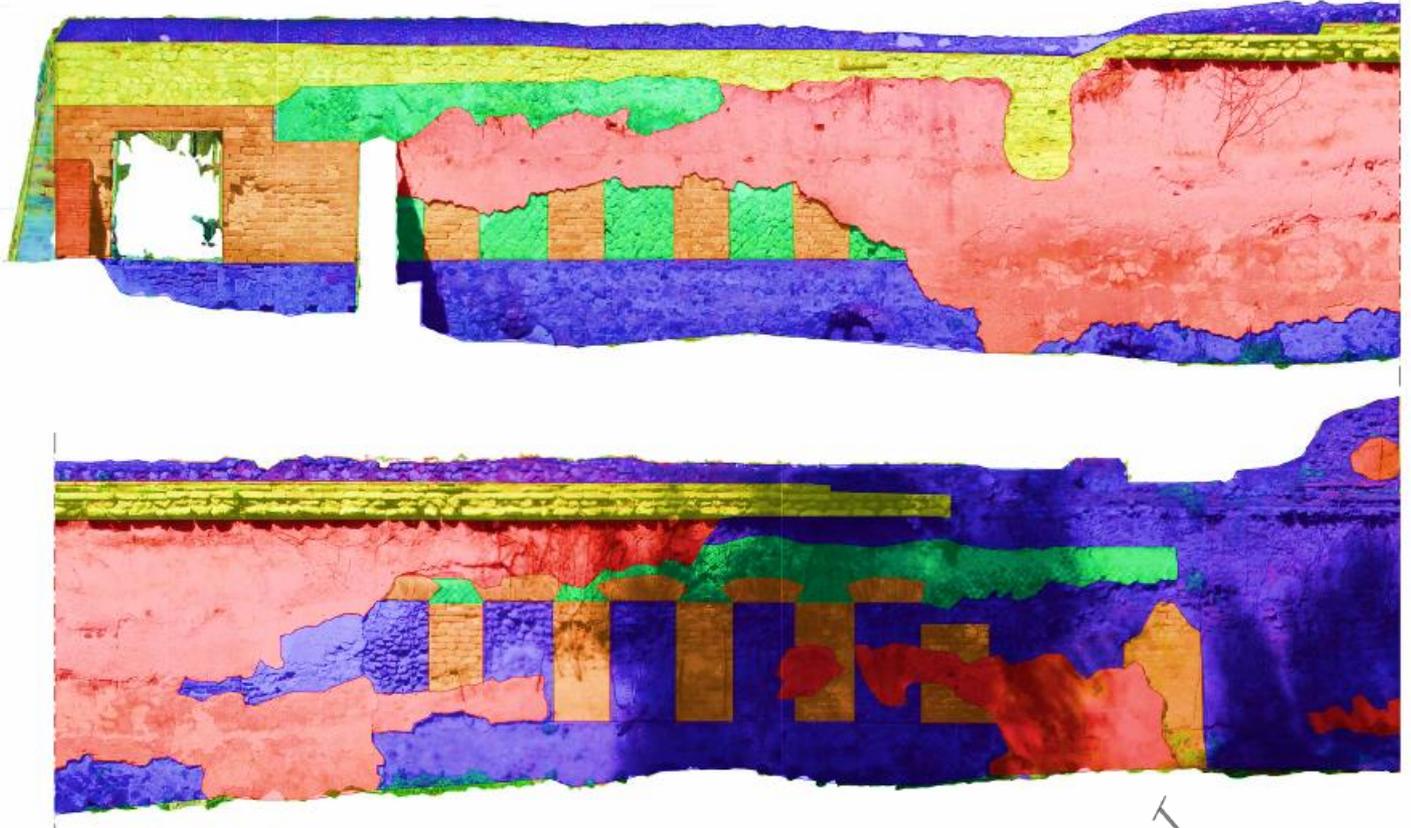
* www.santagnese.org

** www.architetturaromana.blogspot.com

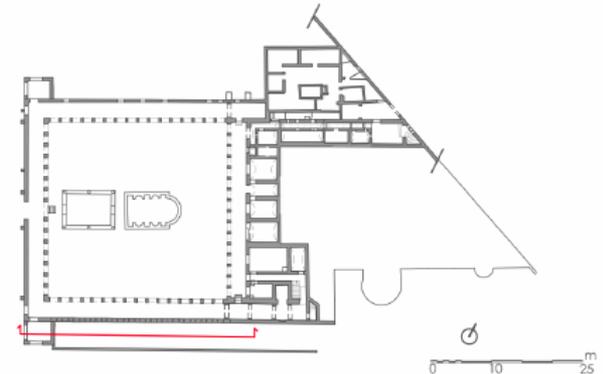
Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Tipologia Costruttiva



	SUPERFICIE COPERTA		OPUS LATERICIUM E OPUS MIXTUM
	OPUS QUADRATUM		OPUS RETICULATUM
	PIETRE SBOZZATE		OPUS INCERTUM GIUNTI DI MALTA DI ELEVATO SPESSORE
	OPUS INCERTUM ELEMENTI RESISTENTI DI PICCOLE DIMENSIONI		OPUS INCERTUM ELEMENTI RESISTENTI DI GRANDI DIMENSIONI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiche-costruttive e del degrado dei materiali, ci si è basati :

- ✓ *su documentazione già disponibile*
- ✓ *su verifiche visive in situ*
- ✓ *su indagini sperimentali.*

Le indagini sono state motivate, per **tipo e quantità**, dal loro effettivo uso nelle verifiche. I valori delle **resistenze dei materiali sono** valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e **prescindono** dalle classi previste nelle norme per **le nuove costruzioni**.



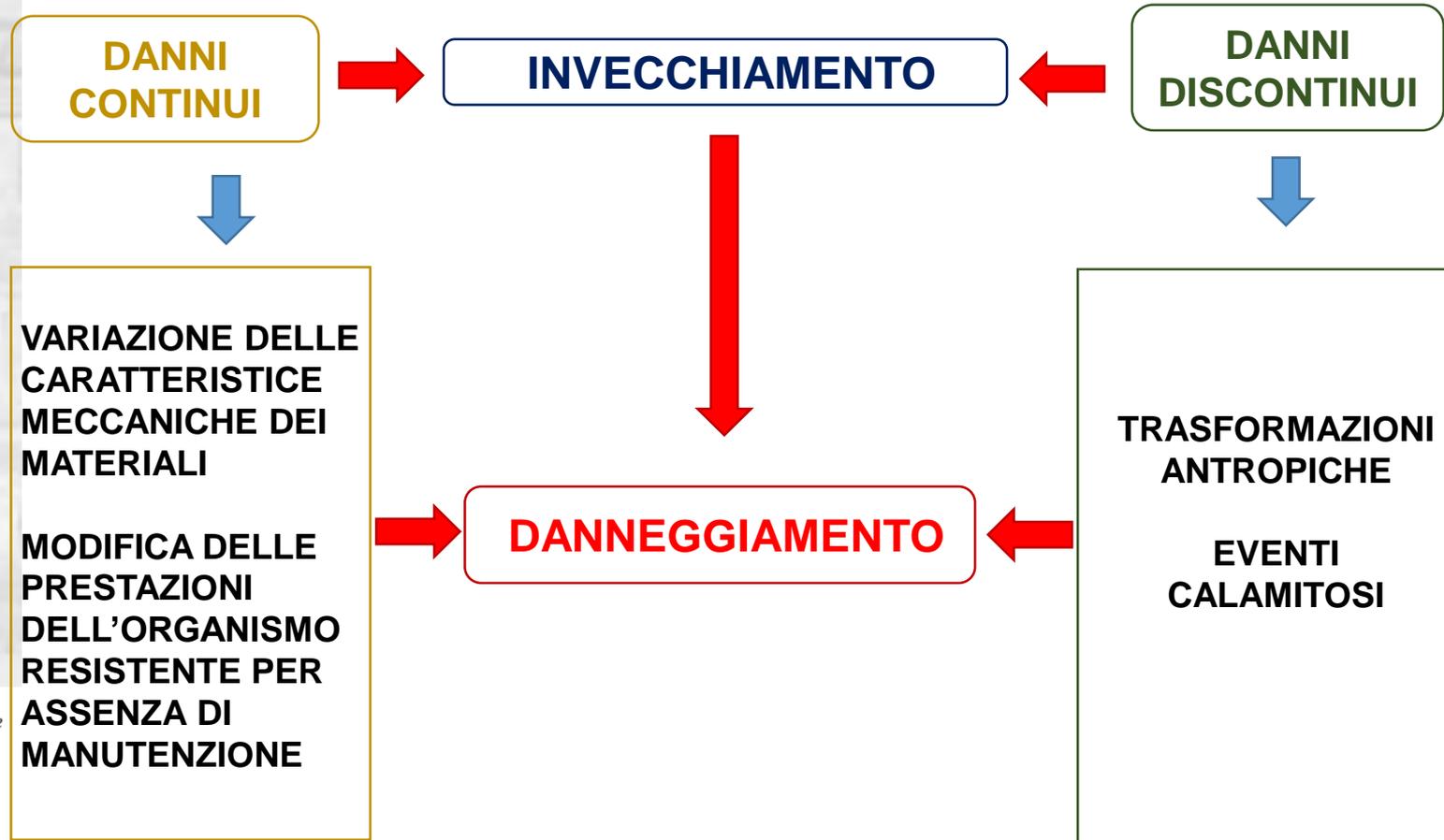
SOPRINTENDENZA POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

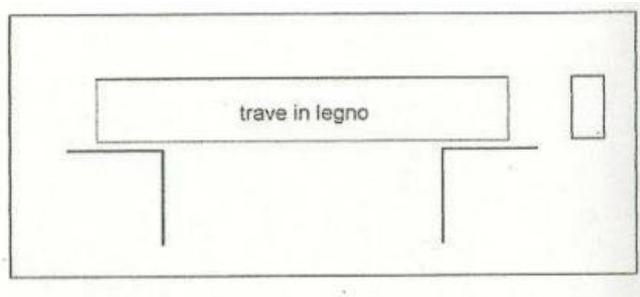
Verifiche visive in situ

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



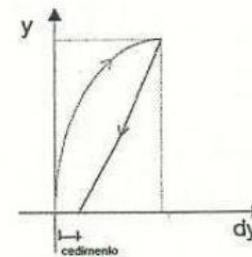
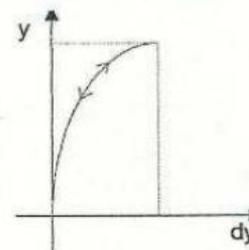
DANNO CONTINUI: INVECCHIAMENTO DEI MATERIALI

