

**CONOSCENZA E MINIMO INTERVENTO:
IL PONTE DI RIALTO E CA' DA MOSTO A VENEZIA**

IL METODO DI INDAGINE

Ricerca storica



*Notizie sulla costruzione
e sulle trasformazioni edilizie*

*Riscontri in cantiere attraverso
l'osservazione del dettaglio costruttivo*

**Rilievo critico del dissesto
(ed eventuale monitoraggio)**



Quadro fessurativo

Fuori verticalità delle murature

*Fuori orizzontalità di elementi
strutturali ed architettonici omologhi*




Linee deformate dei solai

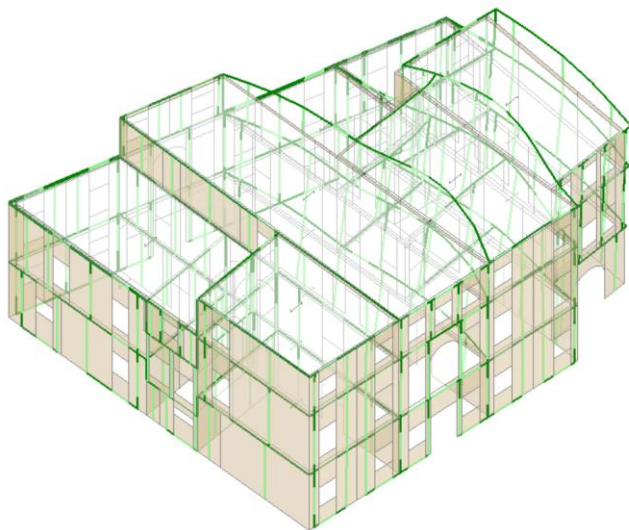
Curvatura delle volte

DPCM 26.02.2011

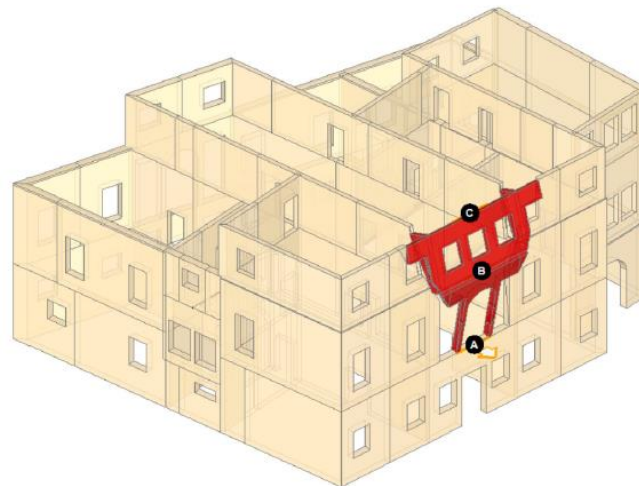
***«Linee guida per la valutazione e la riduzione del
rischio sismico del patrimonio culturale con
riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di
cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei
trasporti del 14 gennaio 2008»***

4.2 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

LC1 (LIVELLO DI CONOSCENZA LIMITATO)		FC = 1,35
LC2 (LIVELLO DI CONOSCENZA ESTESO)		FC = 1,20
LC3 (LIVELLO DI CONOSCENZA ESAUSTIVO)		FC = 1,00



Nei modelli di verifica di una struttura basati sulla resistenza e deformabilità dei materiali (modelli ad elementi finiti) FC si applica riducendo le resistenze dei materiali stessi.



Nei modelli che considerano la muratura come insieme di blocchi rigidi non resistenti a trazione (cinematismi) FC si applica direttamente alla capacità della struttura, ovvero riducendo l'accelerazione critica che corrisponde ai diversi stati limite.

IN OGNI CASO: MIGLIORE E' LA CONOSCENZA DI UNA STRUTTURA, PIU' BASSI SARANNO I COEFFICIENTI DI SICUREZZA DA CONSIDERARSI NELL' ANALISI E MIGLIORE SARA' IL RISULTATO, IN TERMINI DI PRESTAZIONI, DELLA STRUTTURA

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck} = 1,09$$

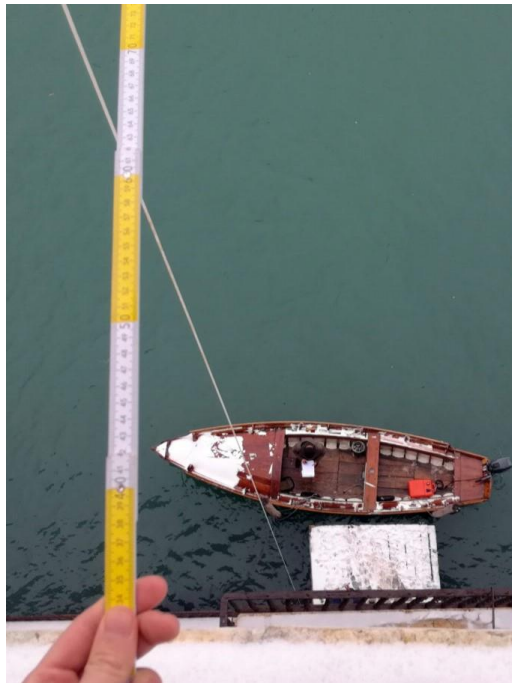
Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

Rilievo geometrico	rilievo geometrico completo	$F_{C1} = 0.05$
	rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	$F_{C1} = 0$
Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	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)	$F_{C2} = 0.12$
	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 (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.06$
	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)	$F_{C2} = 0$
Proprietà meccaniche dei materiali	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	$F_{C3} = 0.12$
	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0.06$
	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0$
Terreno e fondazioni	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni	$F_{C4} = 0.06$
	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0.03$
	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0$

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck} = 1,17$$

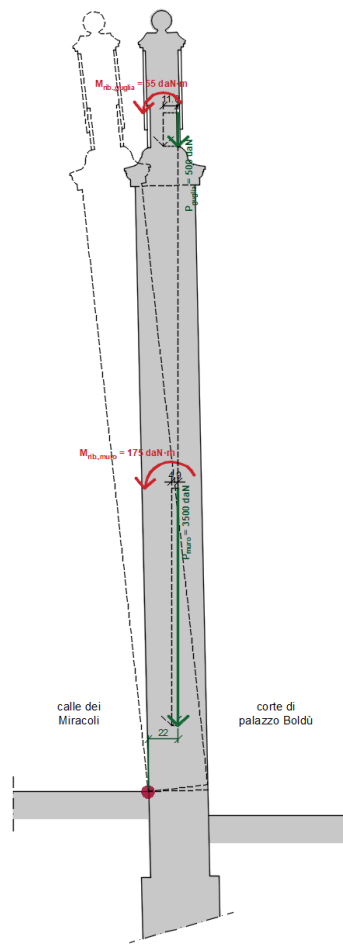
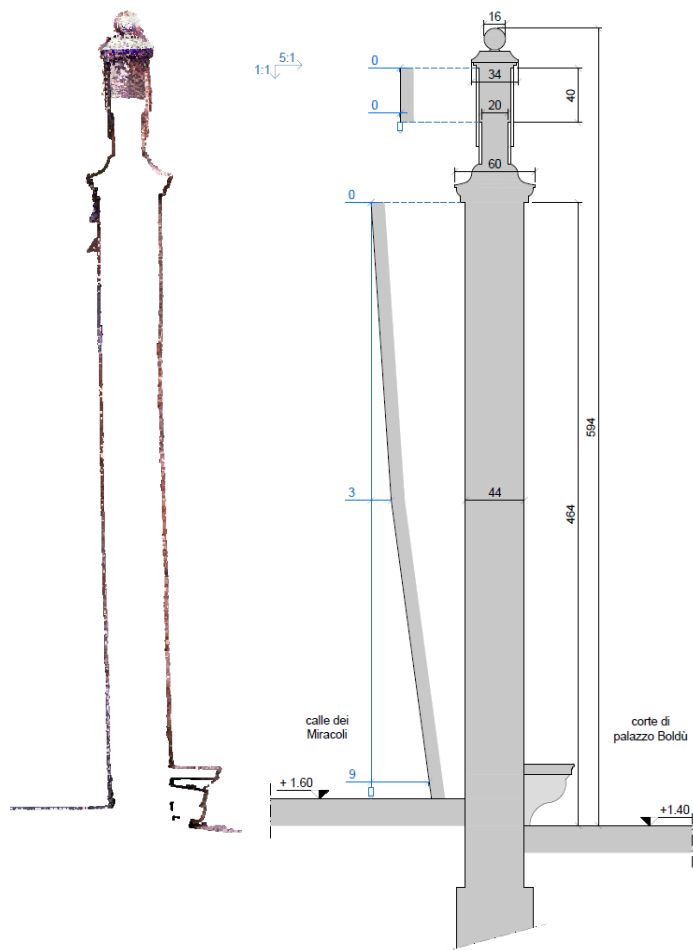
Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

Rilievo geometrico	rilievo geometrico completo	$F_{C1} = 0.05$
	rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	$F_{C1} = 0$
Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	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)	$F_{C2} = 0.12$
	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 (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.06$
	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)	$F_{C2} = 0$
Proprietà meccaniche dei materiali	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	$F_{C3} = 0.12$
	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0.06$
	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0$
Terreno e fondazioni	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni	$F_{C4} = 0.06$
	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0.03$
	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0$

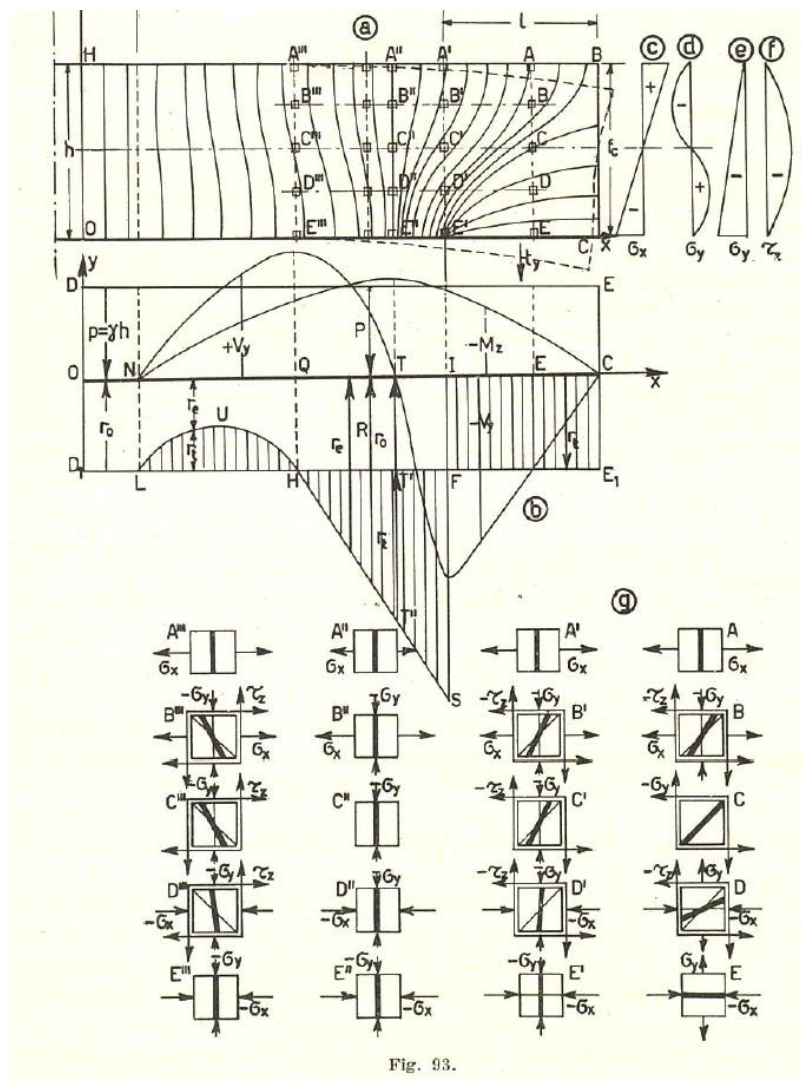


Rilievo del quadro deformativo con metodologia tradizionale

OSSERVAZIONE CRITICA, ANALISI DEL DISSESTO E MINIMO INTERVENTO: IL PONTE DI RIALTO E CA' DA MOSTO A VENEZIA

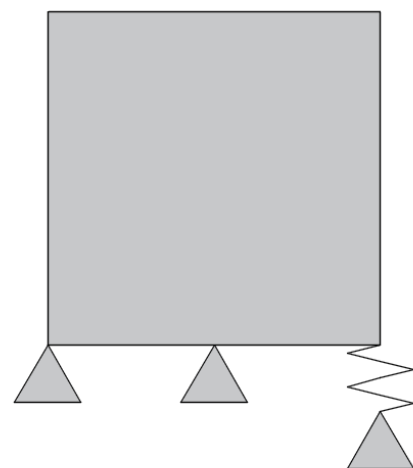
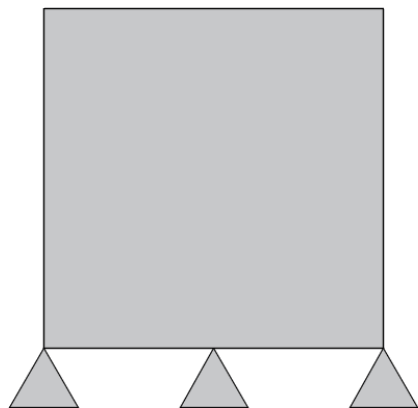


Dalla nuvola di punti all'analisi strutturale:
muro di cinta di Palazzo Boldù

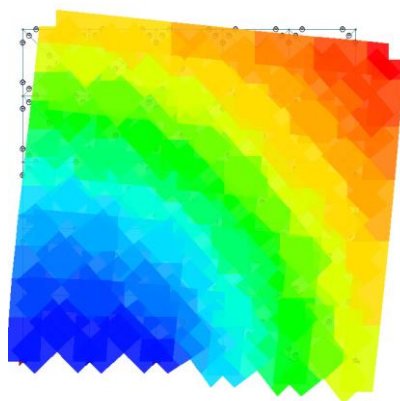
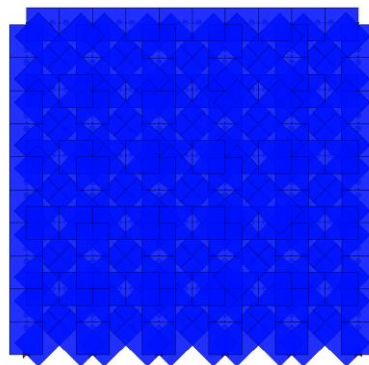


da Sisto Mastrodicasa, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Milano, Hoepli, 1974

Incidenza del quadro deformativo nei flussi tensionali



Schema statico



Configurazione deformata

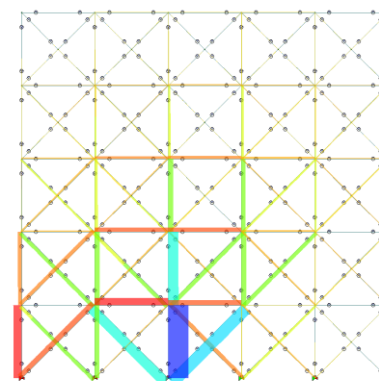
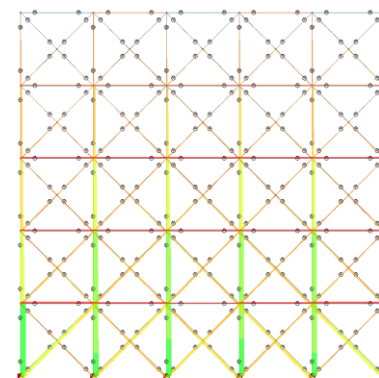


Diagramma dello sforzo normale

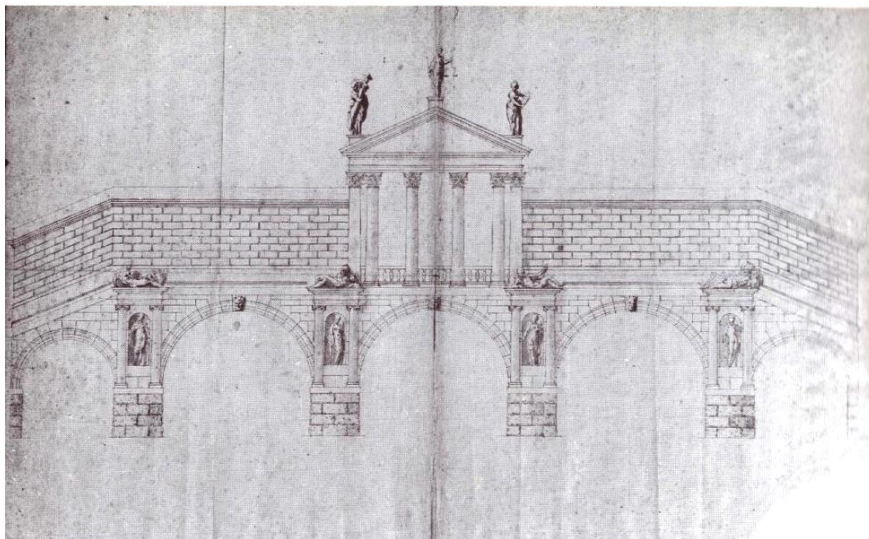
Incidenza del quadro deformativo nei flussi tensionali