1. MODIFICHE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI



Concetto di cedimento

La freccia che compare immediatamente dopo l'applicazione del carico é funzione esclusivamente dell'elasticità del legno \Rightarrow nello scarico viene completamente recuperata



Con il proseguire dell'azione di carico la deformazione aumenta per il sommarsi di una quota anelastica - viscosa parzialmente irreversibile. La quota di deformazione irreversibile viene definita "cedimento"

f_0 = freccia elastica iniziale

f_t = freccia totale

f_c = *cedimento*

$$f_c = f_t - f_0 \Rightarrow \text{Cedimento relativo } \frac{f_c}{f_0} = \frac{(f_t - f_0)}{f_0}$$

**LA TRAVE PUO' DEFORMARSI
ANCHE SOLO PER PESO
PROPRIO PER FLUAGE DEL
LEGNO**

Tratto da
G. Giordano, *Tecnica delle costruzioni in legno* ed. Hoepli
Milano 1993, pag.236



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



DANNO CONTINUI: INVECCHIAMENTO DEI MATERIALI

1. MODIFICHE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI



Lesioni verticali da schiacciamento concentrate soprattutto nella parte di pietra di tufo che risulta essere più degradata e in pessimo stato di conservazione. Lo schiacciamento dei pilastri comporta spesso l'espulsione di materiale nella base del pilastro, con conseguente riduzione della sezione, soprattutto in corrispondenza degli spigoli, luogo in cui si concentrano le tensioni



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



DANNI CONTINUI: INVECCHIAMENTO DEI MATERIALI

2. MODIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'ORGANISMO RESISTENTE PER ASSENZA DI MANUTENZIONE



Il **degrado per erosione** dei giunti e alveolizzazione, scagliatura e polverizzazione del blocco inducono **riduzione della superficie resistente** e un **peggioramento della diffusione dei carichi**, con possibile innesco di **eccentricità dei carichi**. L'assenza, o carenza, di manutenzione accelera i fenomeni.

DANNI CONTINUI: INVECCHIAMENTO DEI MATERIALI

2. MODIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'ORGANISMO RESISTENTE PER ASSENZA DI MANUTENZIONE



Il **degrado** che colpisce parti di muratura esposte agli **agenti atmosferici**, consiste prevalentemente nella **soluzione della matrice del legante**, disgregando il masso murario



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

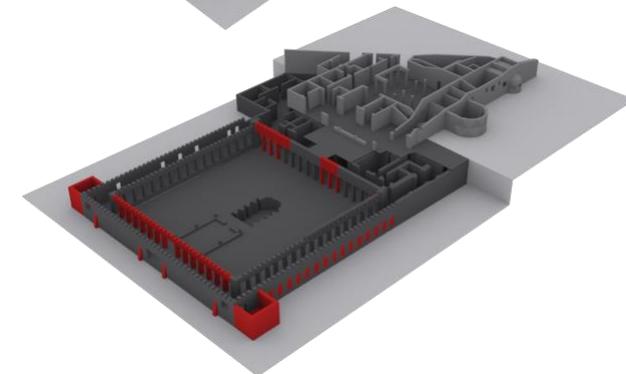
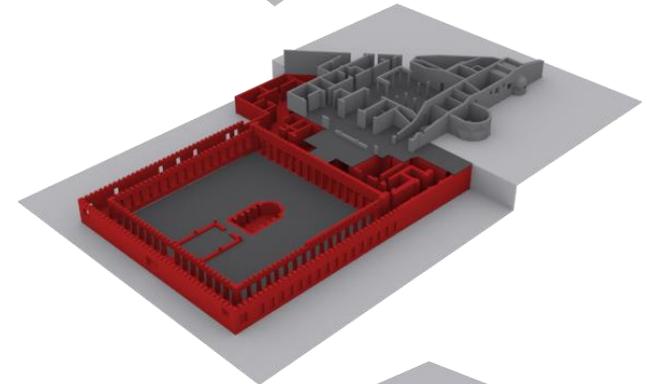
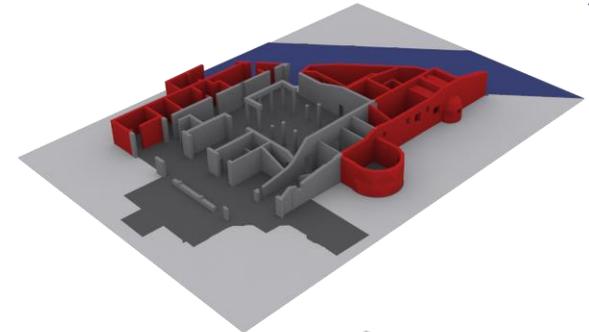
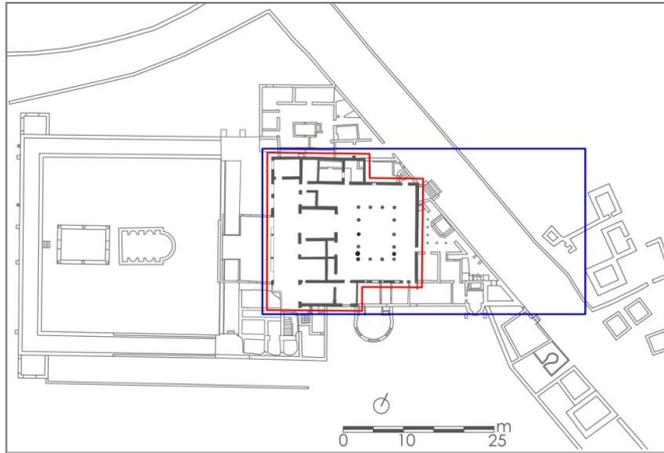
SOPRINTENDENZA
POMPEI



DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE

TRASFORMAZIONI PLANIMETRICHE



Trasformazioni del sistema costruttivo nel tempo. Sopraelevazioni, accorpamenti, modifiche delle aperture. Variazione dei carichi e modifica della consistenza dell'apparato murario

Tratto da

* Tesi di laurea ANALISI STRUTTURALI PER LA VERIFICA DI VULNERABILITÀ SISMICA DEL COMPLESSO DI VILLA DIOMEDE NEL SITO ARCHEOLOGICO DI POMPEI- Andrea Miniello

DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE

TRASFORMAZIONI PLANIMETRICHE

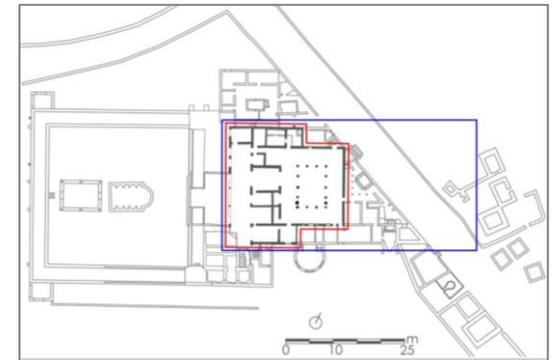
Primo impianto della Villa:

- Formata dal solo piano superiore

*analizzando le
tecniche costruttive
utilizzate*



*periodo di
realizzazione:
II o III secolo a.C.*



- Loggia a portico costituiva il limite occidentale
- Non si conosce il limite orientale

Seconda fase di cantiere:

- Porzione orientale della Villa

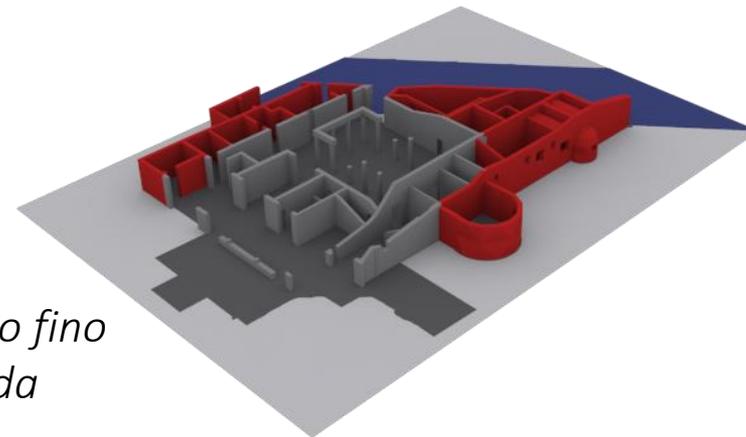
costruzione di Via delle Tombe



*spoglio della parte
anteriore*



*ampliamento fino
alla strada*



- Realizzazione del settore settentrionale

DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE

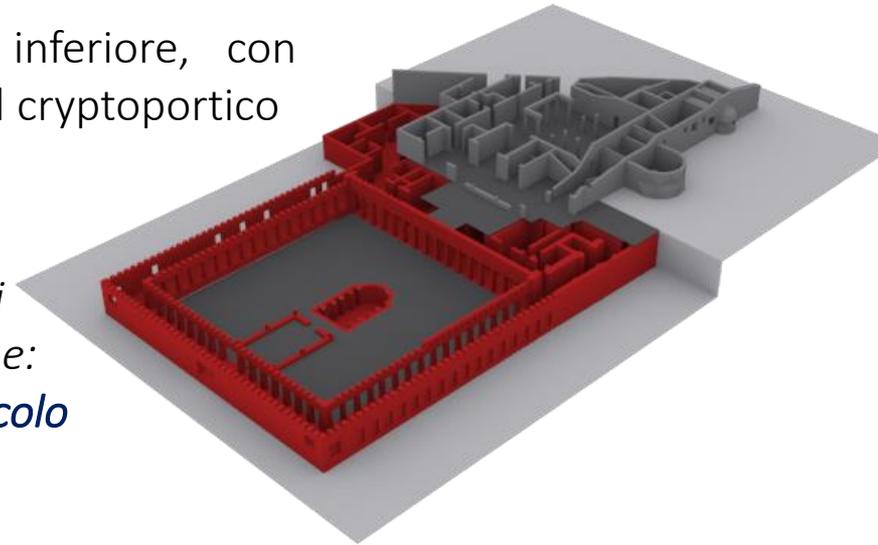
Terza fase di cantiere:

- Ampliamento ad un livello inferiore, con l'aggiunta del quadriportico e del cryptoportico

analizzando le
tecniche
costruttive
utilizzate



periodo di
realizzazione:
metà del I secolo
d.C.

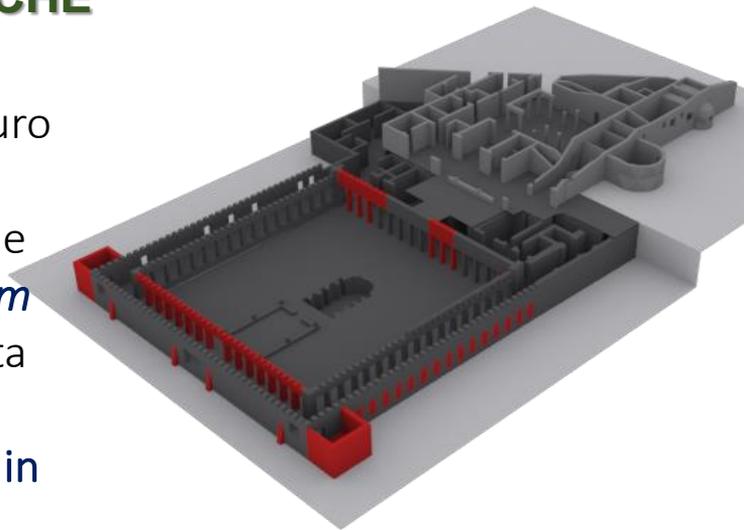


DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE

Interventi post sisma 62-63 d.C.:

- Tamponamento delle aperture del muro meridionale del portico
- Ricostruzione del portico occidentale e parte di quello orientale in *opus mixtum*
- **Contrafforti** che sostengono la facciata occidentale
- **Sarciture** e ricuciture locali di lesioni, in laterizio



DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE



Trasformazioni del sistema costruttivo nel tempo hanno comportato:

- Assenza di ammassamento nelle intersezioni murarie
- Discontinuità del materiale
- Variazione della sezione resistente della muratura

DANNI DISCONTINUI

1. TRASFORMAZIONI ANTROPICHE



L'utilizzo della **piattabanda metallica**, unito al fenomeno di **polverizzazione della malta**, ha favorito la formazione di profonde **lesioni nei piedritti** che hanno portato al **distacco di alcuni elementi resistenti della muratura**.

La mancanza di manutenzione, unita alle infiltrazioni di acque meteoriche ha favorito l'ossidazione dei ferri d'armatura con conseguente espulsione del copriferro compromettendo la funzione strutturale portante della piattabanda



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Verifiche visive in situ: rilievo del danno



	Lesioni
	Lesioni diffuse
	Lesioni passanti
	Scarso ammortamento
	Fuori piombo

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini sperimentali



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

Dipartimento di Strutture per
l'Ingegneria e l'Architettura (DiST)
Via Claudio 21 – 80125 Napoli –
www.dist.unina.it

Dipartimento di Scienze della Terra,
dell'Ambiente e delle Risorse
(DSTAR)
Largo San Marcellino, 10 - 80138
Napoli – www.distar.unina.it

Dipartimento di Ingegneria Civile,
Edile ed Ambientale
(DICEA), via Marzolo 9 – 35131
Padova - www.beniculturali.unipd.it

Dipartimento di Beni Culturali
(dBC), Piazza Capitaniano 7 -
35139 Padova - www.dBC.unipd.it

Gruppo di lavoro

Università di Napoli

DiST

Prof. Ing. Gaetano Manfredi
Prof. Ing. Andrea Prota
Dr. Ing. Marco Di Ludovico
Dr. Ing. Giuseppina De Martino

DSTAR

Prof. Piergiulio Cappelletti
Prof. Vincenzo Morra
Dr. Concetta Rispolo

Università di Padova

DICEA - dBC

Prof. Ing. Claudio Modena
Prof. Ing. Maria Rosa Valluzzi
Dr. Ing. Filippo Lorenzoni
Dr. Ing. Athanasios Pappas
Dr. Ing. Elvis Cescatti,
Dr. Ing. Luca Rosato
Ing. Anna Magon
Ing. Andrea Minello
Ing. Matteo Salvalaggio
Dott. Ing. Rita Deiana