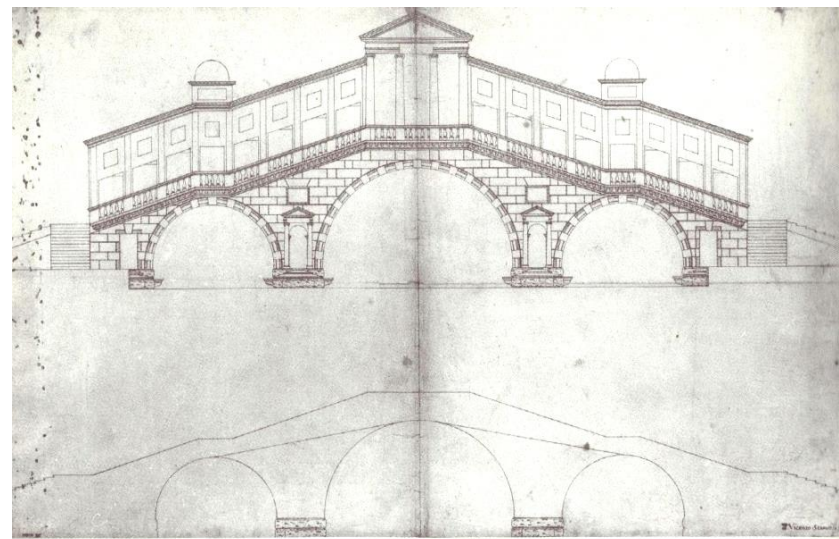
IL RESTAURO DEL PONTE DI RIALTO



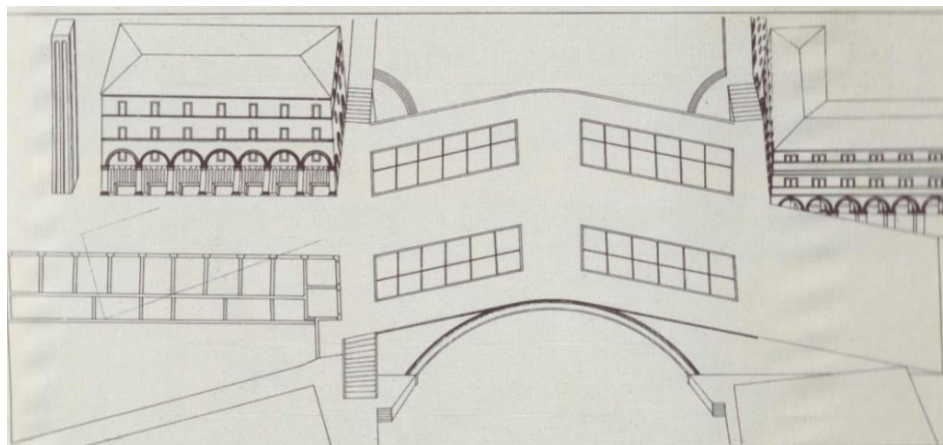
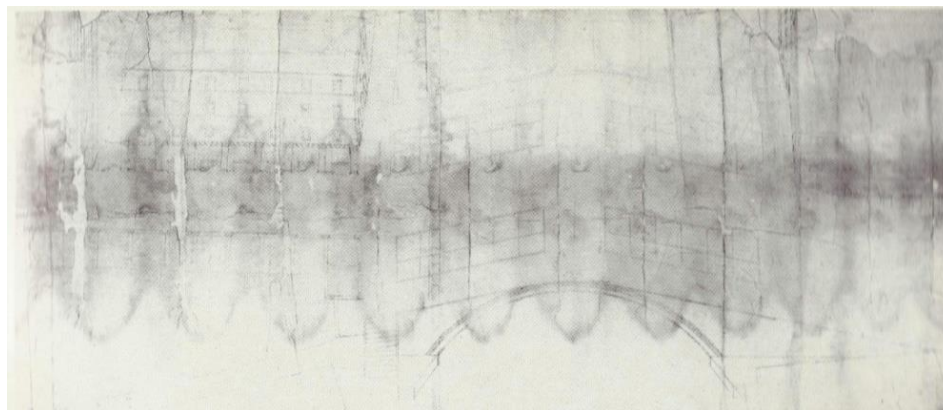
Jacopo De' Barbari particolare della veduta di Venezia, 1500



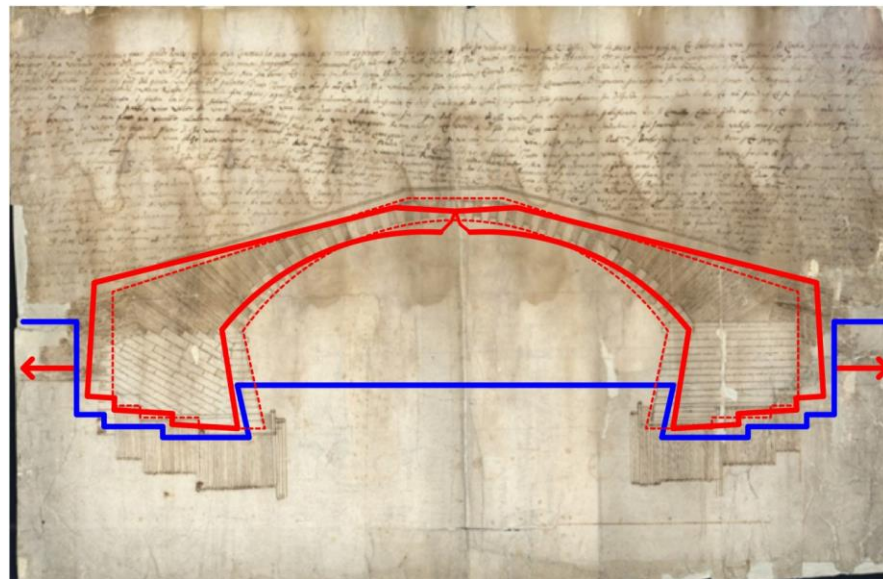
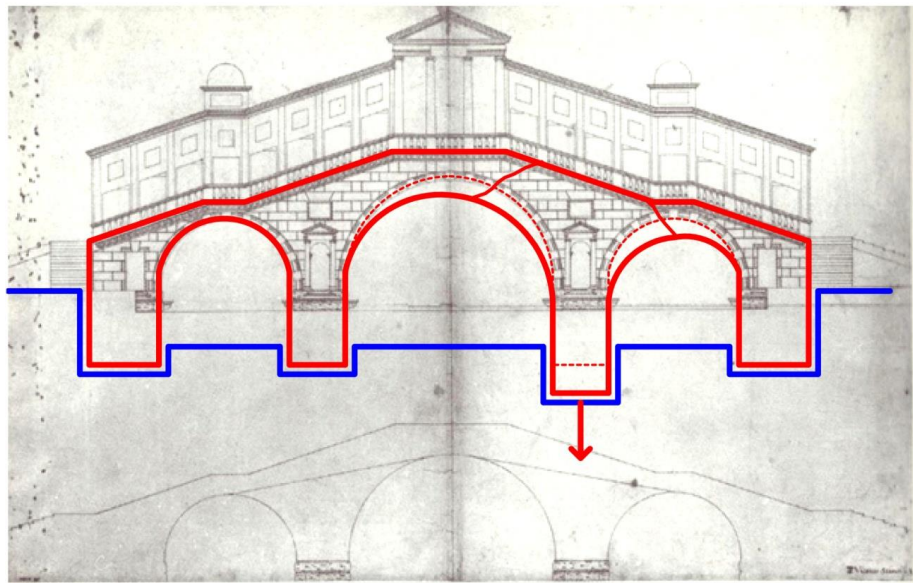
Ponte a cinque arcate: il progetto di Andrea Palladio (1550 – 1554)



Ponte a tre arcate: il progetto di Vincenzo Scamozzi (1587)

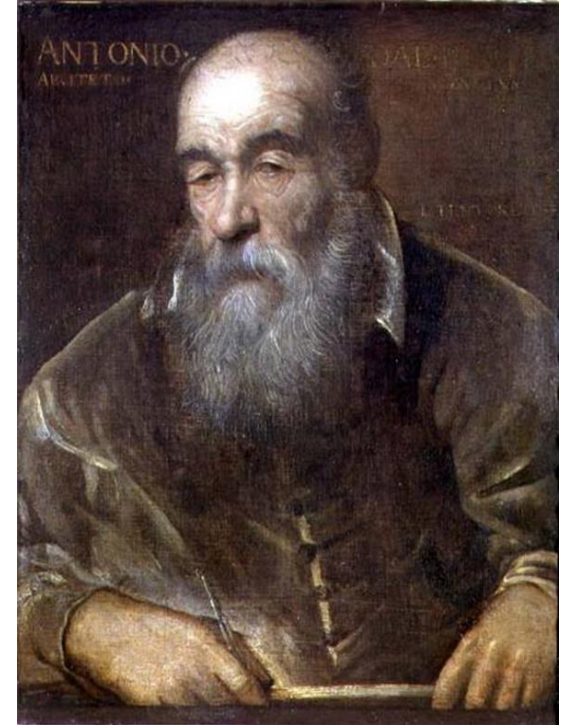


Ponte ad arcata unica: il progetto di Antonio Da Ponte originale e ridisegnato da Paolo Rosso
(da D. Calabi e P. Morachiello, Rialto, le fabbriche e il ponte)



Dissesti potenziali indotti da terreno di scarse caratteristiche meccaniche nel modello a tre archi e in quello ad arco unico

Antonio dal Ponte
 Il obedir ale Clarme d' noster C'me s' p'ouetatori
 sopra la fabriga del ponte de rialto in materia de
 far il ponte in un volto solo per una figura
 dico che fatto molti mie & forse sopra questo
 far d'un volto solo e che il tutto sta nele
 fonde mente & che se ben considerato si puot fare
 d'ita fonda men de qual se possa forte fare
 il ponte sicuro
Anto dal pto pto 1587



Antonio da Ponte (1512 – 1597)

Antonio dal Ponte — presentata a 7 gennaio 1587.

Per adi 5 zenar.

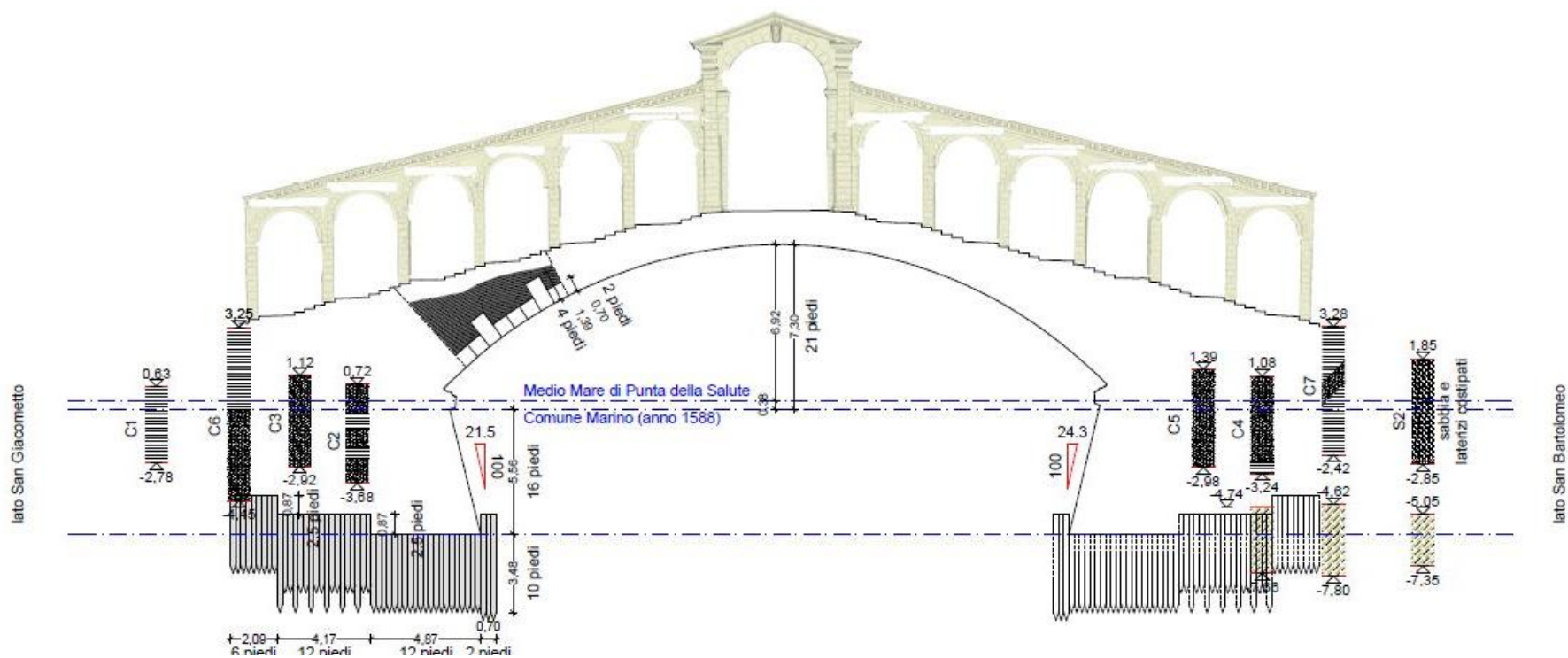
Per obedir ale Clarissime Signorie vostre, Clarissimi Signori Proveditori sopra la fabriga del Ponte de Rialto in materia de far il ponte int'un volto solo, se'l sarà sicuro, dicho che, fatto molti miei discorsi sopra questo far d'un volto solo, et perchè il tutto sta nele fondamenta, dicho che, ben considerato, si puot far dite fondamenta, le qual reusirà forte, e fare il ponte sicuro.

Antonio dal Ponte, proto, oss. suo servitor.

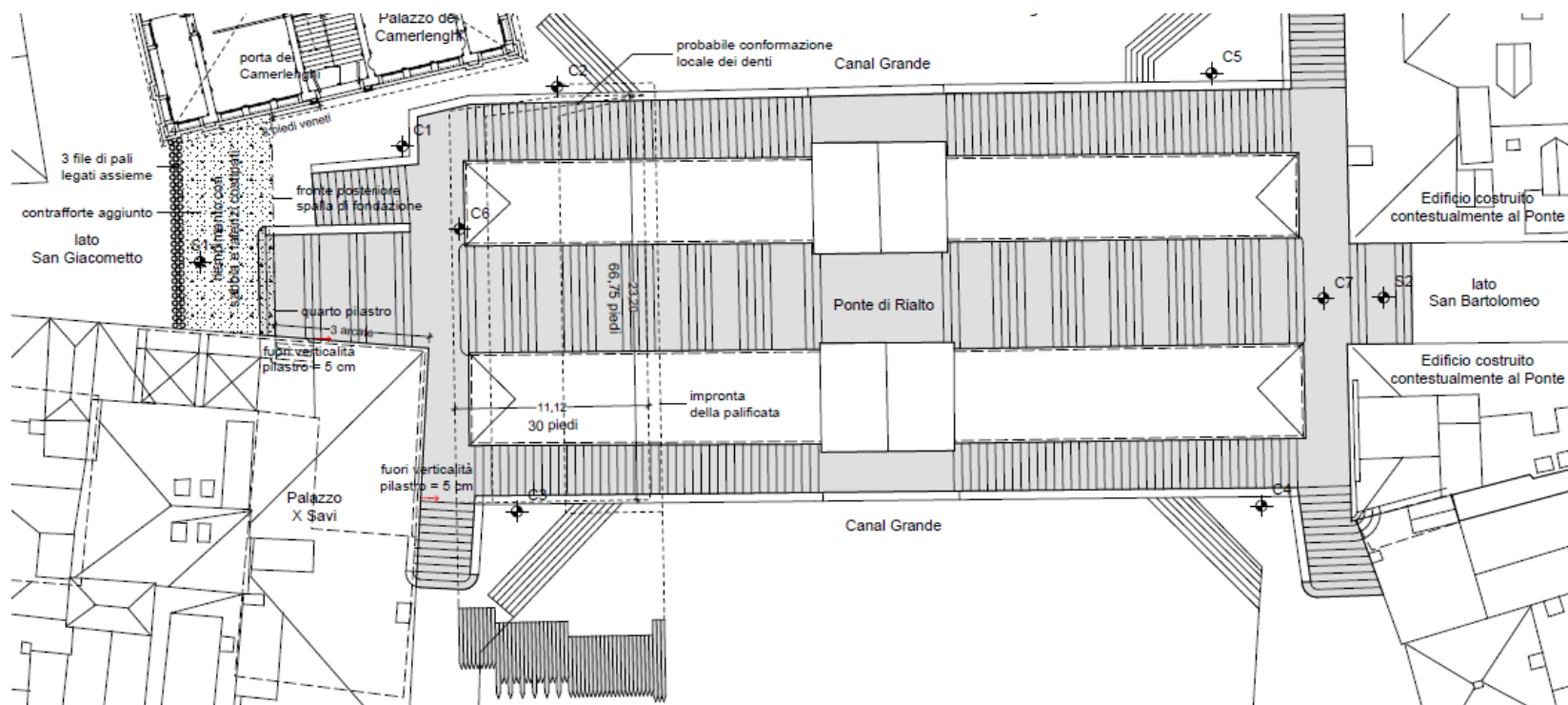
Lettera autografa del 7 gennaio 1587 e trascrizione tratta da R. Cessi, A. Alberti “Rialto, l'isola, il ponte, il mercato”



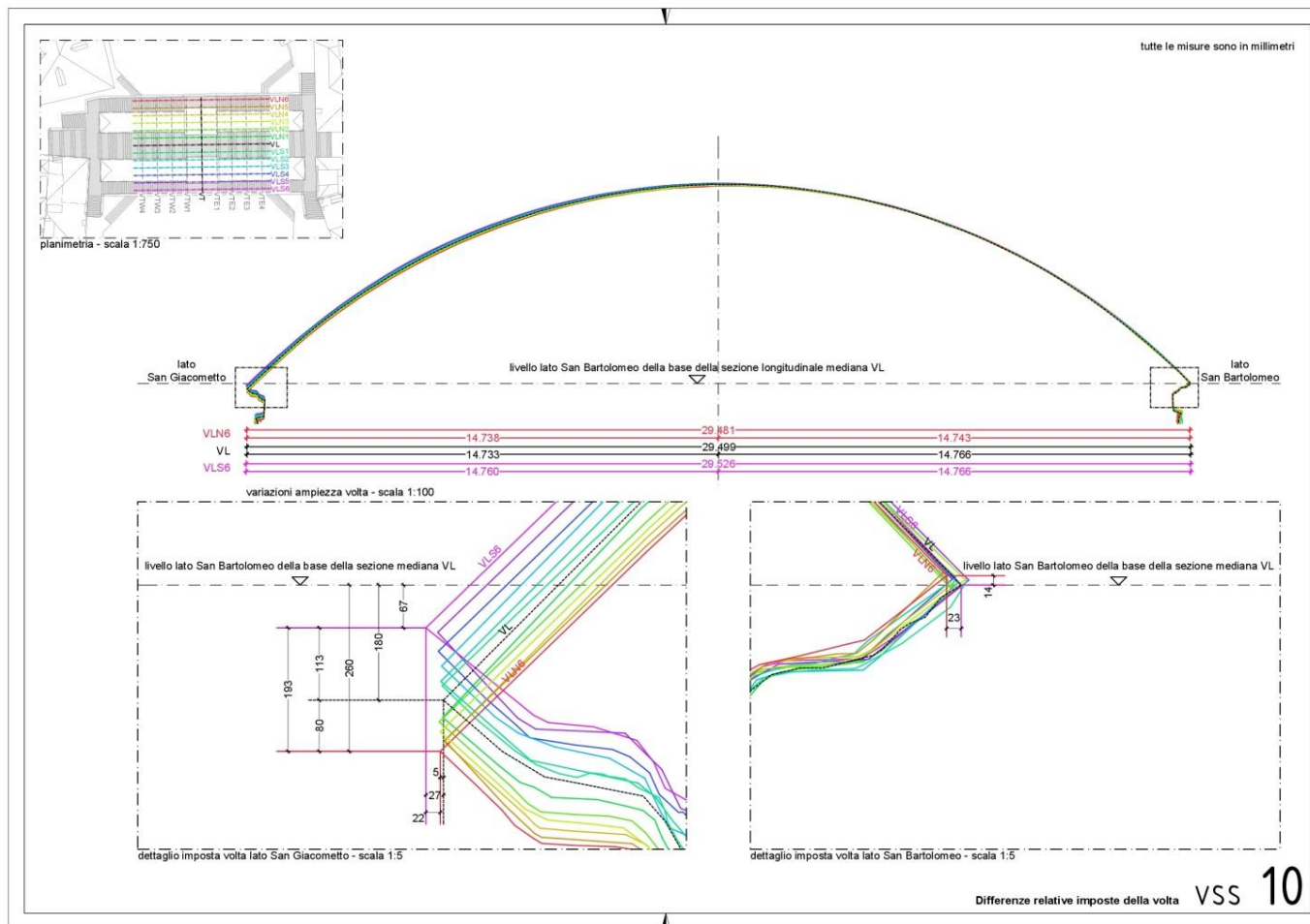
A.S.V., fotoriproduzione del disegno delle spalle del Ponte di Francesco Zamberlan



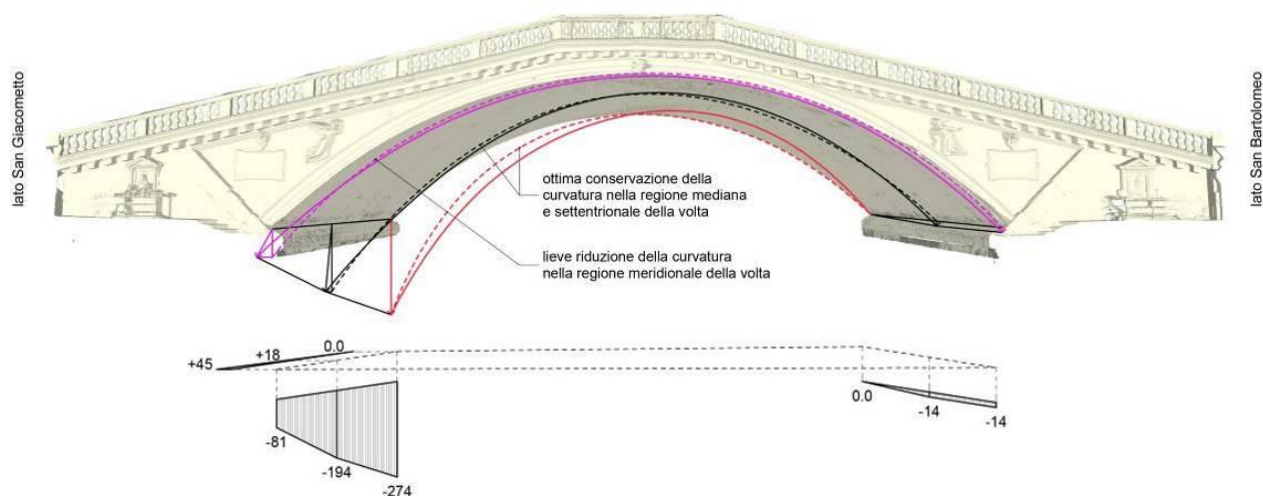
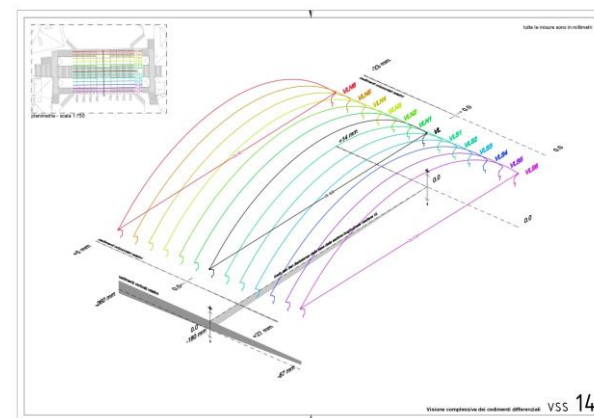
Sezione d'insieme della consistenza strutturale basata sui dati ricavati dall'indagine storica e geognostica



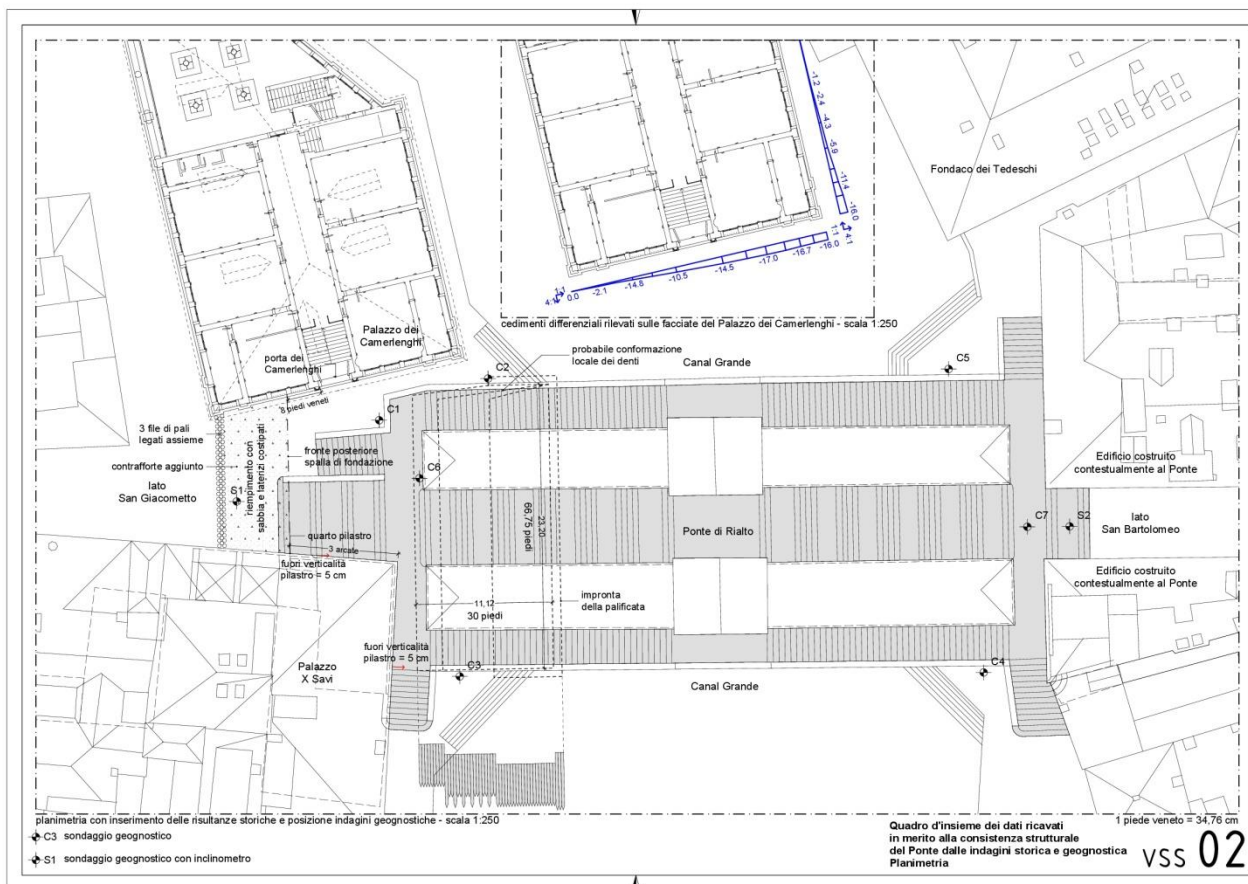
Pianta d'insieme della consistenza strutturale basata sui dati ricavati dall'indagine storica e geognostica



Differenze relative tra le imposte della volta



Visione complessiva dei cedimenti differenziali



Pianta d'insieme della consistenza strutturale basata sui dati ricavati dall'indagine storica e geognostica

al is. dicto.

Ritornati s^a la Fabbrica d^e ponte li sopradetti clarissimi delegati
et fatto livellar d^e l'acqua la fondamenta fatta fino
al p^{te}, p^{te} veder, se era callata dalla parte d^ella
riva d^e ferro, come era stato detto; Hanno tro-
vato, d^e la ~~callata~~ ^{non è a livello sul} ~~callata~~ dal canton di Camerlenghi
p^{te} un' onza, et meza, più. P^{te} mare, et più. —
~~non è a livello sul~~

Dipoi fatto cavar nella fondamenta sotto la stagiera,
trouvorno, et tra fondamenta, et fondamenta, vi era terre
solo senza pietre, et così tra la fabbrica nuova, et
la fabbrica vecchia d^ella drapparia.

Documento originale di una cronaca del 12 agosto 1588

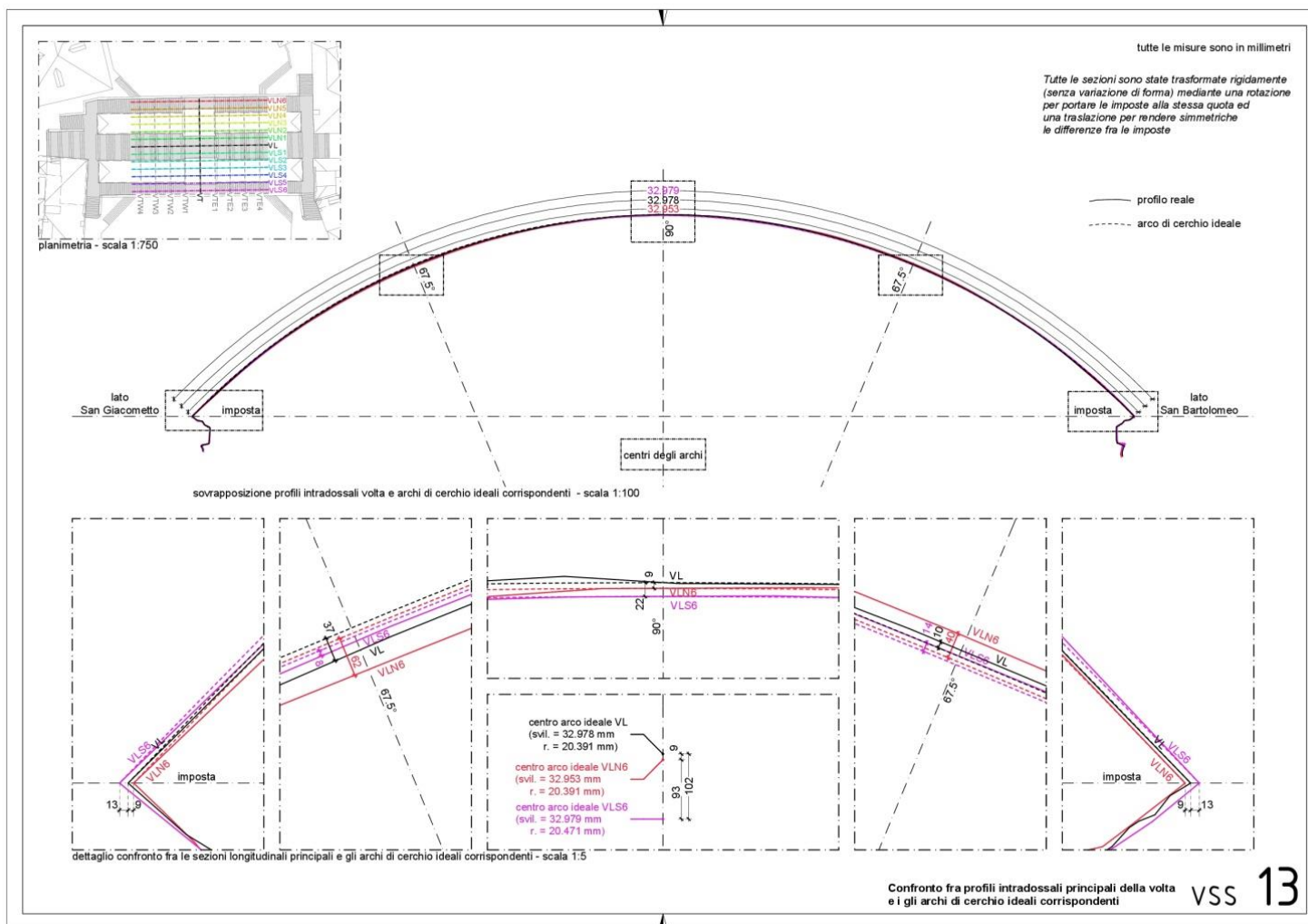
406 DOCUMENTI

f

1588, 12 agosto (*).

Ritornati sopra la fabbrica del ponte li sopraditti clarissimi delegati et fatto livellar con l'acqua la fondamenta fino al presente fatta per vedere se era callata dalla parte della riva del Ferro, come era stato detto, hanno trovato che la non è a livello sul canton di Camerlenghi per un'onza e meza più presto manco che più. Di più fatto cavar nella fondamenta sotto la stagiera trovorno che tra fondamenta et fondamenta vi era terren solo senza pietre e così fra la fabbrica nuova e la fabbrica vecchia della drapparia.

Trascrizione tratta da R. Cessi, A. Alberti “ Rialto, l'isola, il ponte, il mercato”



Confronto fra profili intradossali principali della volta e gli archi di cerchio ideali corrispondenti



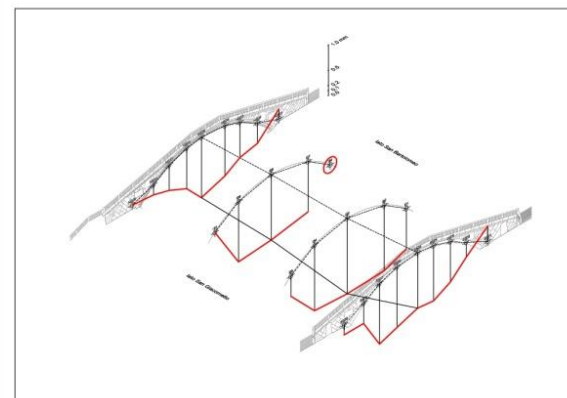
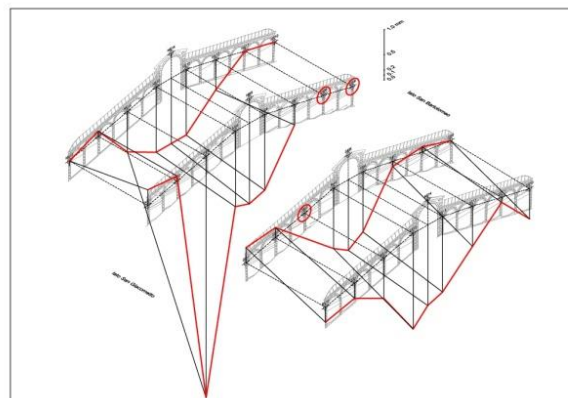
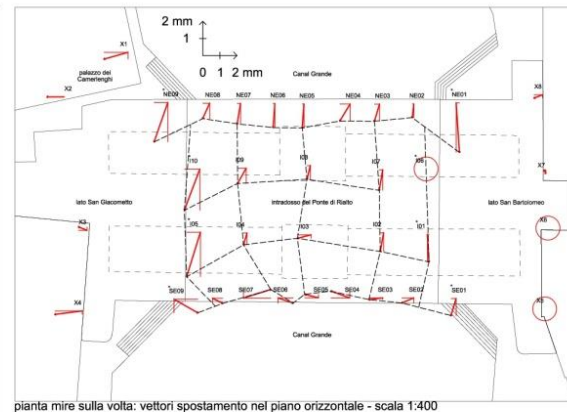
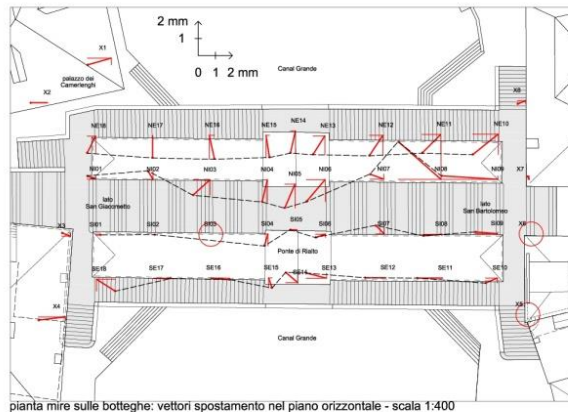
Alcune fasi di installazione delle mire