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini sperimentali

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

➤ Prove non distruttive condotte dal 1 al 6 Giugno 2015

Prove soniche e tomografiche



Indagini Georadr



Endoscopie



Prove di caratterizzazione dinamica



➤ Prove semi-distruttive



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

 S	Soniche
 T	Tomografie
 ES	Endoscopie
 ID	Dinamiche

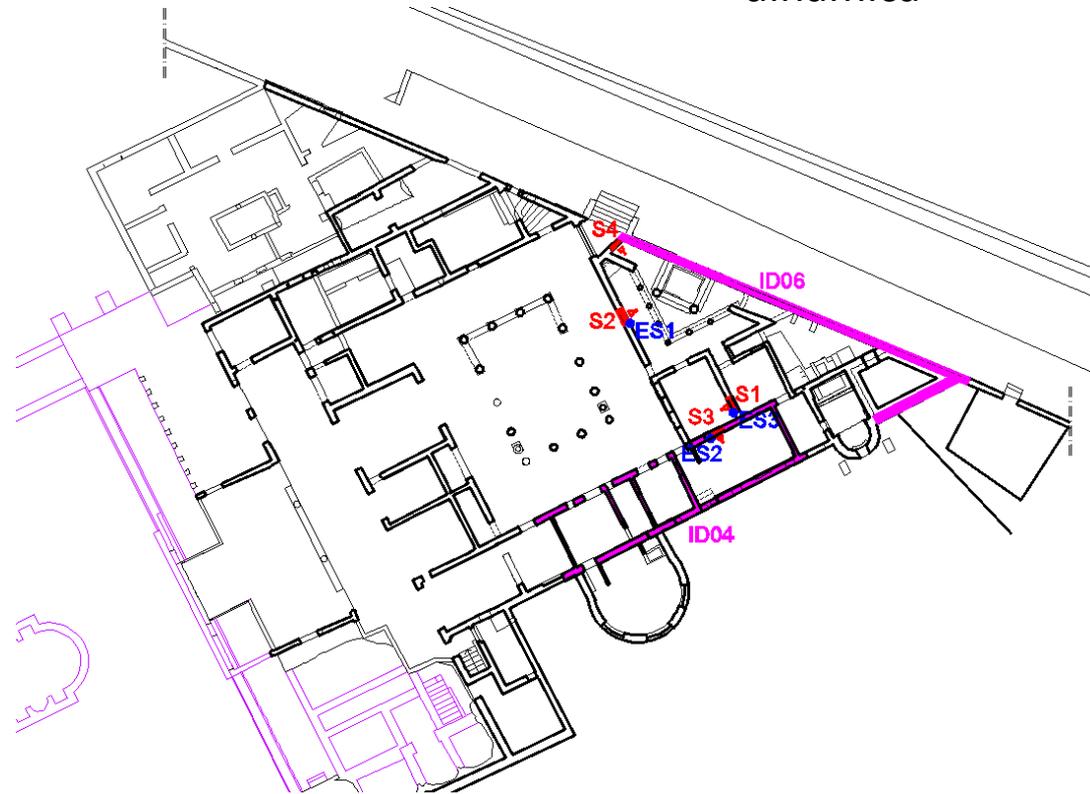
Piano di indagini

Piano terra

4 Prove soniche

3 Endoscopie

2 Prove di caratterizzazione
dinamica



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

	Soniche
	Tomografie
	Endoscopie
	Dinamiche

Piano di indagini

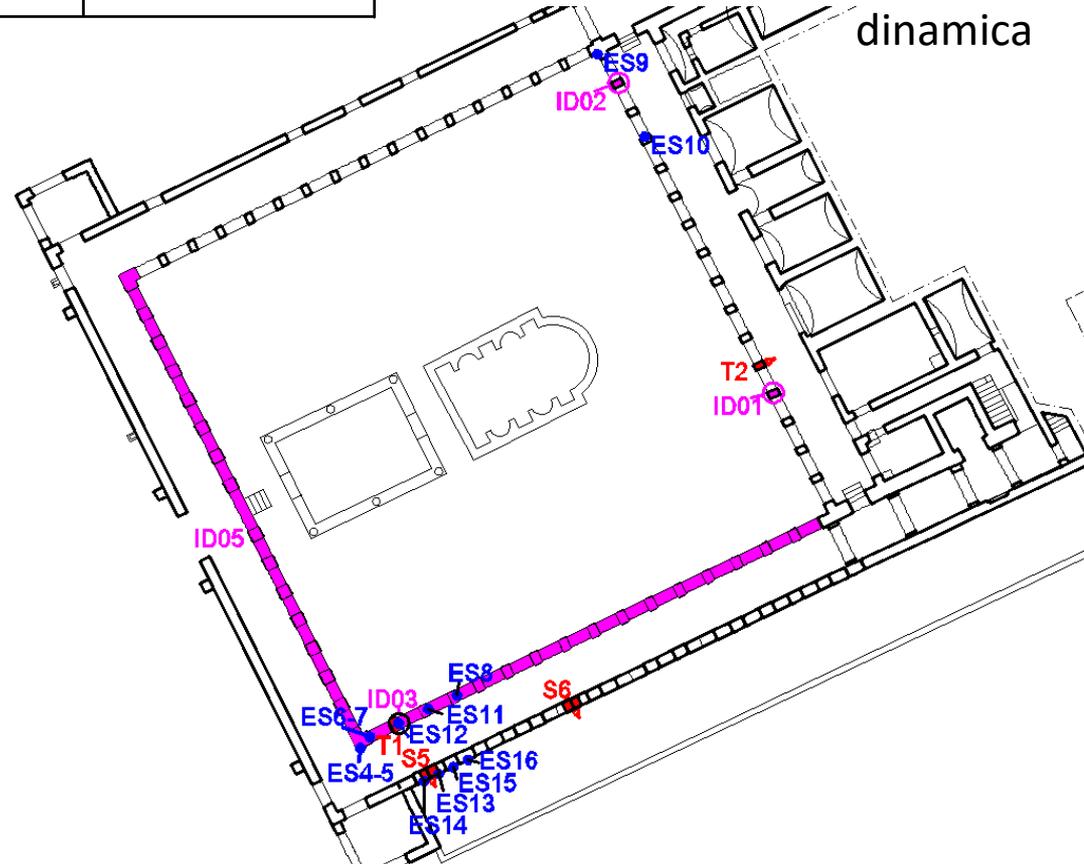
Piano porticato

2 Prove soniche

2 Tomografie

13 Endoscopie

4 Prove di caratterizzazione
dinamica



POMPEII

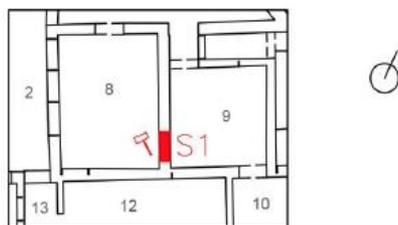
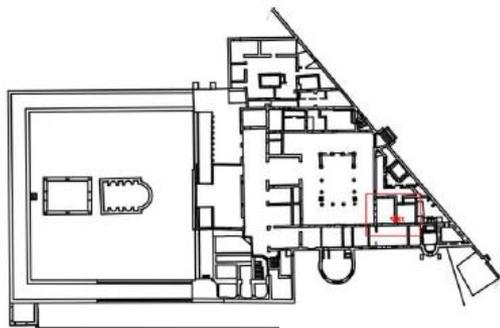
SOPRINTENDENZA
POMPEII



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

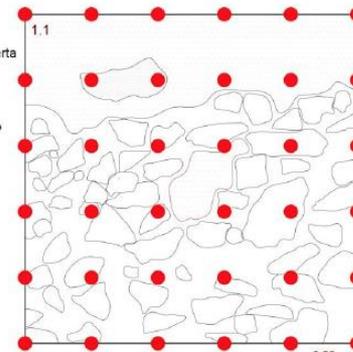
PIANO TERRA



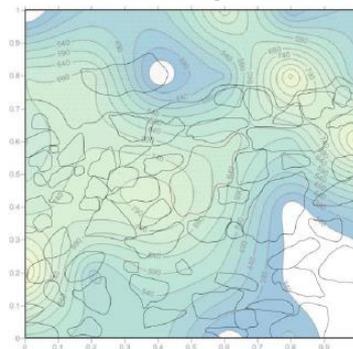
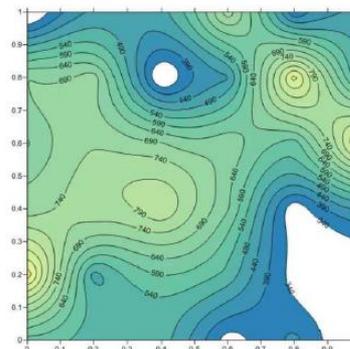
Griglia 1x1m con step 0.1m



LEGENDA
□ Porzione coperta
□ Cavità
● Accelerometro



Velocità media: 790 m/s



Prova Sonica S1

I valori medi registrati denotano una muratura scarsamente coesa con numerose cavità e molto degradata. I risultati possono essere stati influenzati negativamente dalla posizione della maglia vicino alla sommità superiore del paramento, solitamente meno coesa a causa di valori di compressione minori.

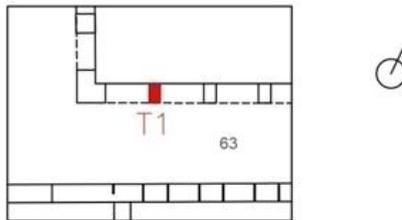
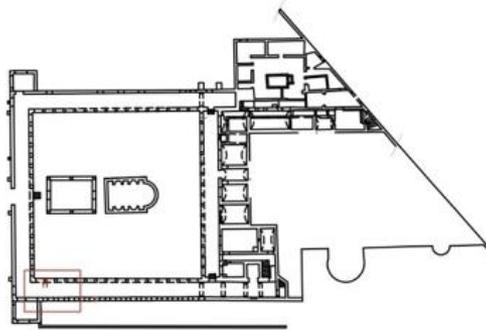
FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

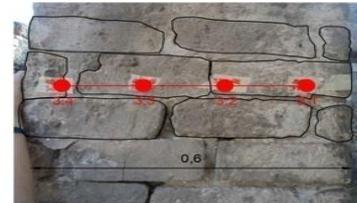
PIANO PORTICATO

La prova è stata eseguita a campione su uno dei pilastri del portico meridional
unico lato del quadriportico che è sopravvissuto sia al sisma del 62/63 d.C.

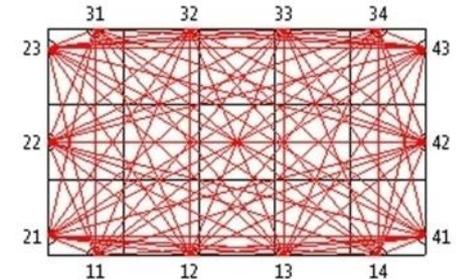
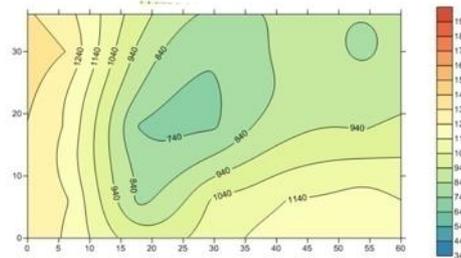
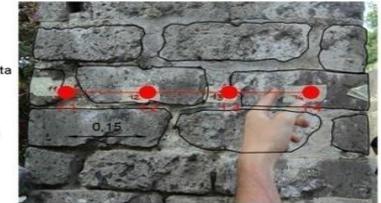
Griglia con step 0.15 m



Tomografia T1



LEGENDA
□ Porzione coperta
□ Cavità
● Accelerometro



I paramenti esterni sono costituiti da tufo grigio

La sezione ricavata dalla prova evidenzia la presenza di un nucleo più debole e incoerente (tra 740/840 m/s) rispetto alla superficie esterna in elementi di tufo grigio regolari (tra 1040-1240 m/s).

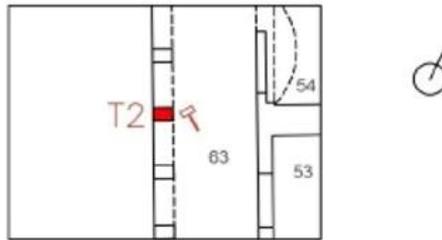
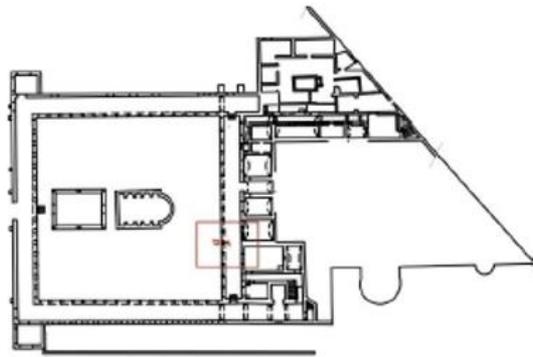
FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

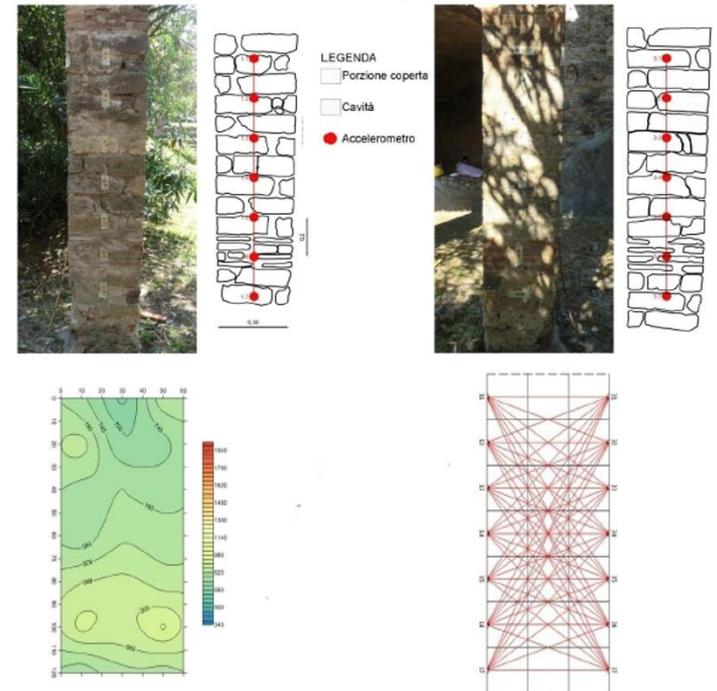
PIANO PORTICATO

La prova è stata effettuata per poter confrontare le informazioni sulle caratteristiche murarie dei pilastri originali ottenute con l'indagine tomografica T1 con quelle dei pilastri ricostruiti dopo l'evento sismico.

Griglia con step 0.15 m



Tomografia T2



I paramenti esterni sono costituiti da tufo grigio e giallo e ricorsi in tegole di laterizio

La sezione ricavata dalla prova evidenzia una migliore caratterizzazione meccanica della **porzione listata**, che raggiunge **900 m/s**, rispetto al **resto della struttura** che mediamente si attesta sui **700 m/s**.