PUNTI MONITORATI					
PUNTO	VAR. X	VAR. Y	VAR. Z		
I01	0.1	-1.8	-0.8		
I02	-0.2	-1.1	-1.3		
I03	-0.8	-0.2	-1.5		
I04	-0.2	-0.7	-1.3		
I05	-0.8	-2.6	-0.4		
I07	-0.2	-1.2	-1.1		
I08	-0.2	-0.8	-1.3		
I09	-0.5	-0.9	-1.2		
I10	-0.9	-2.4	-0.1		
NE01	0.2	0.8	0.2		
NE02	-0.1	-0.8	-0.4		
NE03	-0.3	-1	-0.7		
NE04	-0.6	-1	-1		
NE05	-0.1	-1.4	-1.2		
NE06	-0.1	-1.4	-0.8		
NE07	-0.2	-1.2	-0.5		
NE08	-0.4	-0.9	-0.2		
NE09	-0.8	2.3	0		
NE10	-1.5	-1.2	0		
NE11	-1.1	-1.1	0		
NE12	-0.8	-1.2	-0.8		
NE13	-0.7	-1.1	-1.3		
NE14	-0.3	-1.3	-1.3		
NE15	0.2	-1.3	-1.3		
NE16	0.3	-1.4	-0.8		
NE17	0	-1.3	0.1		
NE18	-0.5	-1	0		
NE01	-0.5	0.2	0.3		
NE02	-0.3	0.5	0.1		
NE03	-1	-0.8	-0.8		
NE04	-0.3	-1.3	-1.5		
NE05	-0.6	-1.4	-1.6		
NE06	-1.1	-1.3	-1.5		
NE07	-0.8	0.3	-0.4		
NE08	-0.5	2.2	2.3		
NE09	-0.3	0.2	-1.2		
SE01	-0.3	-1	0.3		
SE02	-0.7	-0.3	-0.3		
SE03	-0.8	-0.1	-0.8		
SE04	-1.1	0.4	-1.1		
SE05	-0.8	0.2	-1.1		
SE06	0.9	-0.3	-1.2		
SE07	1.6	0.5	-1.2		
SE08	0.6	-0.3	-0.4		
SE09	1.4	-0.8	-0.2		
SE10	-0.7	-0.3	-0.8		
SE11	-1.5	0	-0.1		
SE12	-1.2	0	-0.8		
SE13	-1.2	0.3	-1.5		
SE14	-0.7	0.6	-1.6		
SE15	0.2	-0.6	-1.9		
SE16	1.1	-0.1	-0.8		
SE17	1	0	-0.3		
SE18	1.1	-0.7	-0.3		
SI01	0.3	0	0.3		
SI02	0.1	0	0.2		
SI03	-0.6	0.3	0.4		
SI04	0.2	0.7	-1.2		
SI05	-0.4	0	-1.4		
SI06	-0.6	-0.2	-1.2		
SI07	-0.5	0.5	-0.1		
SI08	-1.1	-0.1	0.1		
SI09	-1.3	0.1	0		
X1	-1.4	-0.4	0.5		
X2	-1	-1	-0.1		
X3	-0.5	0.2	0.2		
X4	-1.6	-0.2	0.4		
X5	1.7	-2.7	-0.8		
X6	0.7	1.4	-2.5		
X7	-0.1	0.2	0.1		
X8	-0.5	-0.2	0.1		

NE09 valore scartato
(non attendibile)

★ impianto coincidente
on il 2° monitoraggio

$\Delta t = -11^\circ\text{C}$

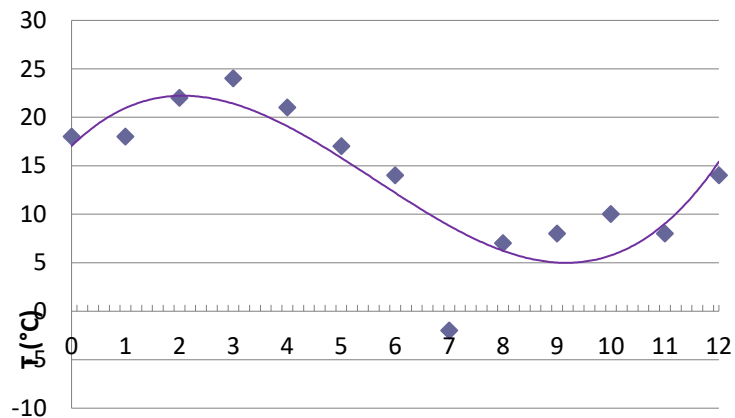


impianto - 30.04.2013 (t. = 18°C)
8° monitoraggio - 31.12.2013 (t. = 7°C)

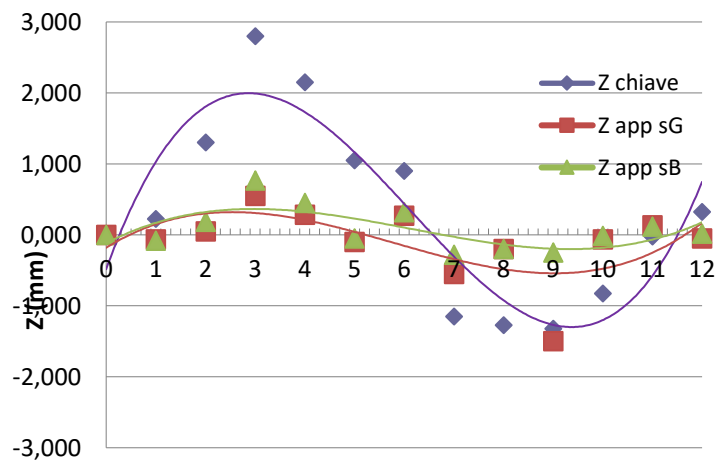
ASD 08

Scheda di una sessione di monitoraggio mensile del Ponte

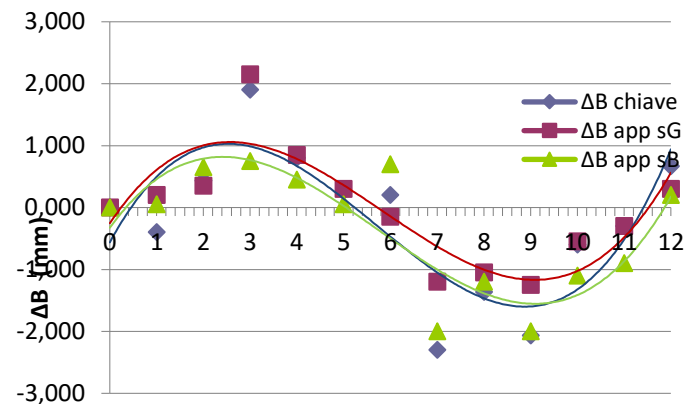
IL PONTE DI RIALTO: analisi preliminare della costruzione



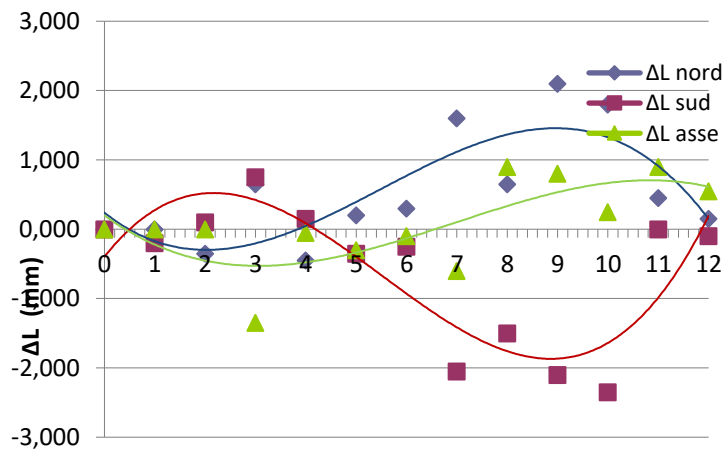
Temperatura



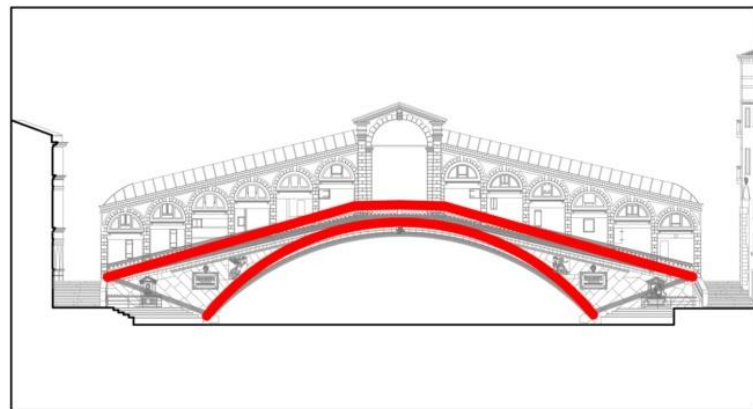
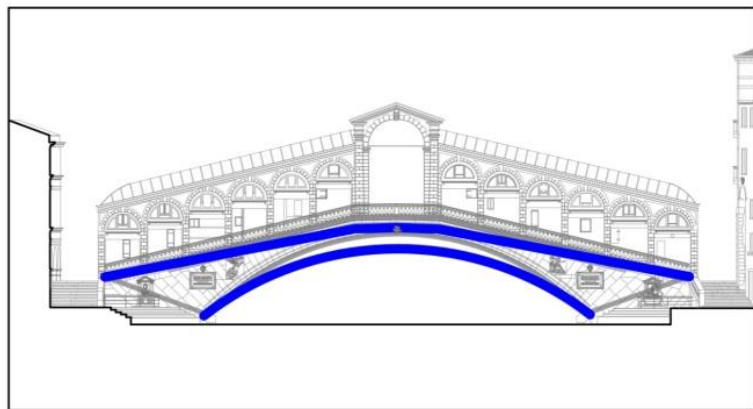
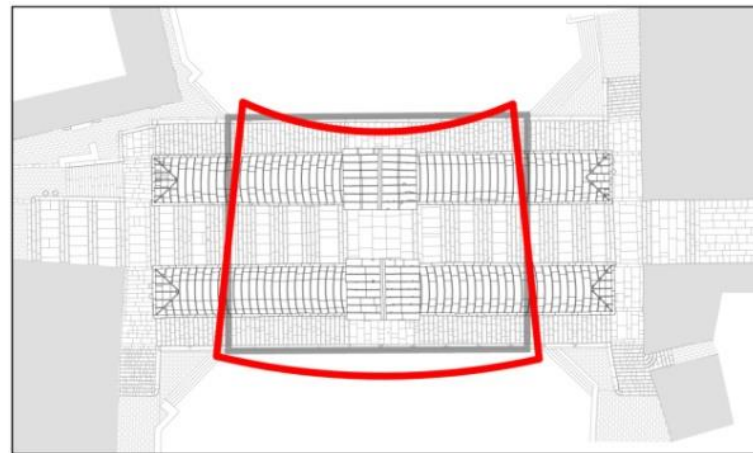
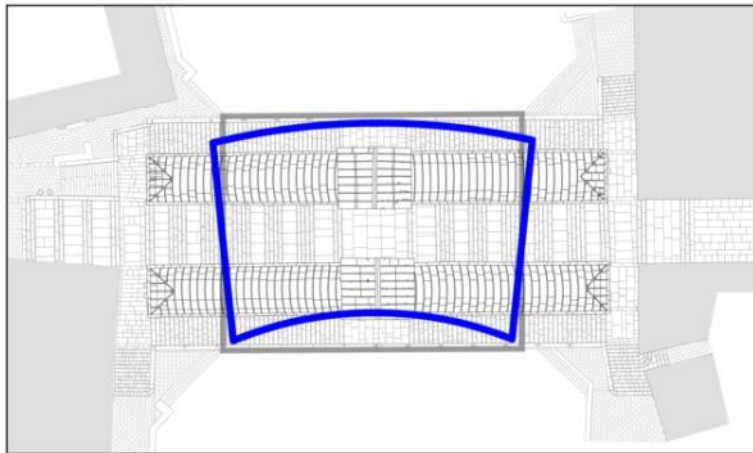
Spostamenti verticali delle regioni di chiave e di spalla



Dilatazione trasversale dell'intradosso della volta

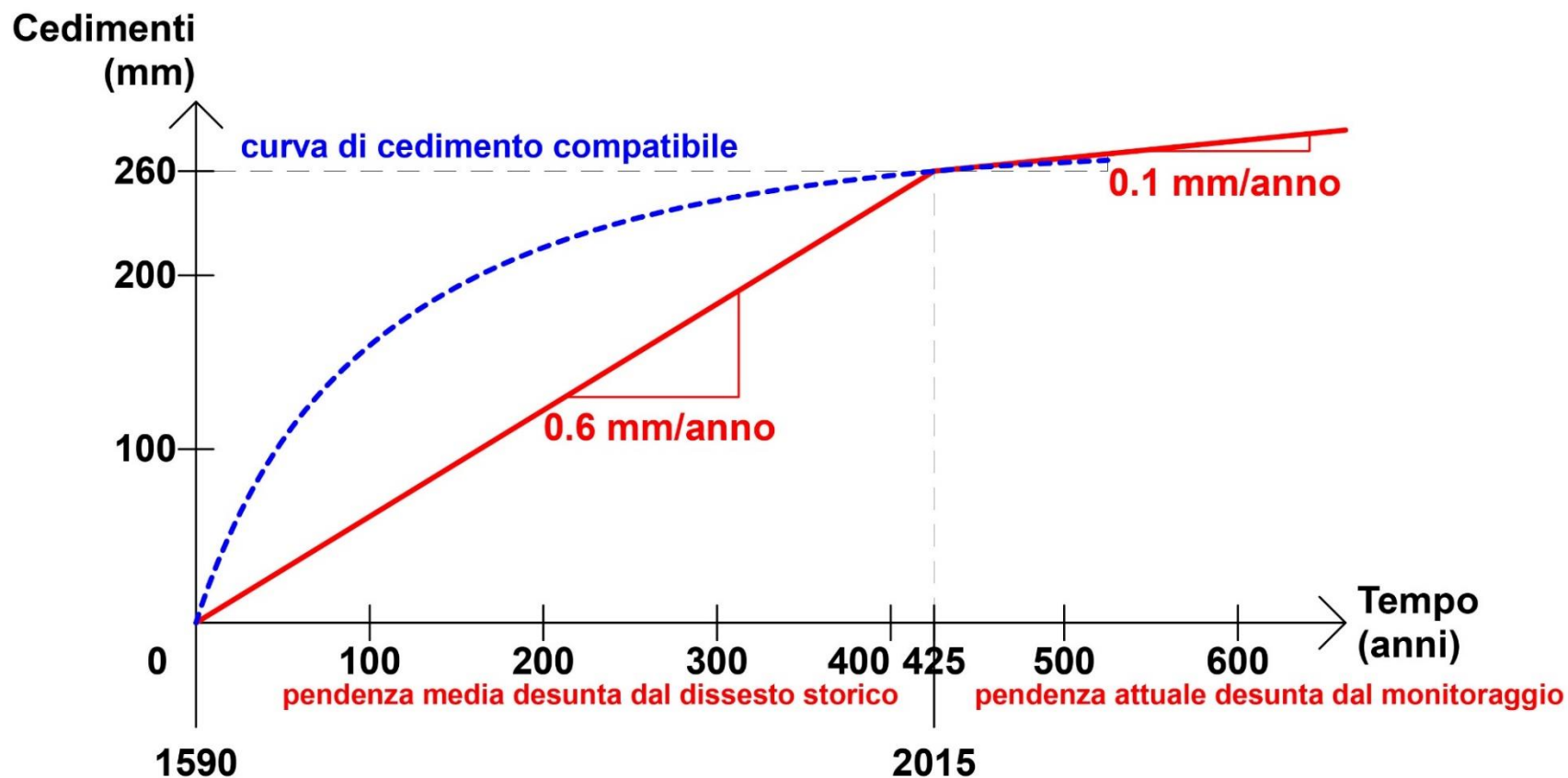


Variazione di distanza in direzione longitudinale tra le spalle della volta

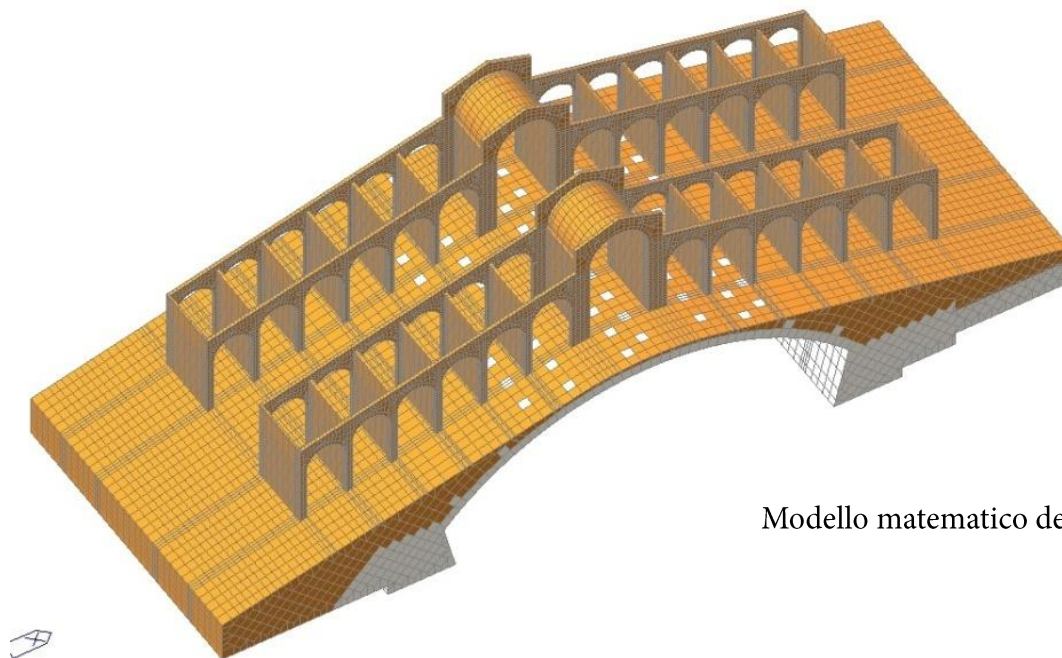


Deformazione invernale del Ponte

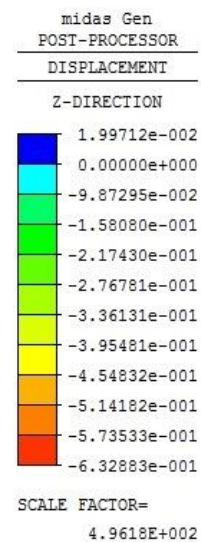
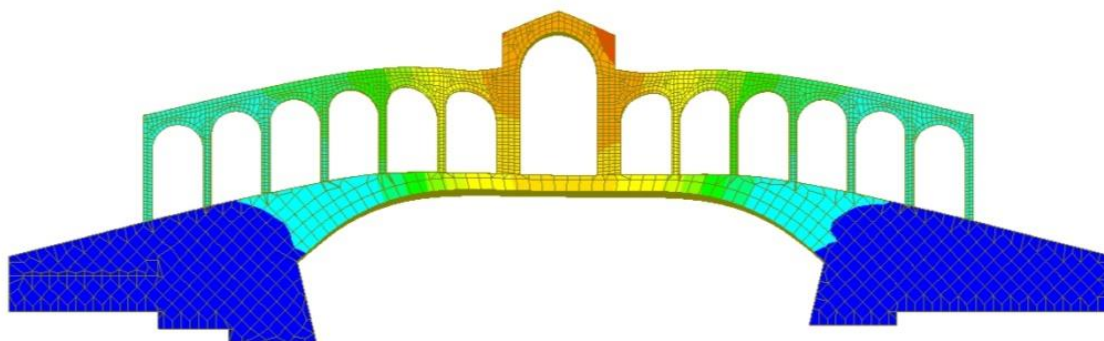
Deformazione estiva del Ponte



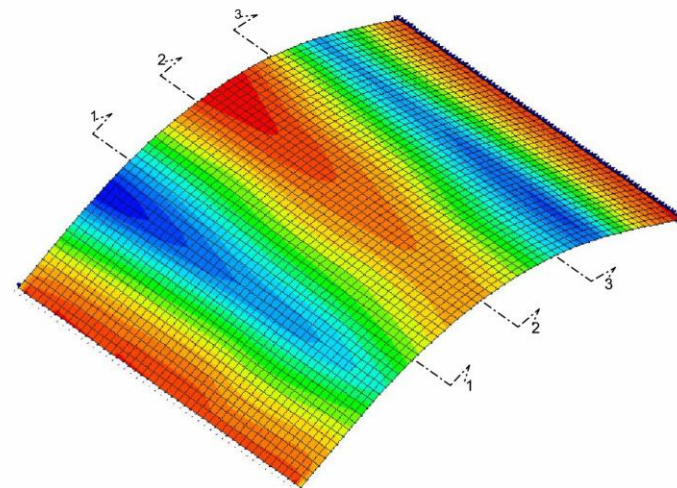
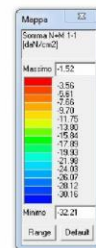
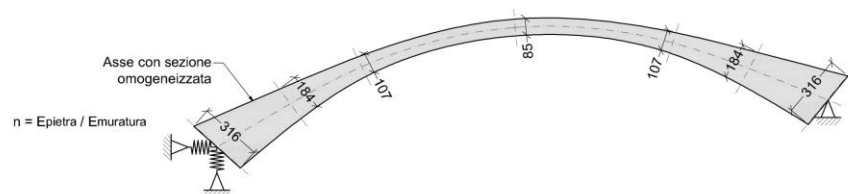
Ipotesi sull'andamento temporale del cedimento dello spigolo verso Palazzo dei Camerlenghi



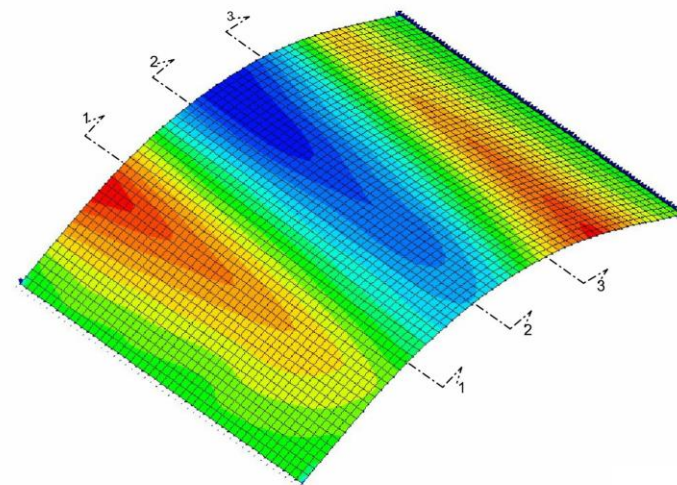
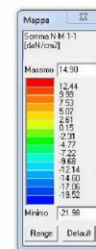
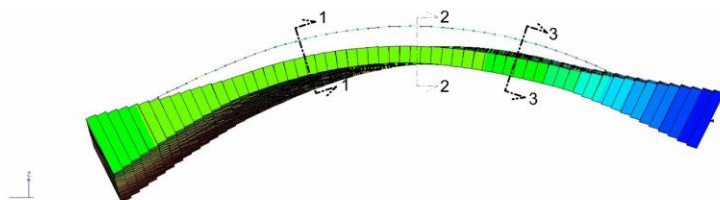
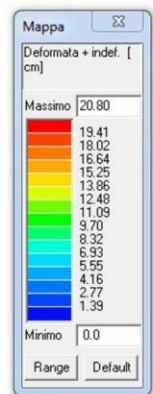
Modello matematico del Ponte



Spostamenti verticali del modello per effetto della variazione termica imposta

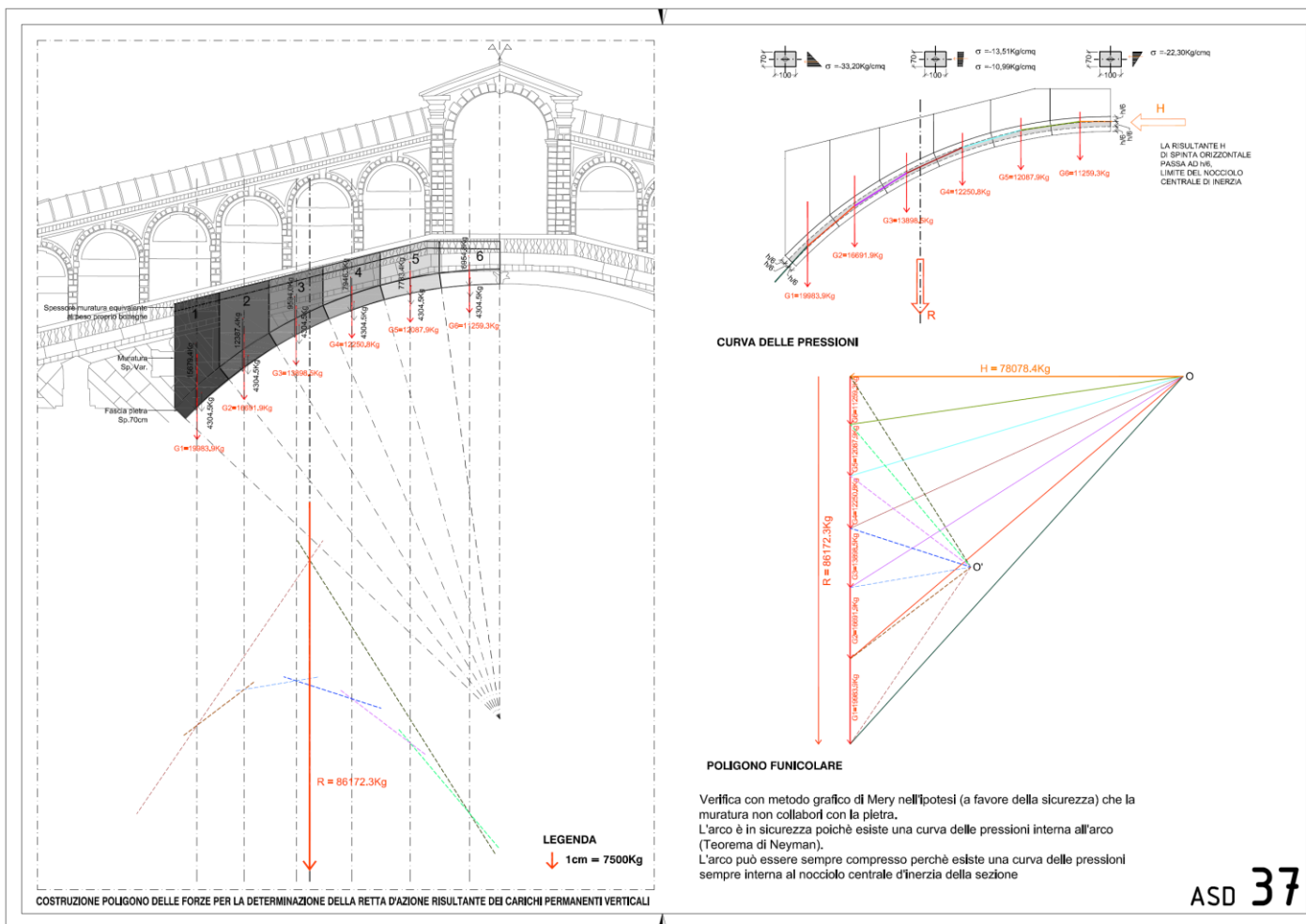


Tensioni superiori muratura



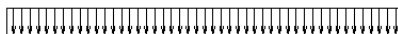
Tensioni inferiori muratura

Analisi F.E.M: del Ponte effettuata considerando gli effetti dei cedimenti fondazionali relativi rilevati

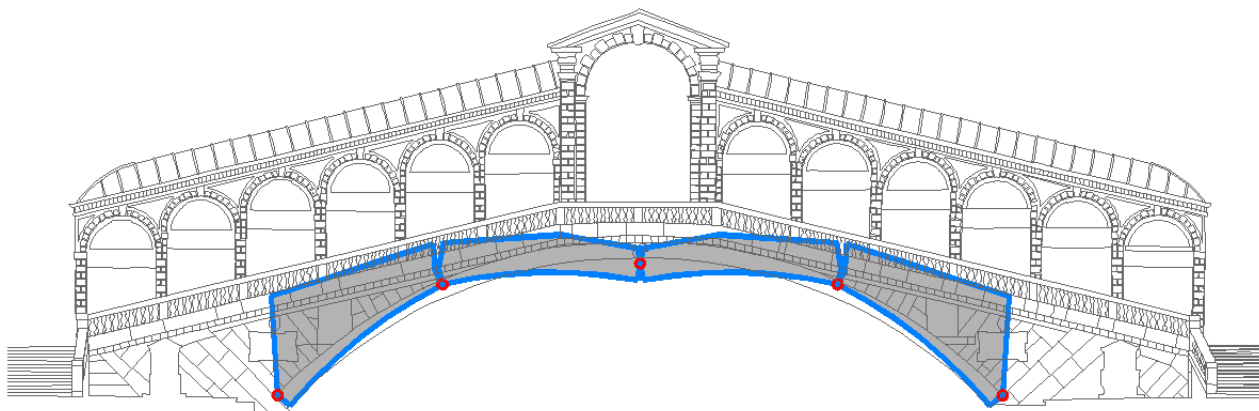


Verifiche statiche con metodo del Mery (curva delle pressioni)

IL PONTE DI RIALTO: analisi preliminare della costruzione



carico critico minimo circa 3 t/mq, unif. distrib. nella zona di mezzeria



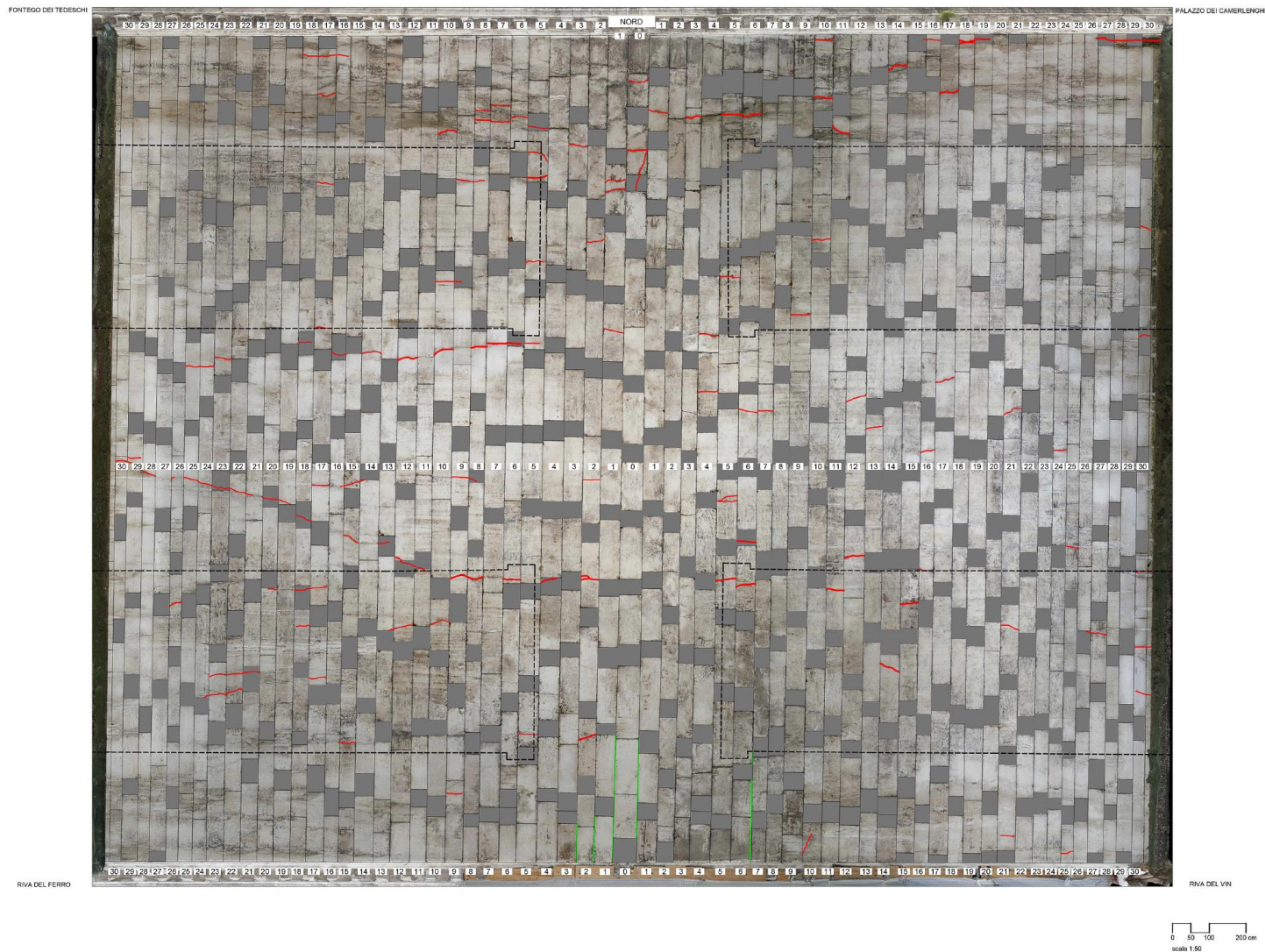
Catena cinematica per il calcolo del carico critico con il principio dei lavori virtuali



0 50 100 200 cm
scala 1:50

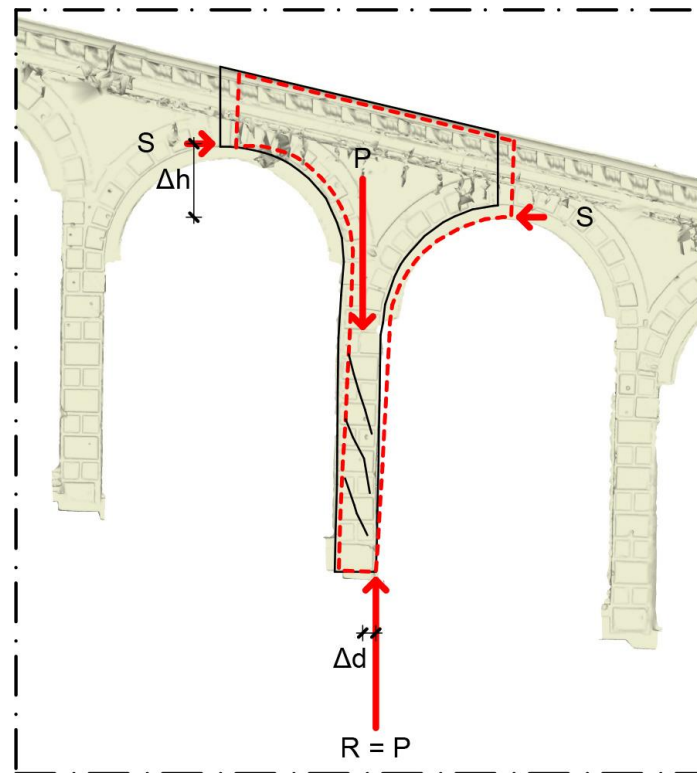
La qualità costruttiva della volta

IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere

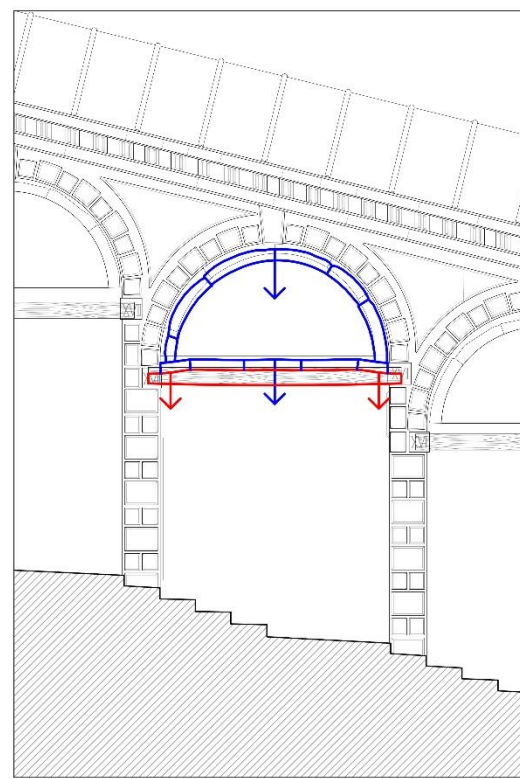
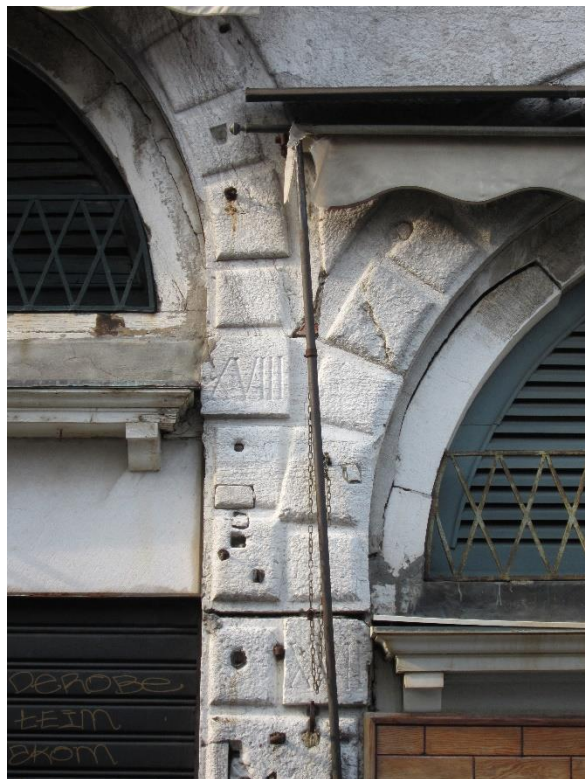