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

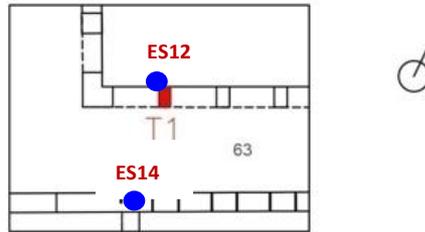
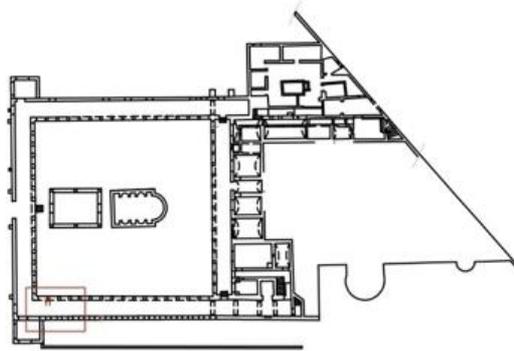
FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

ENDOSCOPIE

PIANO PORTICATO

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



ES12 – Colonna 15



ES14 – Muro Sud



Le endoscopie confermano i risultati preliminari ottenuti dalle prove soniche e dalle tomografie.

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

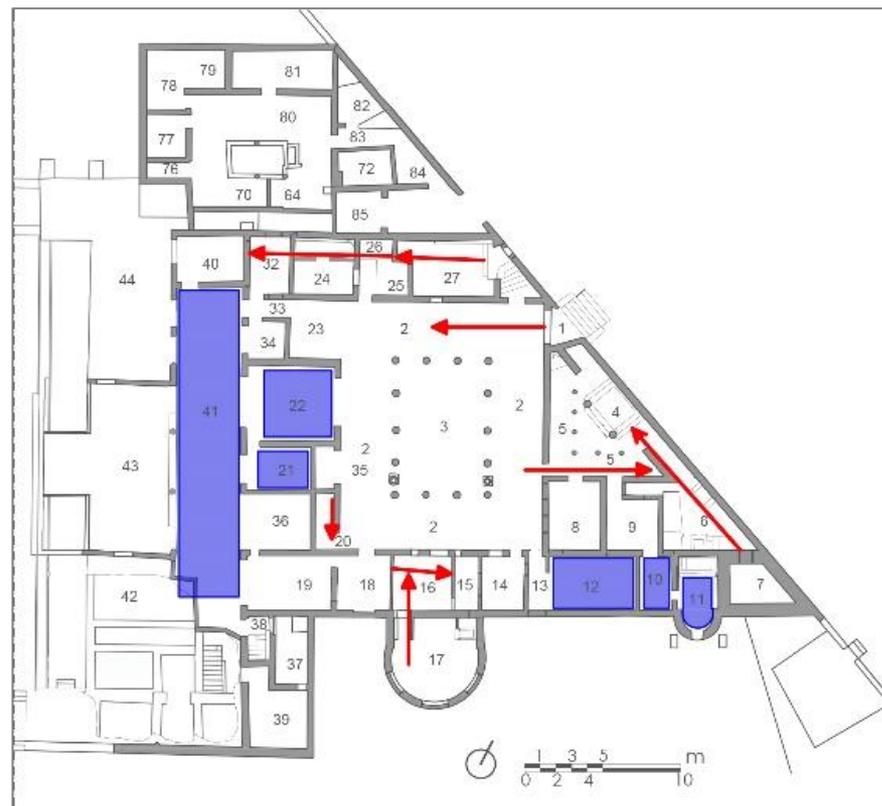
Indagini georadar

Obiettivo:

- Individuazione di eventuali strutture anteriori sotto il livello del suolo attuale

Prove eseguite:

- 6 ambienti mappati
- 8 profili singoli 2D

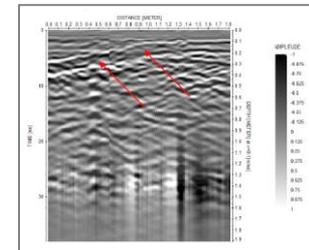
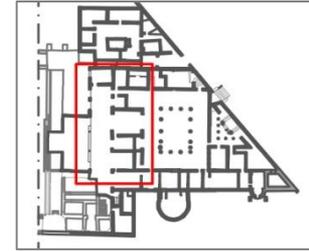


FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini georadar

Gli ambienti indagati risalgono al primo impianto della Villa, al di sotto dei quali sono stati rilevati resti di strutture, perfettamente allineate tra loro. Queste stanze sembrano essere collegate da un corridoio lungo il lato occidentale.

È stata rilevata la presenza una scala che consentiva l'accesso alle stanze sottostanti.

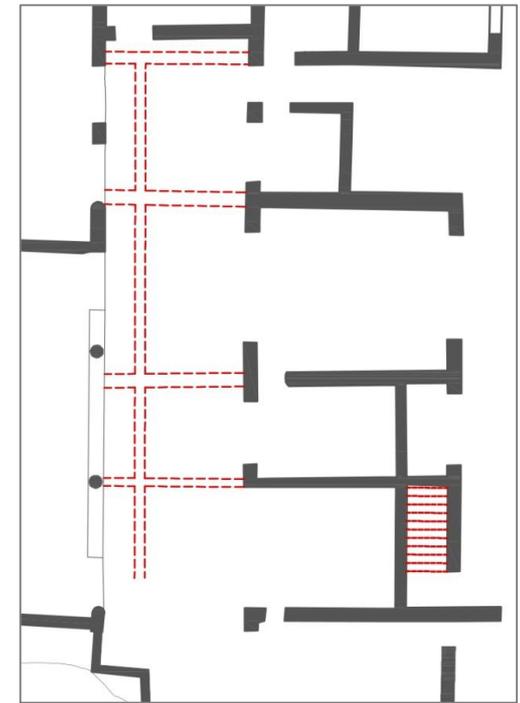


Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

Realizzazione quadriportico e ambienti sul giardino: metà del I secolo d.C.



sotterramento degli spazi sotto la loggia



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI



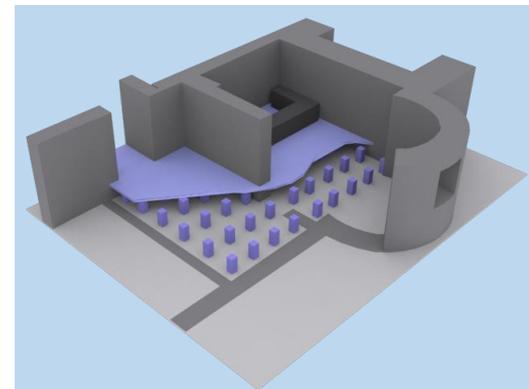
Tratto da:

Deiana R. (2015), *Campagna di indagini georadar presso Villa Diomede-Pompei*
Giugno 2015, 26/09/2015, Padova

FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini georadar

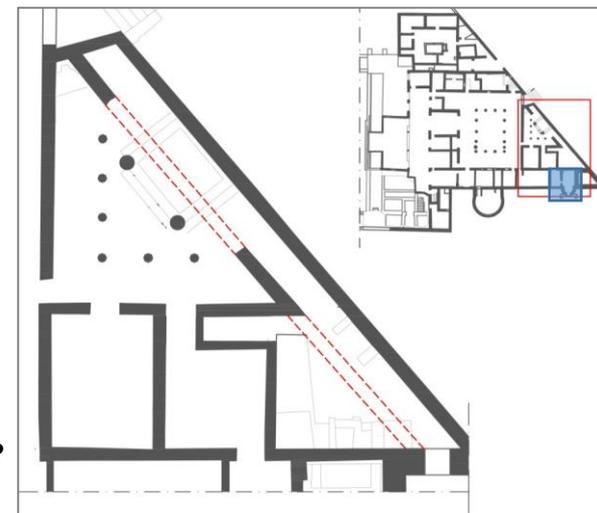
Per l'intera estensione degli ambienti, entro i primi 50 cm di profondità, risultano presenti le pile dell'impianto di riscaldamento del sistema termale.



le murature parallele alla facciata potrebbero essere parte di un'unica parete che può rappresentare:

primo stadio della facciata della villa dopo la creazione di via delle Tombe

corridoio per accedere alle stanze presenti

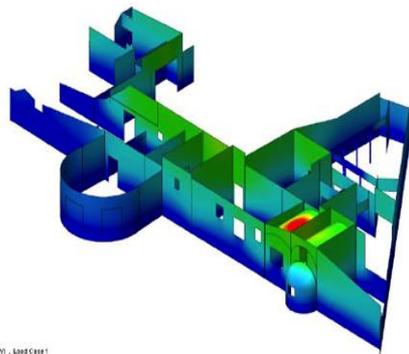


Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico

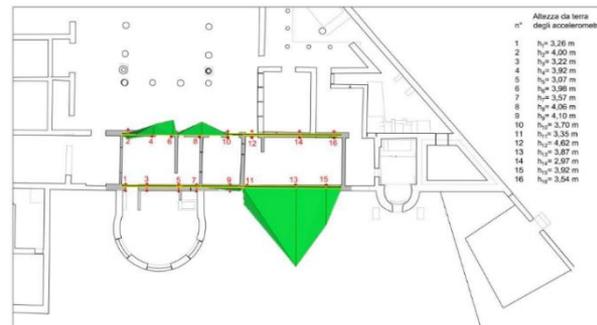
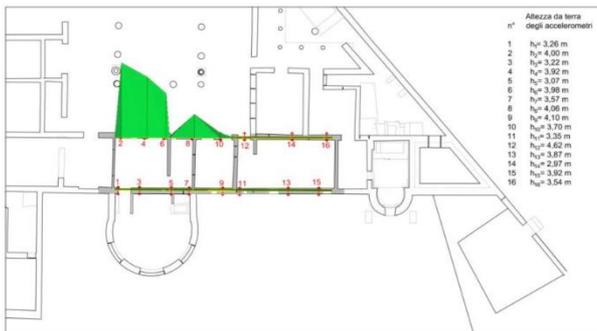
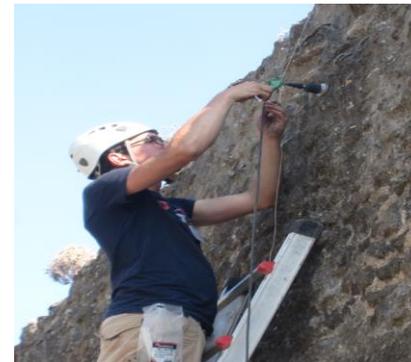
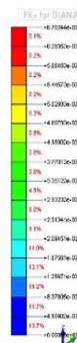
FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini non distruttive

PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DINAMICHE



UNITI M. H.
(GARE) Strutturale L'Espresso - DREZZO - Lind Case



I risultati mostrano che i setti esaminati al piano terra presentano uno scarso ammorsamento, in quanto confrontando i modi alle stesse frequenze, le due murature, nord e sud, nonostante la presenza dei setti trasversali, rispondo in maniera diversa.