Analisi comparativa fra il quadro fessurativo e la distribuzione delle pietre disposte in chiave

IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere



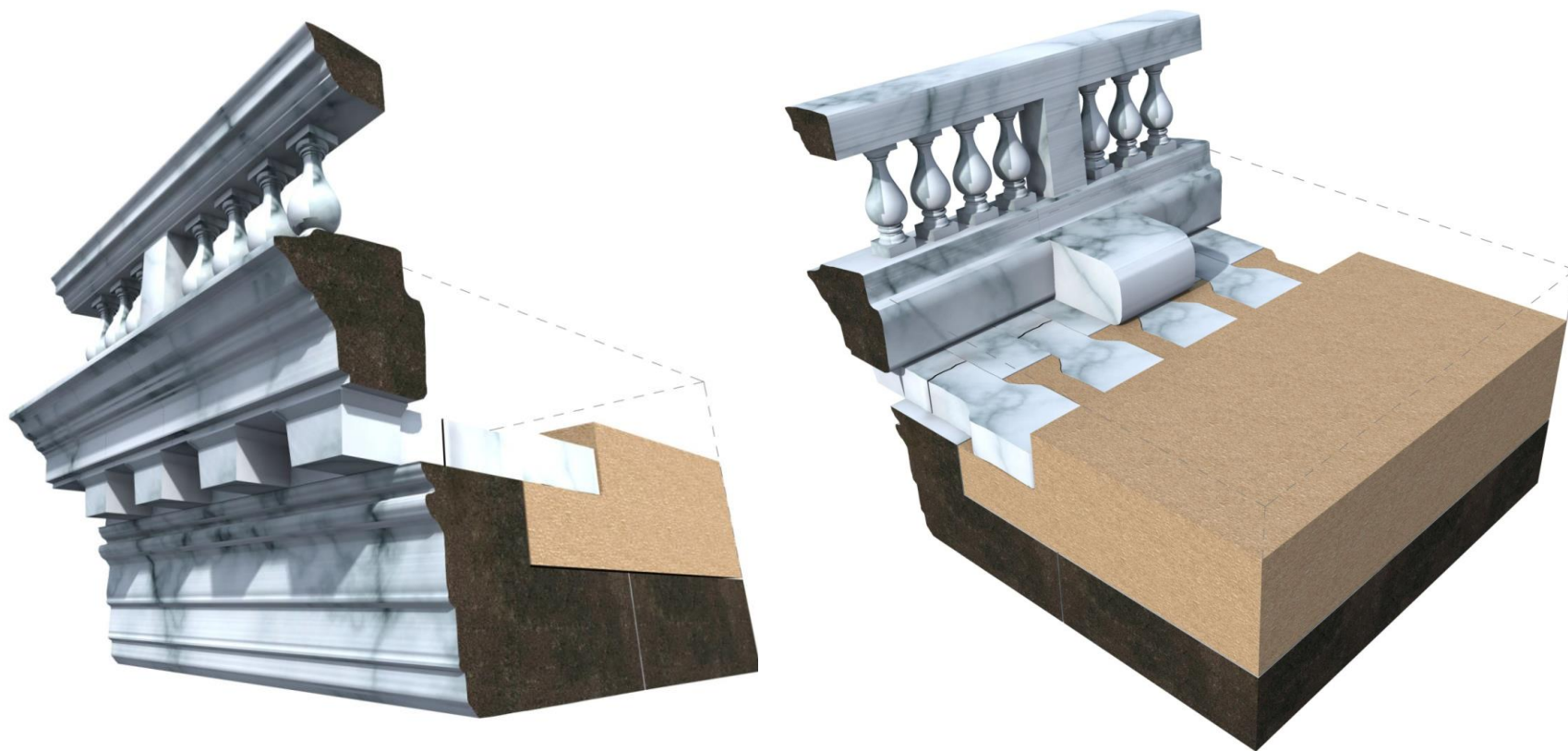
Condizioni di equilibrio statico dei pilastri delle botteghe per disequilibrio delle spinte



Segnali di dissesto sulle facciate delle botteghe



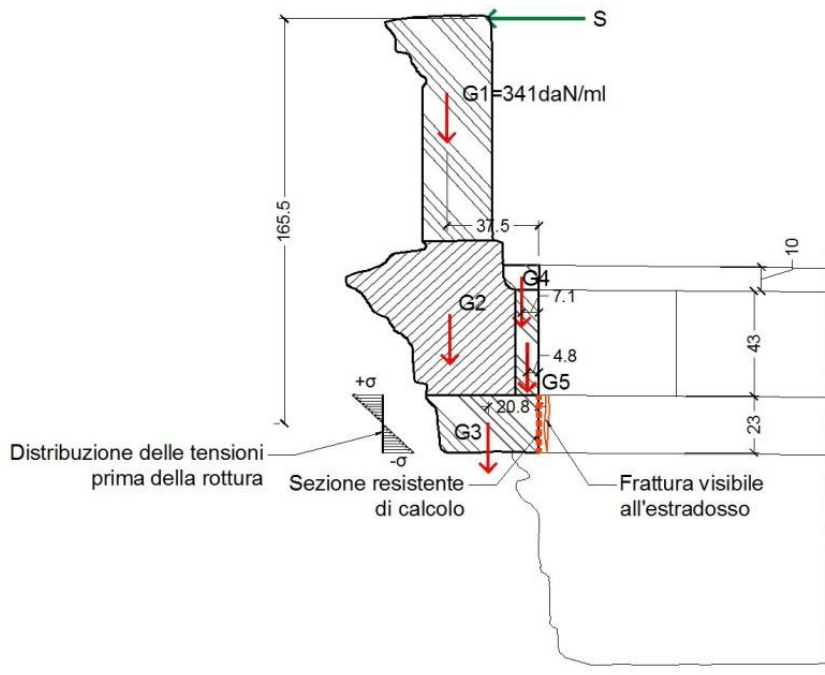
La qualità costruttiva delle facciate e lo stato di conservazione delle travi di imposta degli archi



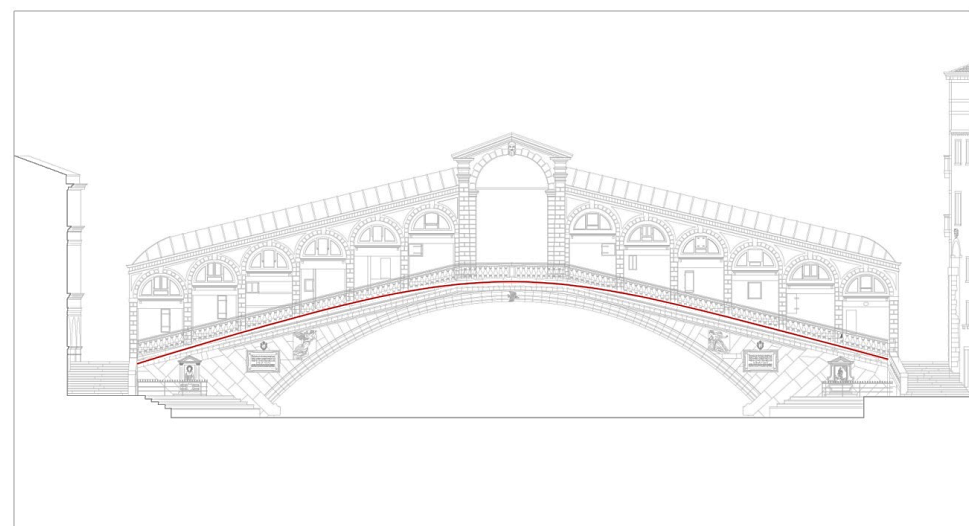
Schema costruttivo delle balaustre



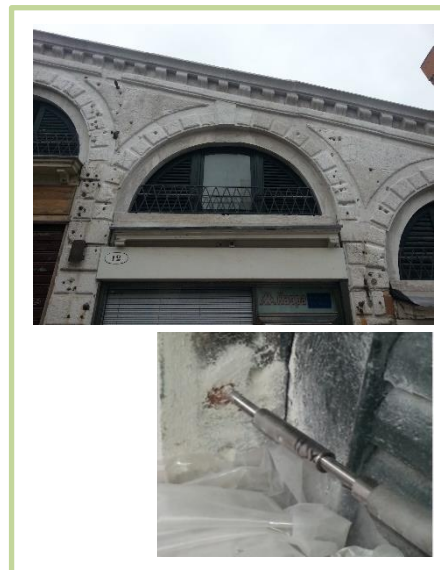
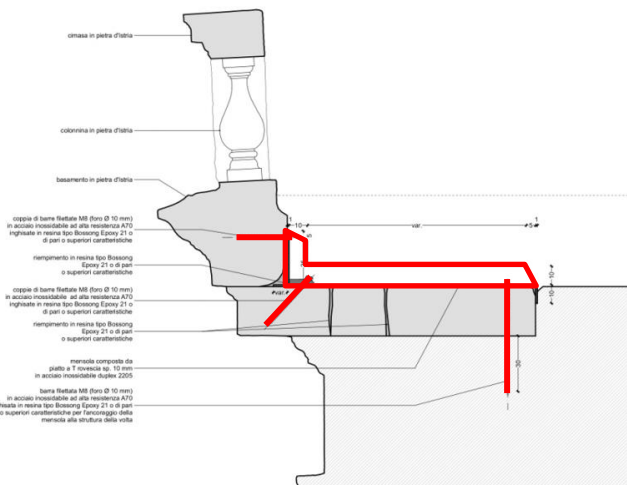
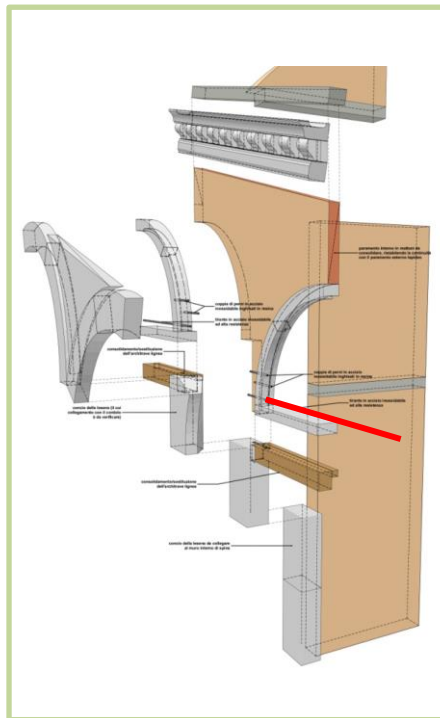
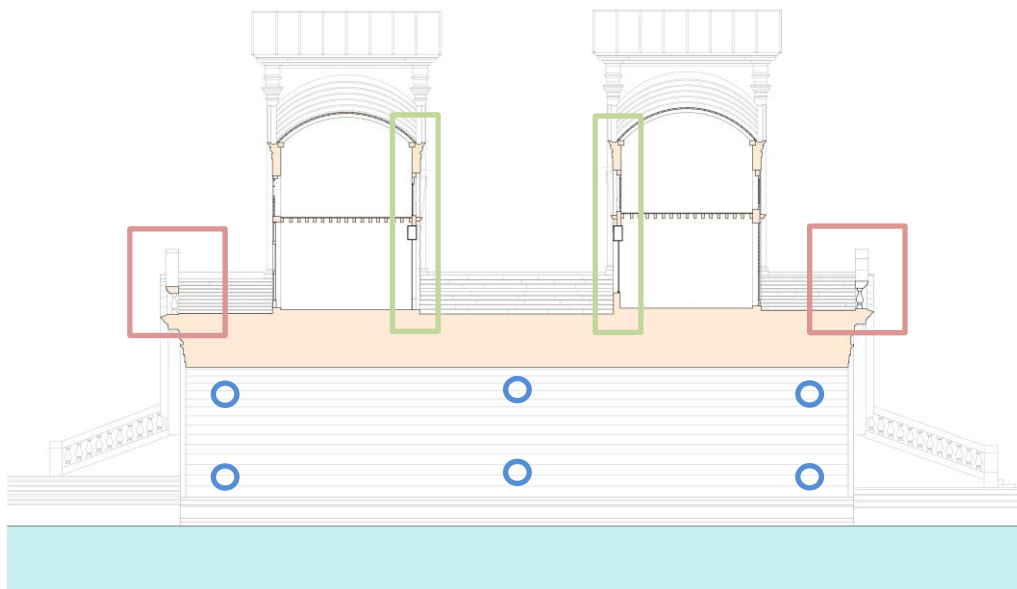
Fratture delle mensole della balaustra



Verifiche di stabilità e di resistenza delle balaustre



Schema resistente alternativo



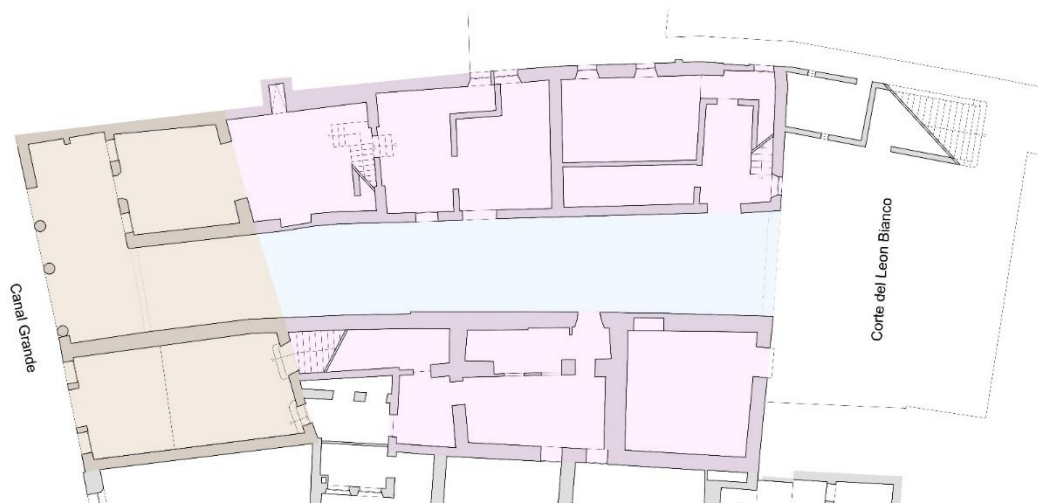
Balaustre: affiancamento delle mensole

Volta: mire per il monitoraggio




Botteghe: posa di tiranti

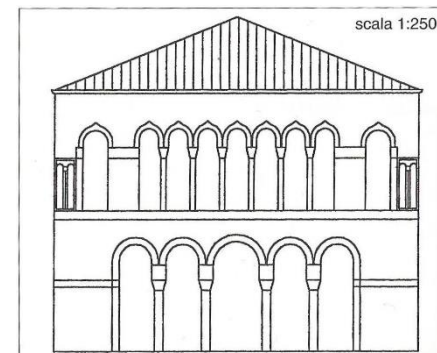


Il restauro di Ca' Da Mosto

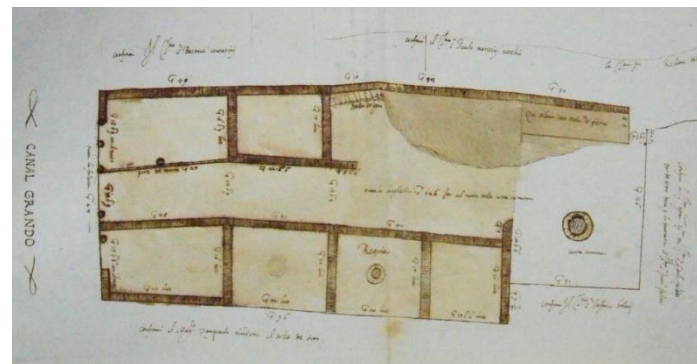


legenda

-  sedime della Domus originaria
-  edifici a saturazione dei lotti posteriori della Domus
-  portego come elemento unificante e di collegamento



ipotesi ricostruttiva di W. Dorigo (da Venezia Romanica, 2003)