Tratto da

* Tesi di laurea ANALISI STRUTTURALI PER LA VERIFICA DI VULNERABILITÀ SISMICA DEL COMPLESSO DI VILLA DIOMEDE NEL SITO ARCHEOLOGICO DI POMPEI- Andrea Miniello



SOPRINTENDENZA POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini semi-distruttive

La campagna indagine è in fase di approvazione da parte della
Soprintendenza



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

Dipartimento di Strutture per
l'Ingegneria e l'Architettura (DiST)
Via Claudio 21 – 80125 Napoli –
www.dist.unina.it

Dipartimento di Scienze della Terra,
dell'Ambiente e delle Risorse
(DSTAR)
Largo San Marcellino, 10 - 80138
Napoli – www.distar.unina.it

Dipartimento di Ingegneria Civile,
Edile ed Ambientale
(DICEA), via Marzolo 9 – 35131
Padova - www.dicea.unipd.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento di Beni Culturali
(dBC), Piazza Capitanato 7 - 35139
Padova - www.beniculturali.unipd.it

Gruppo di lavoro

DiST

Prof. Ing. Gaetano Manfredi
Prof. Ing. Andrea Prota
Dr. Ing. Marco Di Ludovico
Ing. Giuseppina De Martino

DSTAR

Prof. Piergiulio Cappelletti
Prof. Vincenzo Morra
Dr. Concetta Rispolo

DICEA

Prof. Ing. Claudio Modena

dBC

Prof. Ing. Maria Rosa Valluzzi



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Indagini semi-distruttive

Piano di indagini

Piano terra

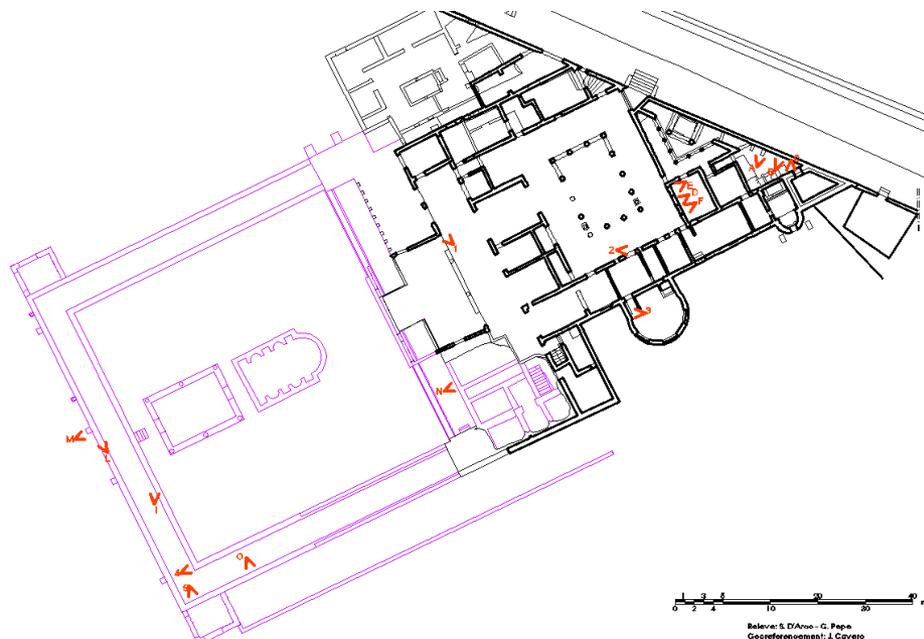
7 campioni di 2 cm di lato

2 campioni di 4 cm di lato

Piano porticato

6 campioni di 2mm di lato

2 campioni di 4 cm di lato



Caratterizzazione minero-petrografica

- Studio macroscopico del campione
- Analisi microscopica in sezione sottile
- Analisi modale
- Analisi XRD
- Analisi SEM-EDS

Caratterizzazione meccanica

- Prove a compressione uniassiale

Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Caratterizzazione Materiali

Fattore di confidenza Linee guida B. C.

Rilievo geometrico	Identificazione della specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
Rilievo geometrico completo $F_{c1}=0.05$	Restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{c2}=0.12$	Parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{c3}=0.12$	Limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{c4}=0.06$
Rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{c1}=0$	Restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione; b) esteso rilievo materico degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione $F_{c2}=0.06$	Limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{c3}=0.06$	Disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{c4}=0.03$
	Restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{c2}=0$	Estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{c3}=0$	Estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{c4}=0$

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck}$$

LINEE GUIDA EQ 4.1

$$F_C = 1 + (0.05 + 0.12 + 0.12 + 0.0)$$

$$F_C = 1.29$$



LC2

Tabella 4.1 - Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza

Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Caratterizzazione Materiali

Caratteristiche meccaniche dei materiali

LIVELLO DI CONOSCENZA LC2

- $FC = 1,29$ fattore di confidenza;
- $\gamma = 2$, coefficiente di sicurezza per edifici in muratura (§ 7.8.1.1 NTC-08 [2]).

Analisi lineari $\rightarrow f_d = \frac{f_m}{(FC \cdot \gamma)}$

Analisi non lineari $\rightarrow f_d = \frac{f_m}{FC}$

Tabella C8A.2.1

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbalzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietra a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12

Valori **medi** di Tabella C8A.2.1

TIPOLOGIA DI MURATURA	ANALISI	f_d (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	Lineare	54,26	1,008	870	290	19
	Non Lineare	108,53	2,01			