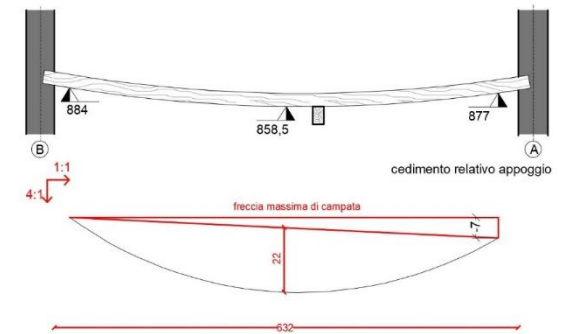
Evoluzione edilizia



Prima dei lavori



Prima dei lavori

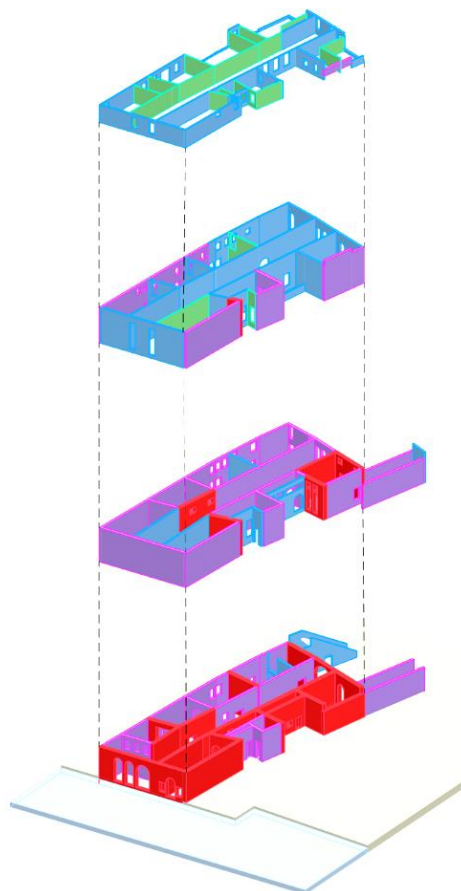




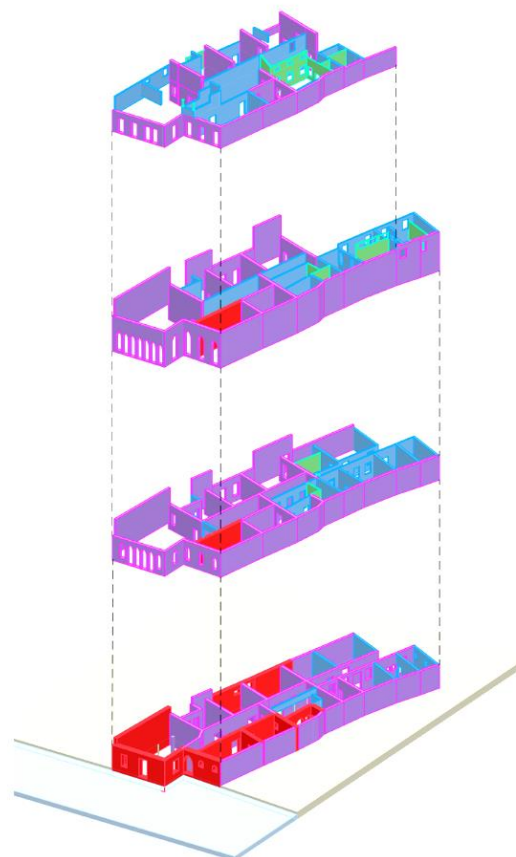
Solai inseriti in epoca recente in pessimo stato di conservazione



Antica sapienza costruttiva nelle incavallature del tetto



schema spessore muri Ca' Da Mosto

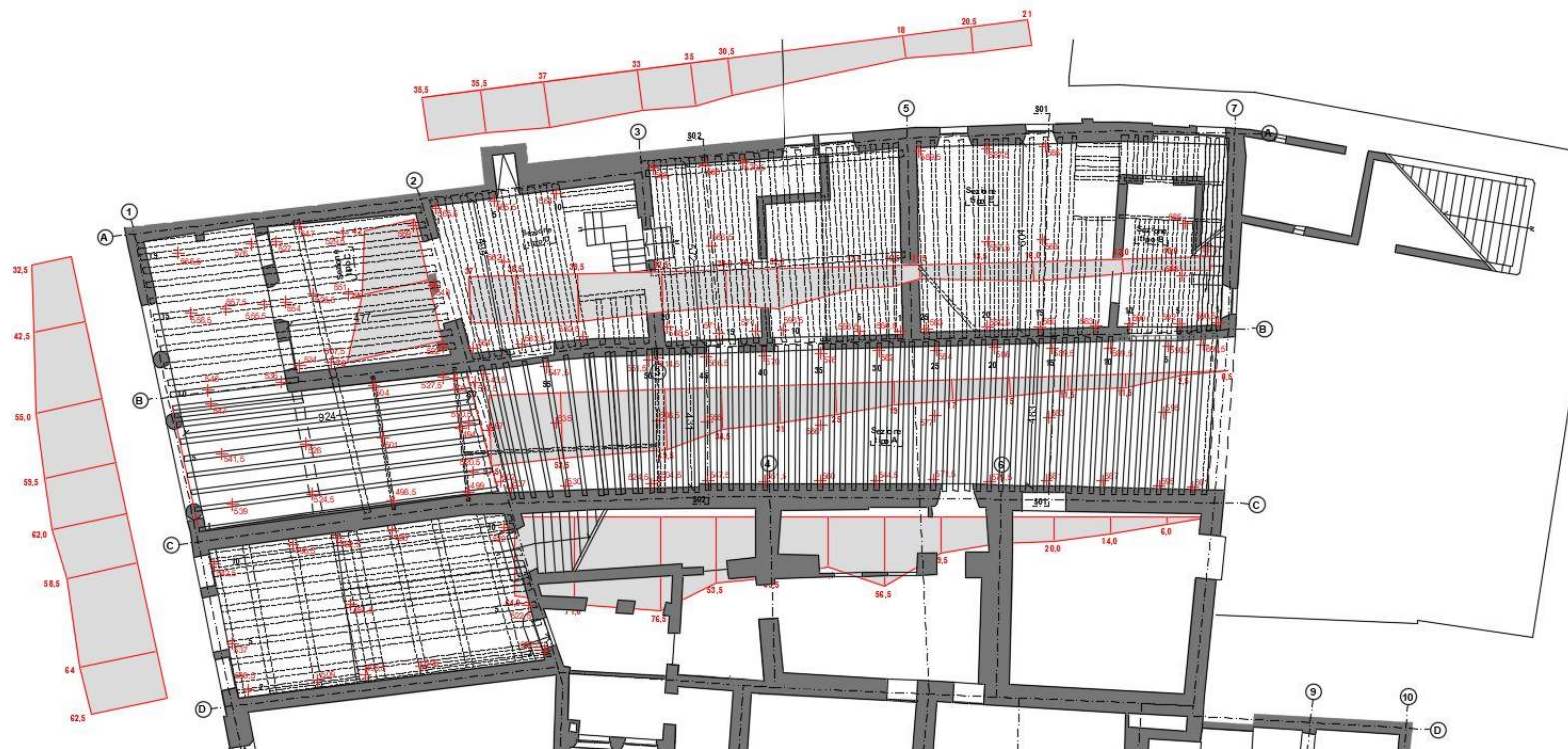


schema spessore muri Ca' Dolfin

Spessori muri principali

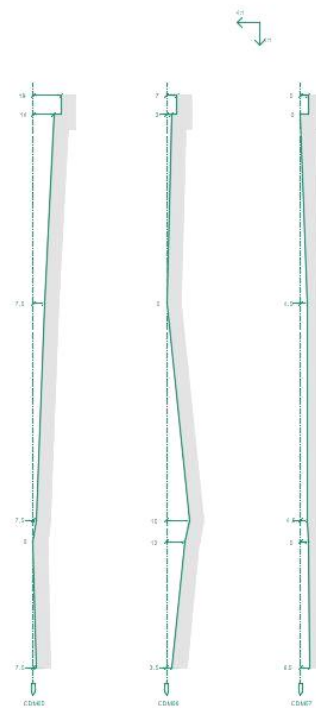
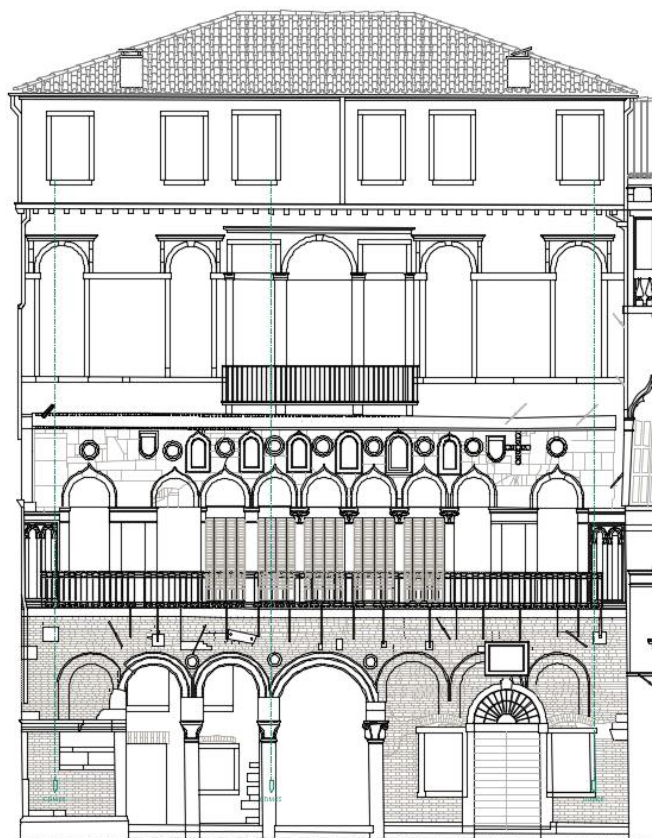
- Muro a 4 teste o superiore (sp. ≥ 52 cm)
- Muro a 3 teste (sp. ~ 39 cm)
- Muro a 2 teste (sp. ~ 26 cm)
- Muro di spessore < 26 cm



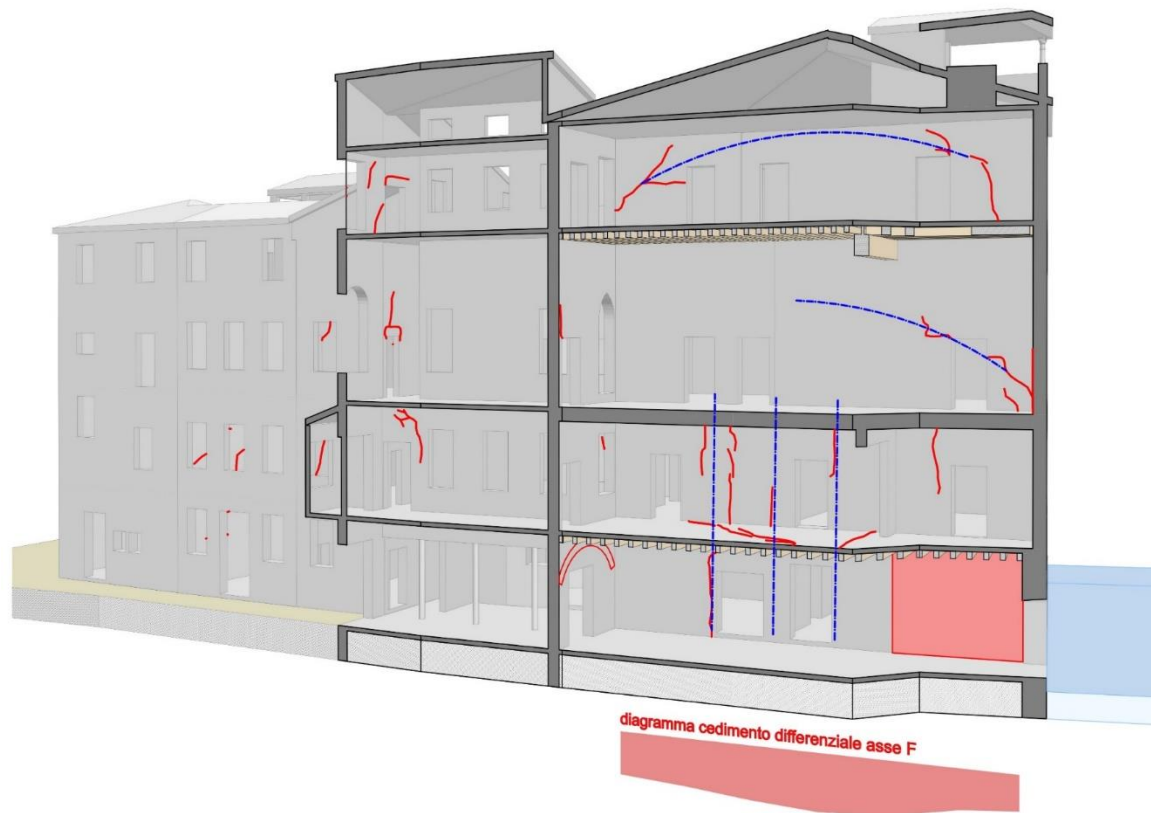


Analisi critica dei dissesti: rilievo dei cedimenti differenziali

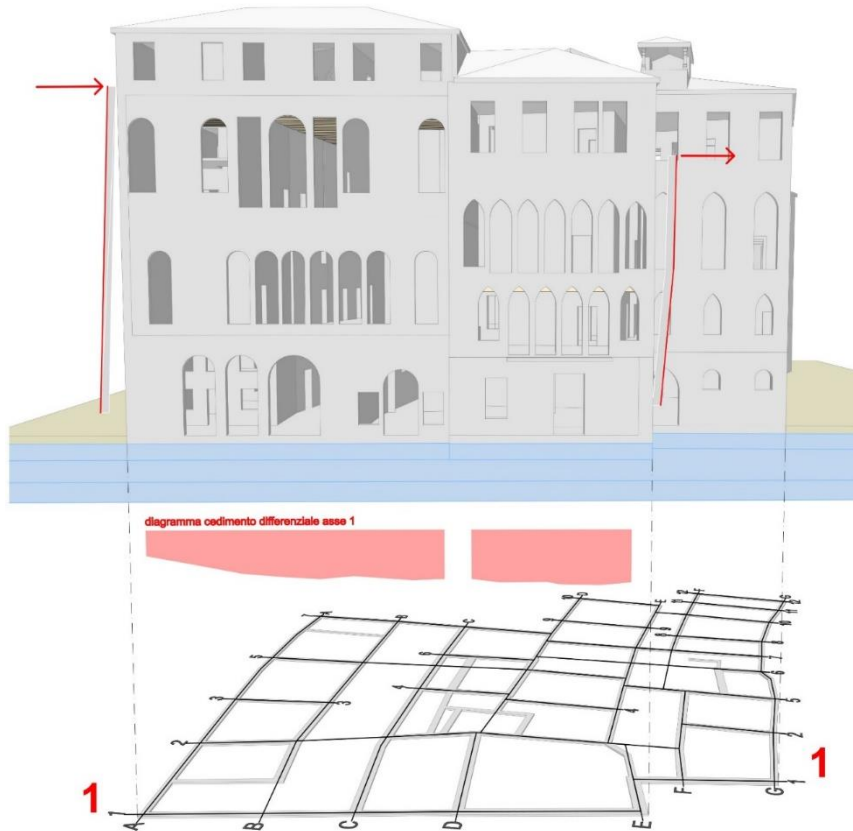
CA' DA MOSTO: analisi preliminare della costruzione



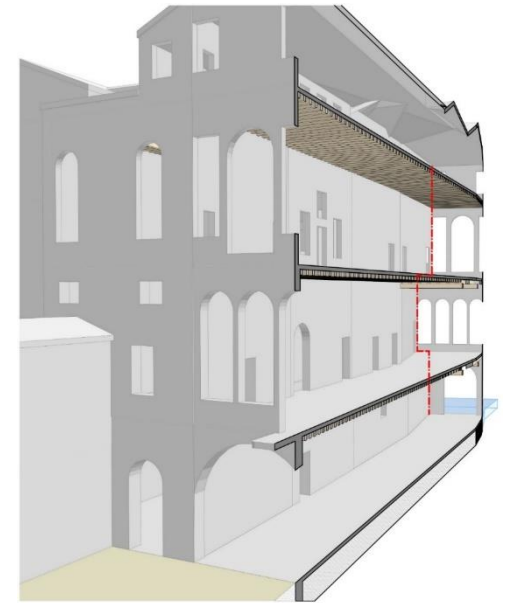
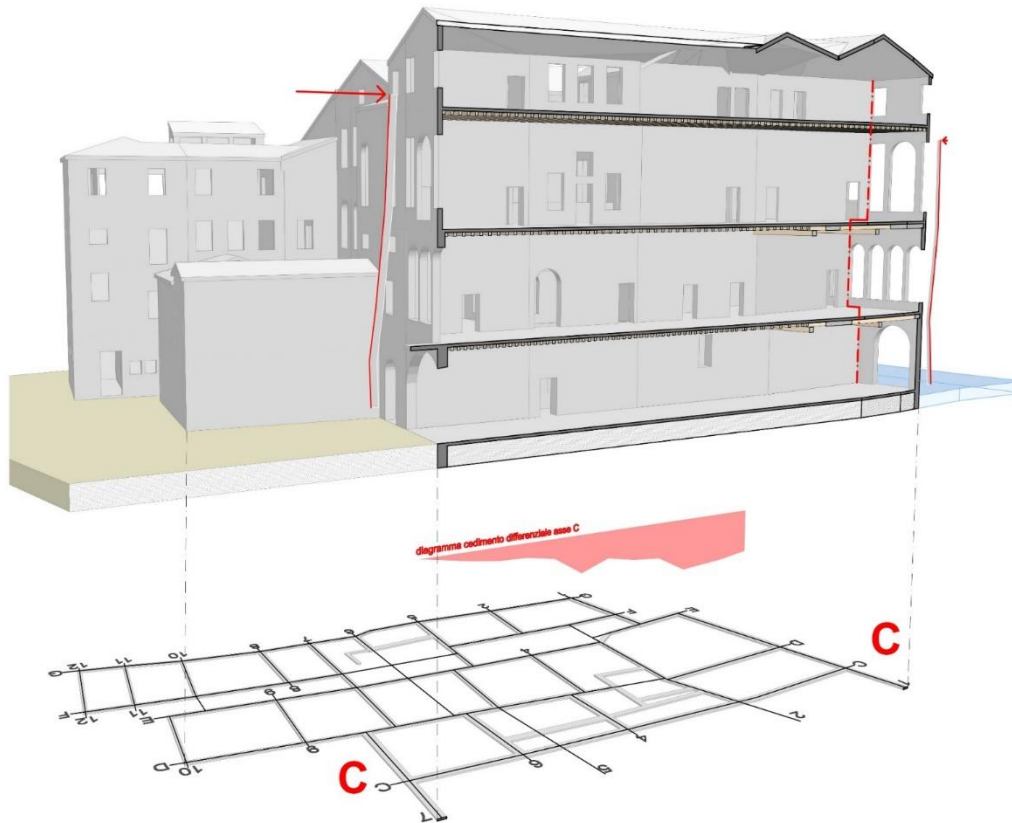
Analisi critica dei dissesti: fuori verticalità delle facciate



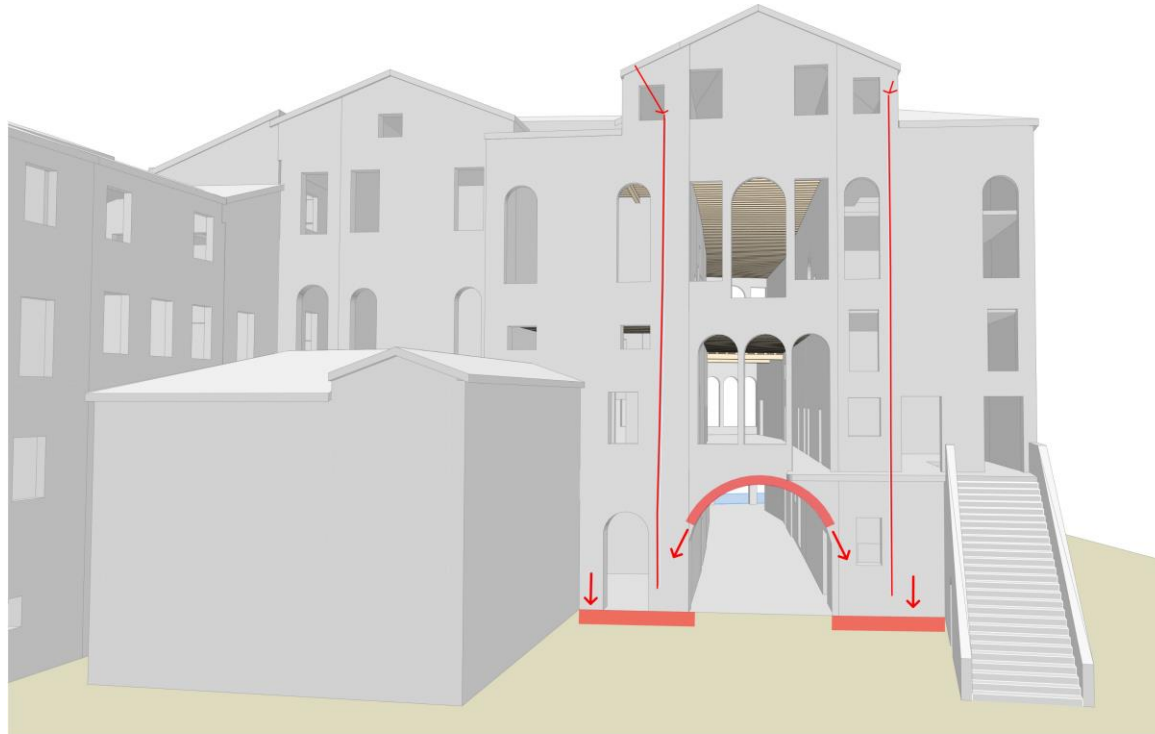
Analisi critica dei dissesti: quadro fessurativo



Analisi critica dei dissesti: deformazioni nel proprio piano
delle facciate del complesso edilizio di Ca' da Mosto e Ca' Dolfin

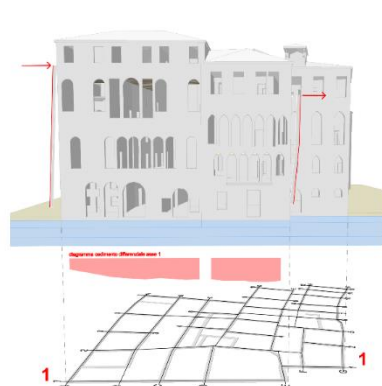


Analisi critica dei dissesti: deformazioni nel proprio piano
della parete di spina (in falso) di Ca' da Mosto

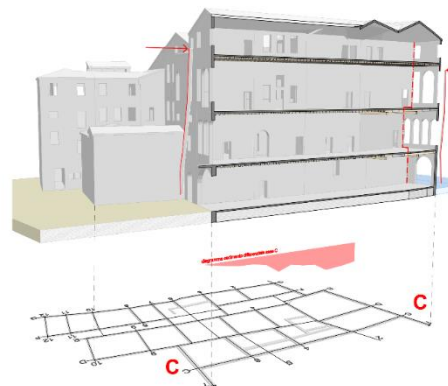


modello: arco di scarico del portego passante
L'adozione del modello ad arco sembra confermare la preesistenza di due corpi edilizi distinti, integrati poi dal portego

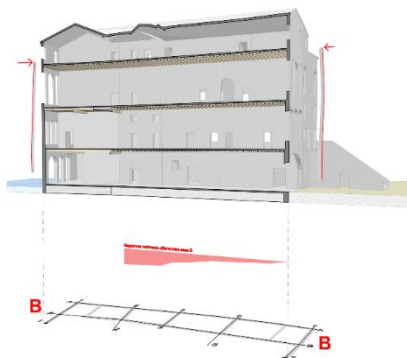
Analisi critica dei dissesti: soluzione statica adottata per l'integrazione del volume del *portego* con le cassette preesistenti a formare l'edificio tripartito



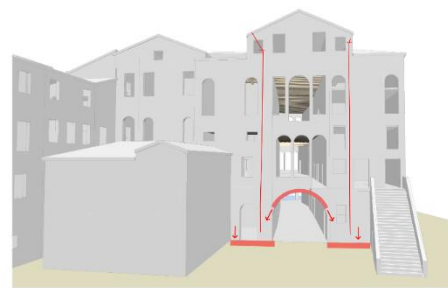
modello: correlazione tra fuori verticalità e cedimenti della facciata sul Canal Grande



modello: correlazione tra fuori verticalità e cedimenti della parete di via San Luigi, Piazza D.
Quadrante verticale tra i piani della parete di via San Luigi, Piazza D. e 22 e corrispondenza fuori verticalità della facciata sul Canal Grande

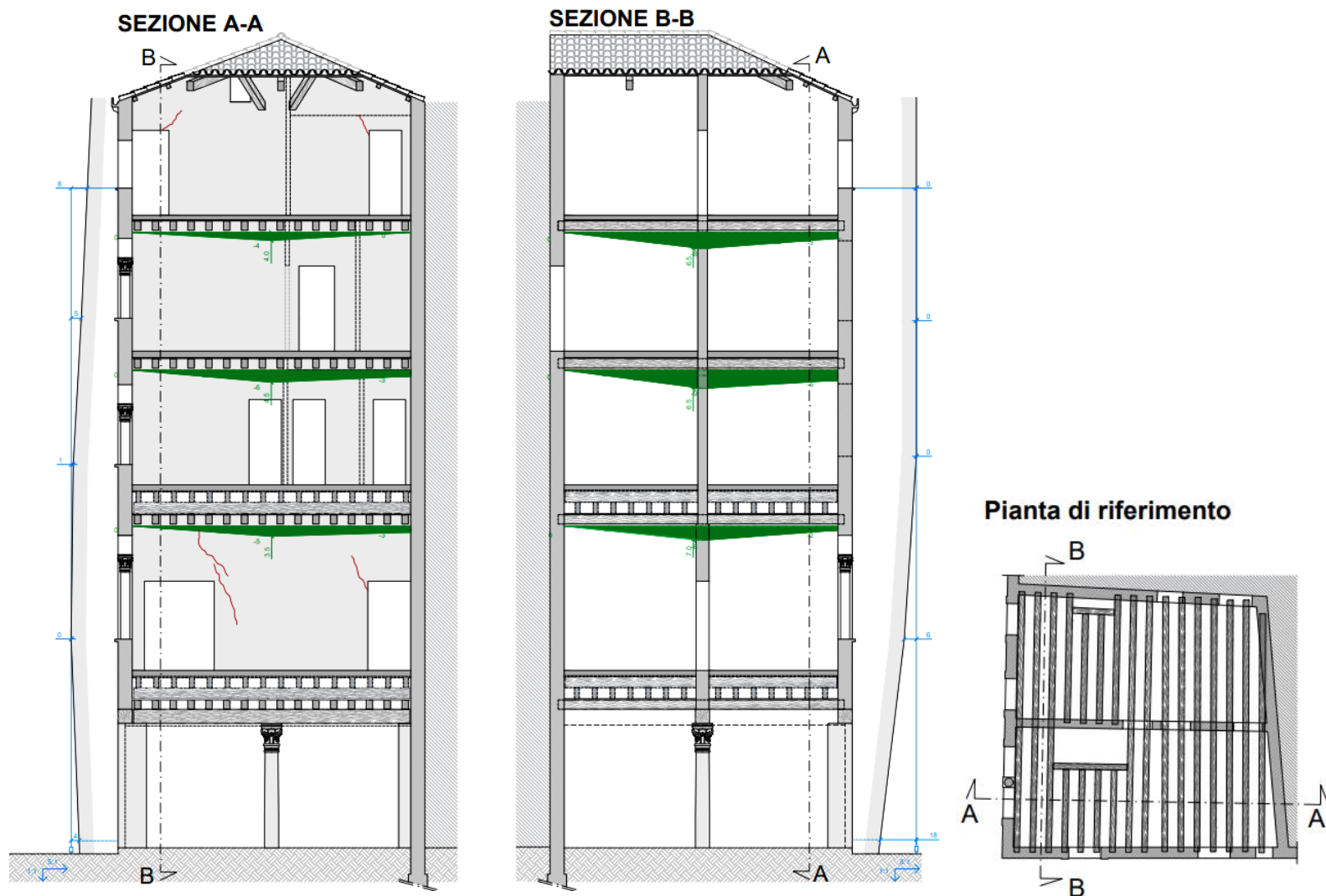


modello: correlazione tra fuori verticalità e cedimenti della parete di via San Luigi, Piazza D.

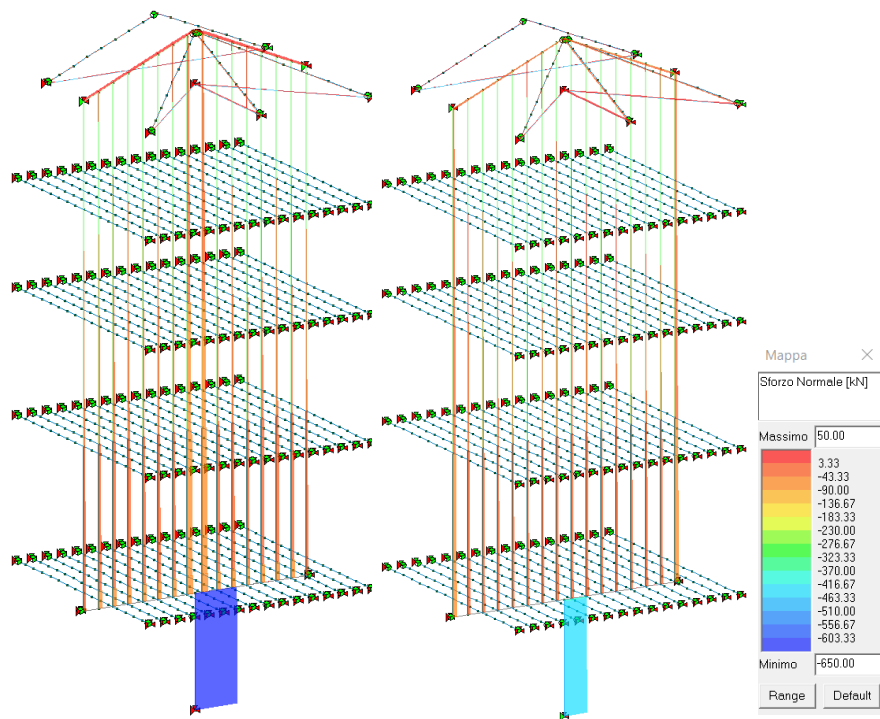


modello: area di scarico del portico superiore
L'area di scarico del portico superiore è in posizione di
scarico sulla parete di via San Luigi, Piazza D.

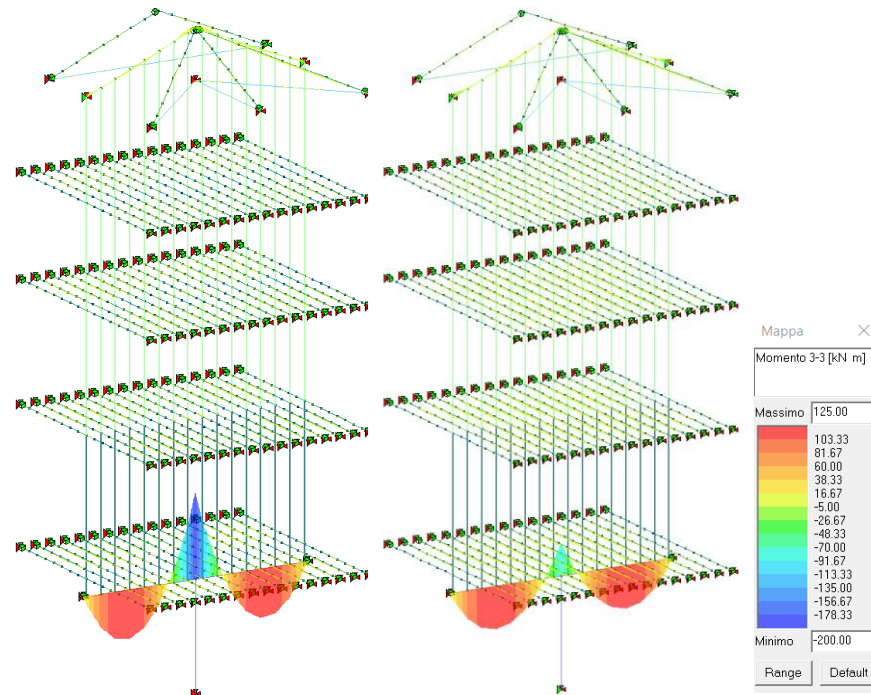
Analisi critica dissesti: quadro d'insieme delle deformazioni del complesso
edilizio di Ca' da Mosto e Ca' Dolfin



Analisi critica dei dissesti: rilievo delle deformazioni flessionali dei solai dei piani superiori per valutare la sollecitazione della colonna e dell'architrave del piano terra



decremento della sollecitazione di compressione sulla colonna da
65 000 kg a 43 000 kg (riduzione del 33%)

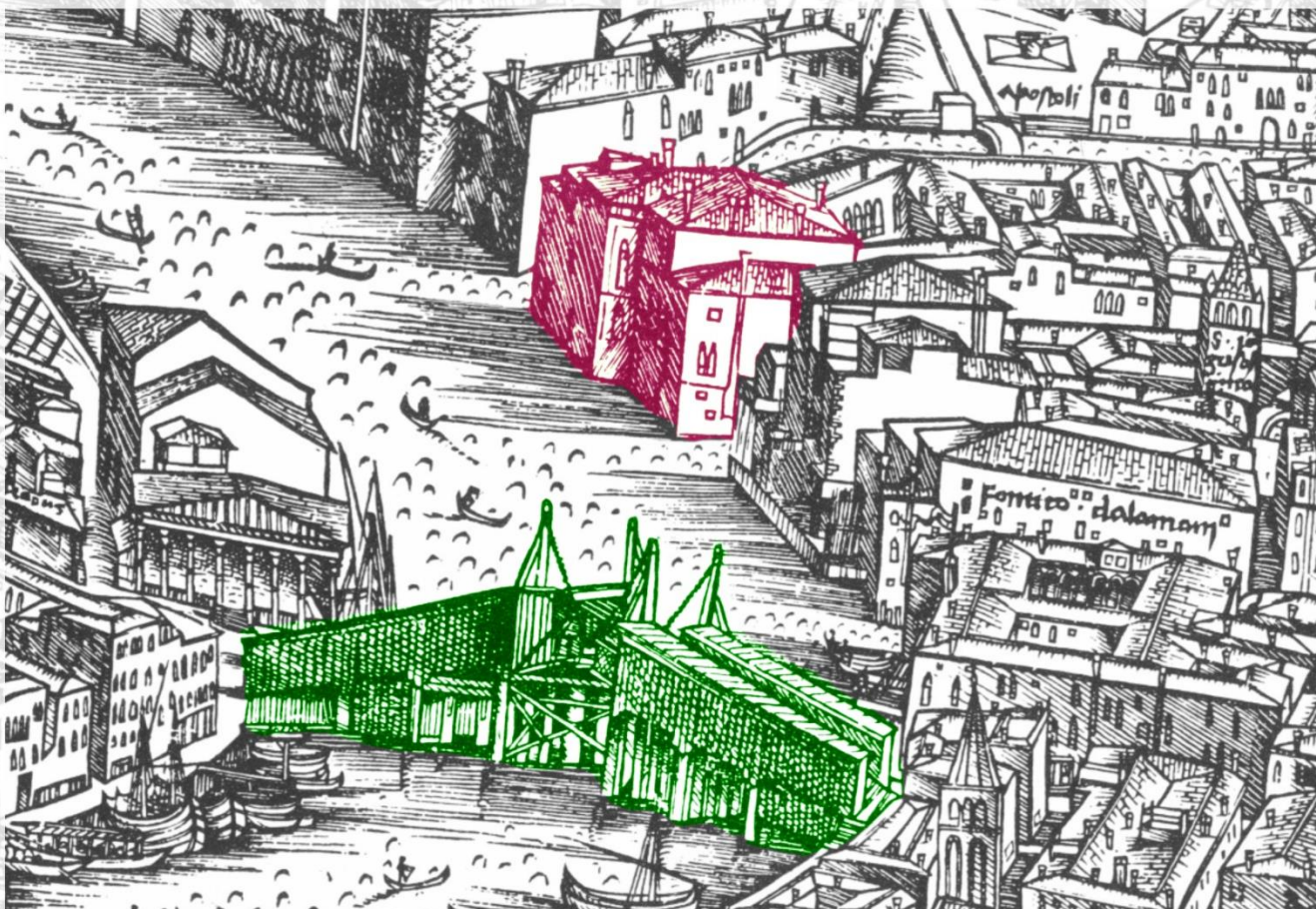


decremento del picco di sollecitazione flettente negativa sull'architrave
lignea da 199 000 kg·m a 96 000 kg·m (riduzione di oltre il 50%)

Analisi critica dei dissesti: confronto tra modello con vincolo fisso (ideale)
e vincolo cedevole (aderente alla realtà)



CA' DA MOSTO: schema degli interventi di consolidamento



Grazie per l'attenzione