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII

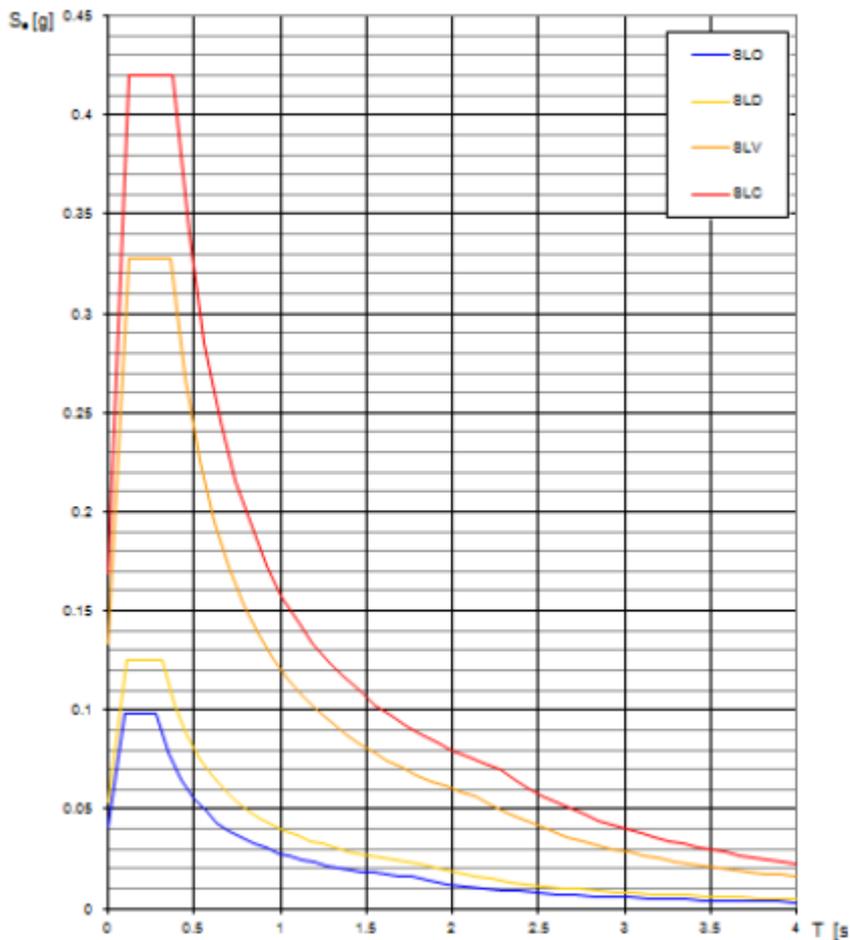


Fase 1: RILIEVO E CONOSCENZA

Azione Sismica

$V_N = 50$ anni

Classe d'uso (C_U) = **Classe I** in osservanza del §2.4.2 NTC08



	TR [anni]	a_g [g]	F° [-]	T^*C [s]
SLV	475	0,133	2,464	0,369

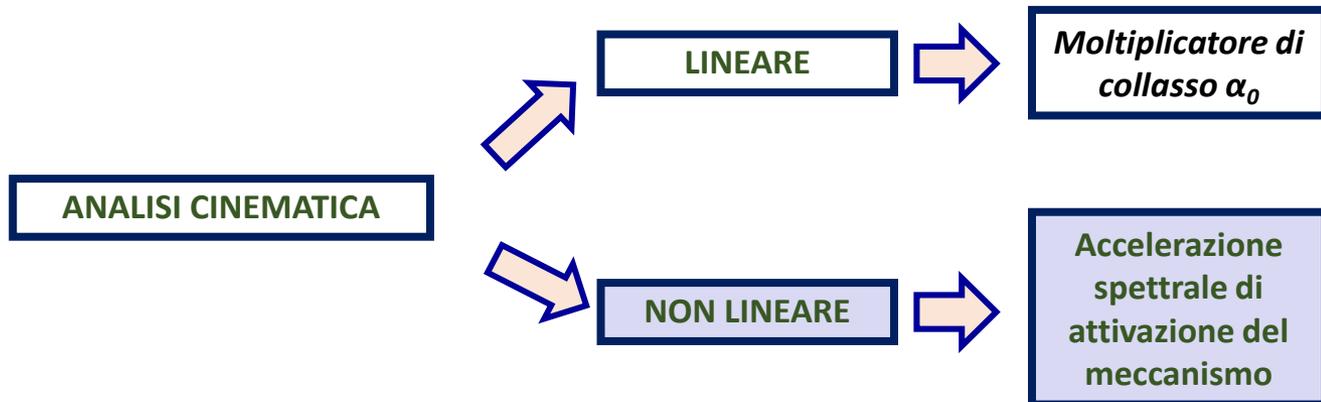
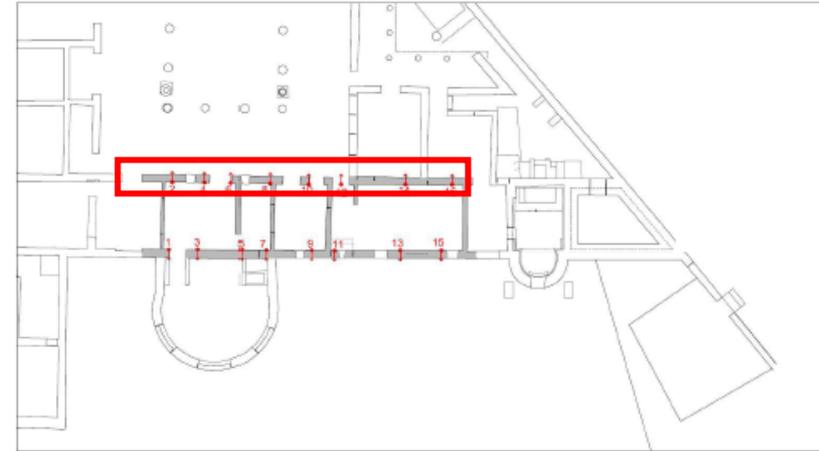
AZIONE SISMICA		
Classe nominale	$V_N =$	50
Classe d'uso	$C_U =$	1
Periodo di riferimento dell'azione sismica	$V_R =$	50
Probabilità di superamento	$P_{VR} =$	0,1
Periodo di ritorno dell'azione sismica	$T_R =$	475

Categoria di sottosuolo	B	
Coefficienti di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1,5
	$C_C =$	1,459
Categoria topografica	T1	
	$S_T =$	1

Fase 2: Valutazione della sicurezza sismica

Livello LV2

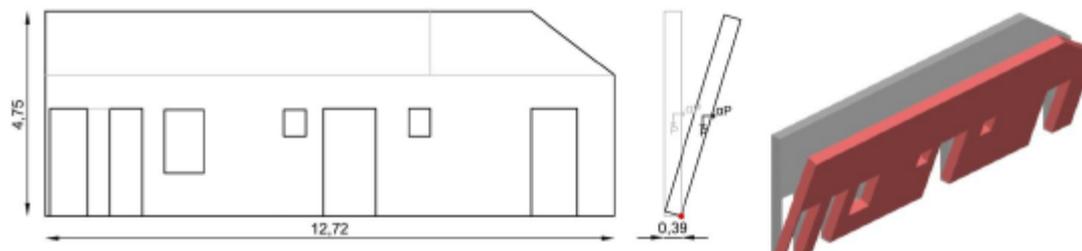
In base ai risultati della **prova dinamica** si è ritenuto opportuno eseguire l'analisi limite per la **porzione della muratura** che risulta **meno vincolata** (muro che separa il peristilio dalle stanze 14,15, 16 e 18), e quindi più vulnerabile alle azioni fuori piano.



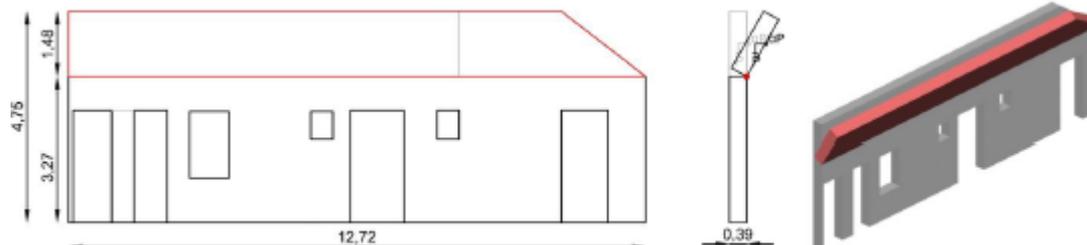
FASE 2: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per tenere conto **dell'irregolarità in altezza dell'edificio**, l'analisi delle pareti viene effettuata su **diverse sue porzioni**

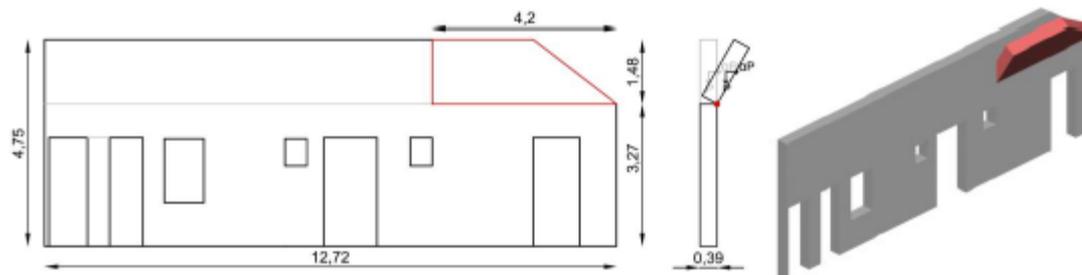
Ribaltamento globale della parete



Ribaltamento della fascia superior della parete



Ribaltamento della angolata occidentale



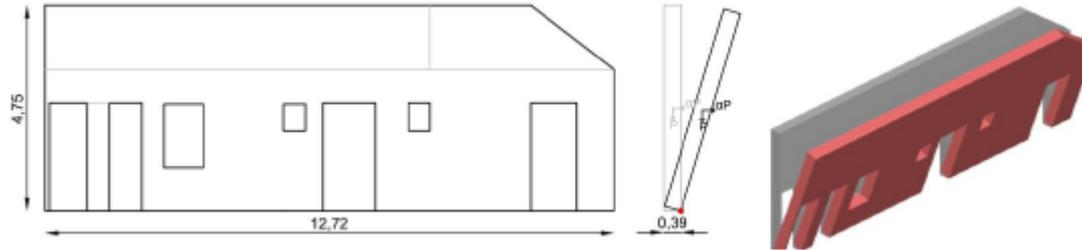
Tratto da

* Tesi di laurea L'INGEGNERIA A SUPPORTO DELL'ARCHEOLOGIA: INDAGINI STRUMENTALI FINALIZZATE ALLO STUDIO DELL'EVOLUZIONE E DELLE IPOTESI DI RICOSTRUZIONE POST-SISMA DI VILLA DIOMEDE A POMPEI - Anna Magon

FASE 2: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per tenere conto **dell'irregolarità in altezza dell'edificio**, l'analisi delle pareti viene effettuata su **diverse sue porzioni**

Ribaltamento globale della parete



Moltiplicatore dei Carichi									
X_{bar} [m]	Y_{bar} [m]	s [m]	t [m]	P [KN]	b_s [m]	b_r [m]	M_S [KNm]	M_R [KNm]	α
6,44	2,61	0,39	0,054	362,13	0,141	2,61	51,06	945,16	0,054

Verifica Lineare						
θ [rad]	$\bar{\delta}_{x,p}$ [mm]	M^* [Kg]	e^*	a_0^* [m/s ²]	$a_g(P_{VR})S/q$ [m/s ²]	Verifica
0,212	0,554	36,91	1	0,529	0,979	NO

Verifica non Lineare										
R_p [m]	β_p [rad]	θ [rad]	Y_{bar} [m]	d_{KO} [m]	d_0^* [m]	d_U^* [m]	d_S^* [m]	a_S^* [m/s ²]	$S_{De}(T_S)$	Ver.
2,641	1,517	0,054	2,61	0,140	0,1404	0,056	0,022	0,446	0,092	NO

FASE 2: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Ribaltamento della fascia superior della parete

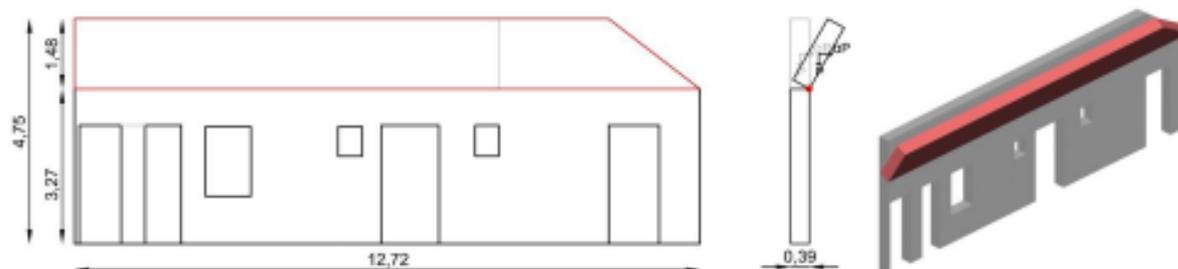


Fig. 9.7 - Individuazione della geometria del secondo macroelemento

Moltiplicatore dei Carichi									
X_{bar} [m]	Y_{bar} [m]	s [m]	t [m]	P [kN]	b_s [m]	b_r [m]	M_S [kNm]	M_R [kNm]	α
6,0375	0,7206	0,39	0,02	132,15	0,175	0,7206	23,126	95,23	0,243

Verifica Lineare							
θ [rad]	$\bar{\delta}_{x,p}$ [mm]	M^* [Kg]	e^*	a_0^* [m/s ²]	$a_g(P_{VR})S/q$ [m/s ²]	$S_e(T_1)\varphi(Z)\gamma/q$ [m/s ²]	Verifica
0,675	0,486	13,471	1	2,38	0,979	1,554	SI

Tratto da

* Tesi di laurea L'INGEGNERIA A SUPPORTO DELL'ARCHEOLOGIA: INDAGINI STRUMENTALI FINALIZZATE ALLO STUDIO DELL'EVOLUZIONE E DELLE IPOTESI DI RICOSTRUZIONE POST-SISMA DI VILLA DIOMEDE A POMPEI - Anna Magon



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 2: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Ribaltamento della fascia superior della parete

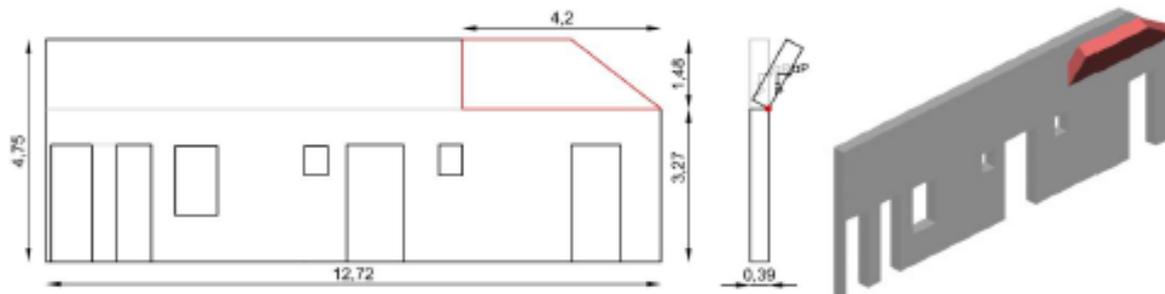


Fig. 9.8 - Individuazione della geometria del terzo macroelemento

Moltiplicatore dei Carichi									
X_{bar} [m]	Y_{bar} [m]	s [m]	t [m]	P [KN]	b_s [m]	b_r [m]	M_S [KNm]	M_R [KNm]	α
1,671	0,667	0,39	0,016	35,64	0,179	0,667	6,38	23,77	0,268

Verifica Lineare							
θ [rad]	$\bar{\delta}_{x,p}$ [mm]	M^* [Kg]	e^*	a_0^* [m/s ²]	$a_g(P_{VR})S/q$ [m/s ²]	$S_e(T_1)\varphi(Z)\gamma/q$ [m/s ²]	Verifica
0,675	0,445	3,63	1	2,63	0,979	1,554	SI



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

fondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Tratto da

* Tesi di laurea L'INGEGNERIA A SUPPORTO DELL'ARCHEOLOGIA: INDAGINI STRUMENTALI FINALIZZATE ALLO STUDIO
E DELLE IPOTESI DI RICOSTRUZIONE POST-SISMA DI VILLA DIOMEDE A POMPEI - Anna Magon

DELL'EVOLUZIONE

FASE 3: PROGETTAZIONE

Gli interventi in ambito archeologico si basano su due principi principali:

- **Miglioramento mediante interventi locali;**
- **Reversibilità;**

Il **criterio del miglioramento** tenuto conto della durabilità millenaria del rudere archeologico, tende a **garantirne la stabilità**, nonché la **protezione dal degrado** con **interventi omogenei e compatibili** con la natura materiale del rudere, progettando le diverse operazioni tecniche secondo il **criterio del minimo intervento**.

Il **concetto di reversibilità** è strettamente connesso alla **coscienza critica della conoscenza storica**.

Criteri per garantire i principi esposti sono:

- il rispetto della concezione costruttiva del manufatto archeologico,
- l'uso di materiali e tecniche compatibili con la reversibilità

Tratto da :

RACCOMANDAZIONI PER LA REDAZIONE DI PROGETTI E L'ESECUZIONE DI INTERVENTI PER LA CONSERVAZIONE DEL COSTRUITO ARCHEOLOGICO - S. D'Agostino, Cairoli F. Giuliani, M.L. Conforto, E. Guidoboni



SOPRINTENDENZA
POMPEI



FASE 3: PROGETTAZIONE

INTERVENTI SU MURATURE

E' necessario utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche il più possibile omogenee a quelle dei materiali originari. In particolare è opportuno utilizzare **materiali lapidei o laterizi nonché leganti in tutto simili a quelli in opera**, mentre vanno drasticamente **evitate malte cementizie ed inserti in calcestruzzo**.

Gli interventi sono finalizzati a:

1. **riparare localmente o risanare parti lesionate mediante la **sarcitura delle lesioni** e/o con opera di **scuci-cuci****
2. **ripristino rispetto a manomissioni esistenti** apportate al manufatto in fasi successive e ritenute inopportune in sede di progetto di restauro;
3. **indispensabili **integrazioni necessarie a garantire la stabilità** della costruzione**
4. **Garantire il comportamento scatolare mediante la predisposizione di tirantature e catene**

FASE 3: PROGETTAZIONE

INTERVENTI SU COLONNE

Nell'ottica del **miglioramento** gli interventi su **pilastrini e colonne** sono finalizzati a:

- **ripristinare**, ove necessario, la originaria **resistenza a sforzo normale** a mezzo di provvedimenti quali **cerchiature e tassellature**;
- eliminare, o comunque **contenere, le spinte orizzontali** mediante provvedimenti quali **apposizioni di catene ad archi, volte, coperture e realizzazione o ripristino di contrafforti**

Situazioni di non verticalità vanno analizzate con attenzione, individuandone cause ed effetti e valutando di conseguenza l'opportunità di correggerle o di mantenerle.

FASE 3: PROGETTAZIONE

INTERVENTI SU ARCHI E VOLTE

In presenza di **quadri fessurativi** gli archi e le volte potranno essere oggetto di **interventi locali integrativi** analoghi a quelli indicati per le murature con l'avvertenza che alcune lesioni possono essere fisiologiche per cui può essere opportuno non ripararle; ciò vale in particolare per lesioni in chiave e alle reni purché la resistenza alla spinta sia assicurata



SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

L'UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II A POMPEI



SOPRINTENDENZA
POMPEI



**Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico**



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



SOPRINTENDENZA
POMPEII



**Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico**



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico



SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI POTENZA

*f*ondazione
architetti
e ingegneri
liberi
professionisti
iscritti
INARCASSA

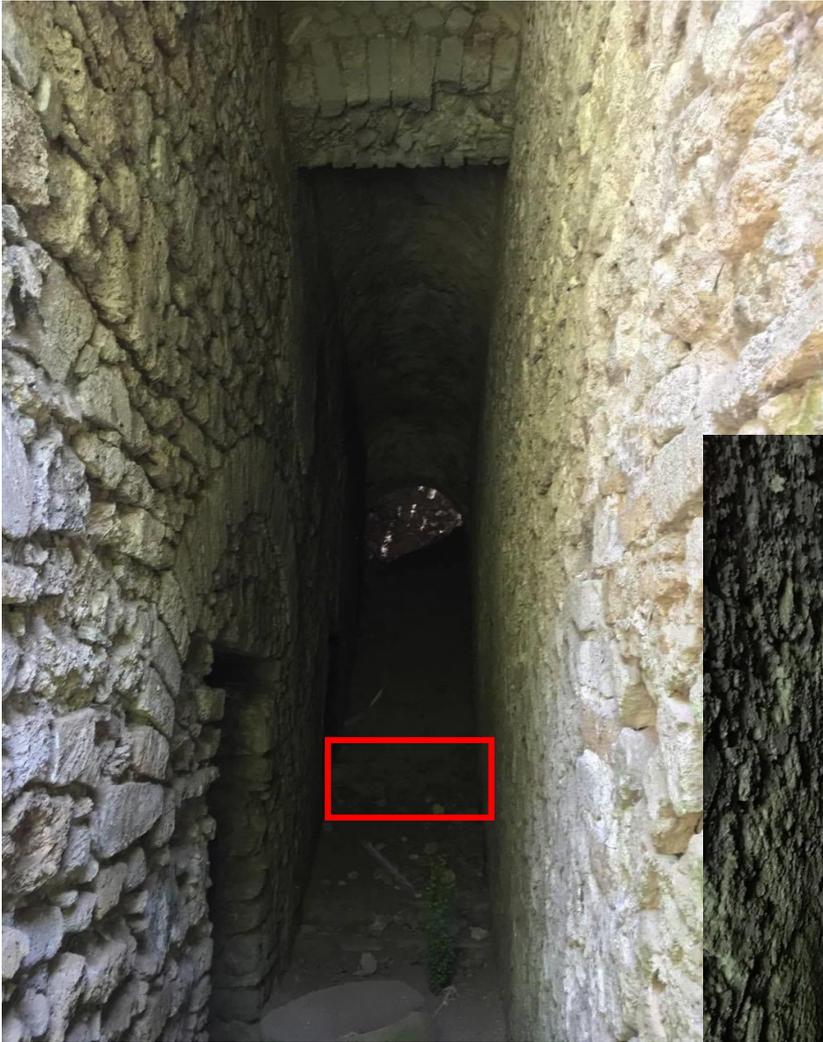
POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



DEGLI INGEGNERI DELLA
PROVINCIA DI POTENZA

Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEII



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali per strutture di interesse storico e archeologico



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Conoscenza, valutazione sismica e interventi locali
per strutture di interesse storico e archeologico

Contributo per la conoscenza e la definizione di interventi



Linee guida per
Modalità di indagine
sulle strutture e sui terreni
per i progetti di riparazione,
miglioramento e ricostruzione
di edifici inagibili



d



Linee guida per
Riparazione e rafforzamento
di elementi strutturali,
tamponature e partizioni

a cura di
Mauro Dolce
Gaetano Manfredi



d



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEII



Contributo per la conoscenza e la definizione di interventi

- ✓ Identificazione caratteristiche dei materiali
- ✓ Identificazione della tessitura muraria e dell'organizzazione strutturale
- ✓ Valutazione su interazione delle parti strutturali con radici e vegetazione



POMPEII

SOPRINTENDENZA
POMPEI



Contributo per la conoscenza e la definizione di interventi

- ✓ Interventi locali per messa in sicurezza e fruizione
 - ✓ Sarcitura lesioni e stuccatura dei giunti
 - ✓ Rimozione radici e vegetazione infestante
 - ✓ Integrazione di murature
 - ✓ Sarcitura lesioni e integrazione murarie delle volte
- ✓ Si propone di trarre vantaggio dalle prove che sono state e verranno condotte per creare un database relativo alle diverse tipologie murarie per supportare la progettazione di interventi locali e/o di miglioramento sismico all'interno del sito di Pompei



SOPRINTENDENZA POMPEI

