

**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)



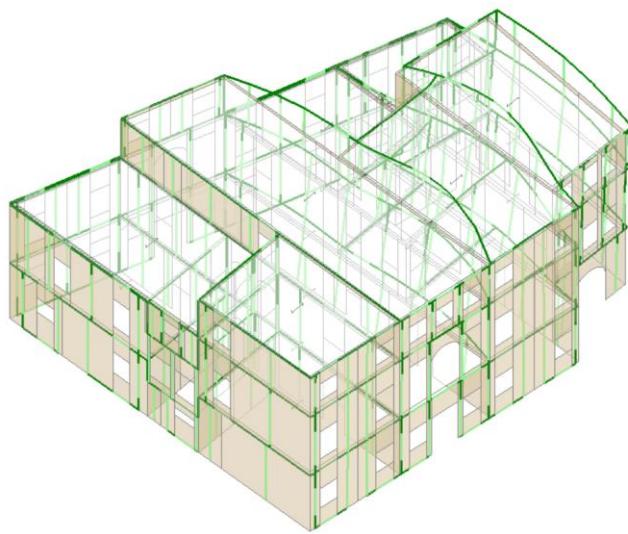
*Quadro fessurativo
Fuori verticalità delle murature
Fuori orizzontalità di elementi
strutturali ed architettonici omologhi
Linee deformate dei solai
Curvatura delle volte*

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

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

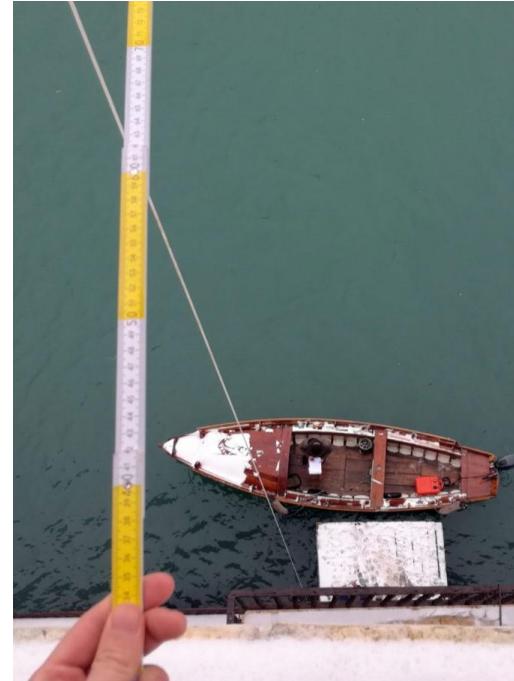
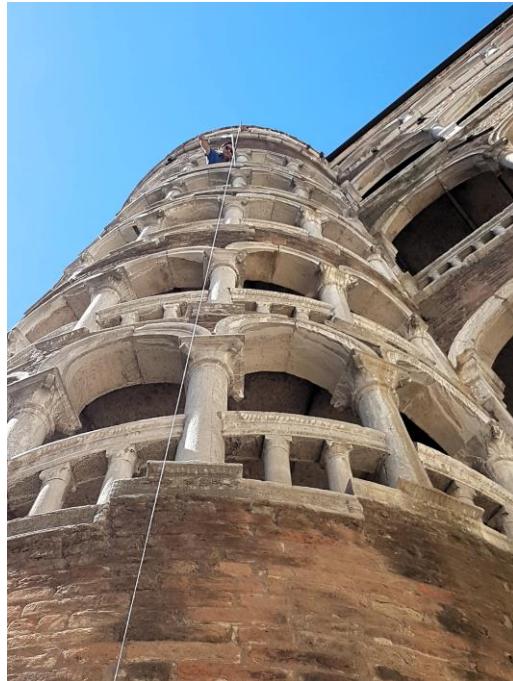
Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

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)	$F_{C2} = 0.06$
Proprietà meccaniche dei materiali	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)	$F_{C2} = 0$
	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	$F_{C3} = 0.12$
Terreno e fondazioni	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0.06$
	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0$
	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	$F_{C4} = 0$

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

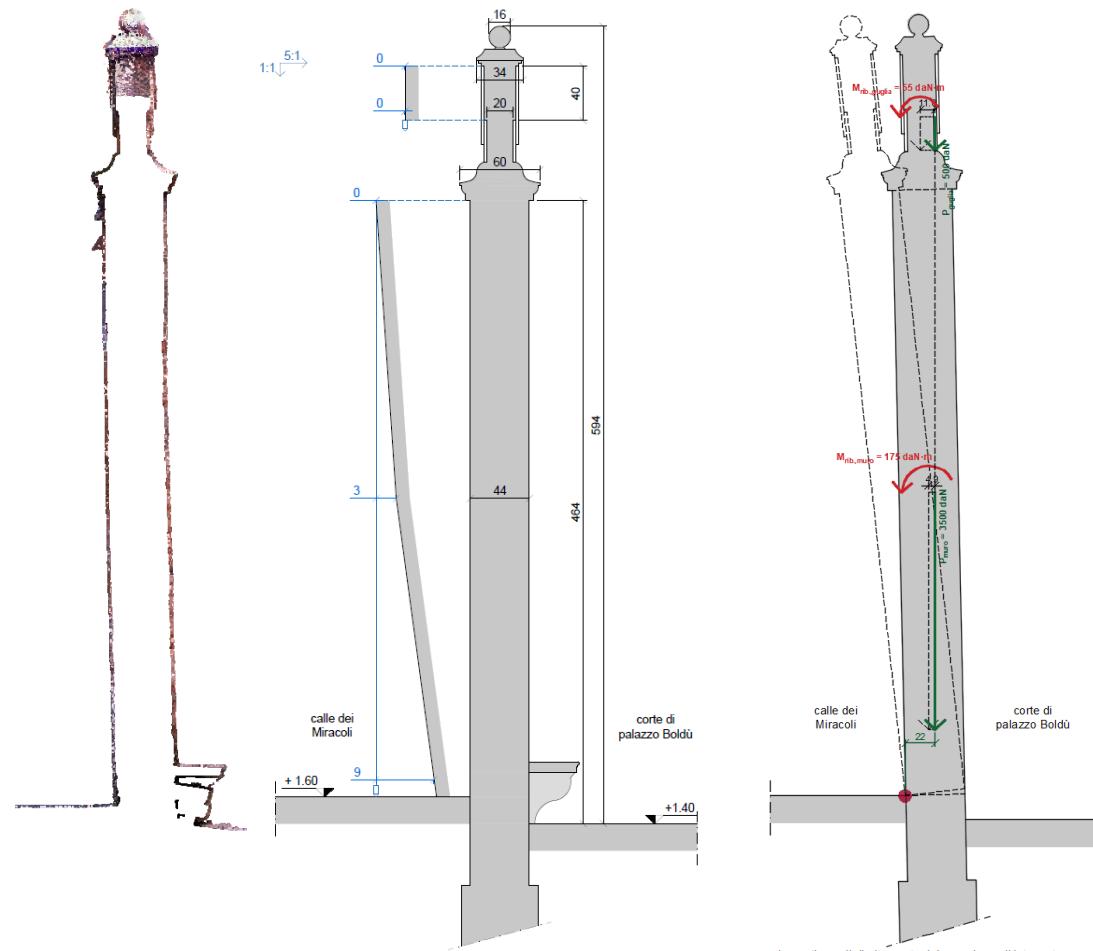
Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

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

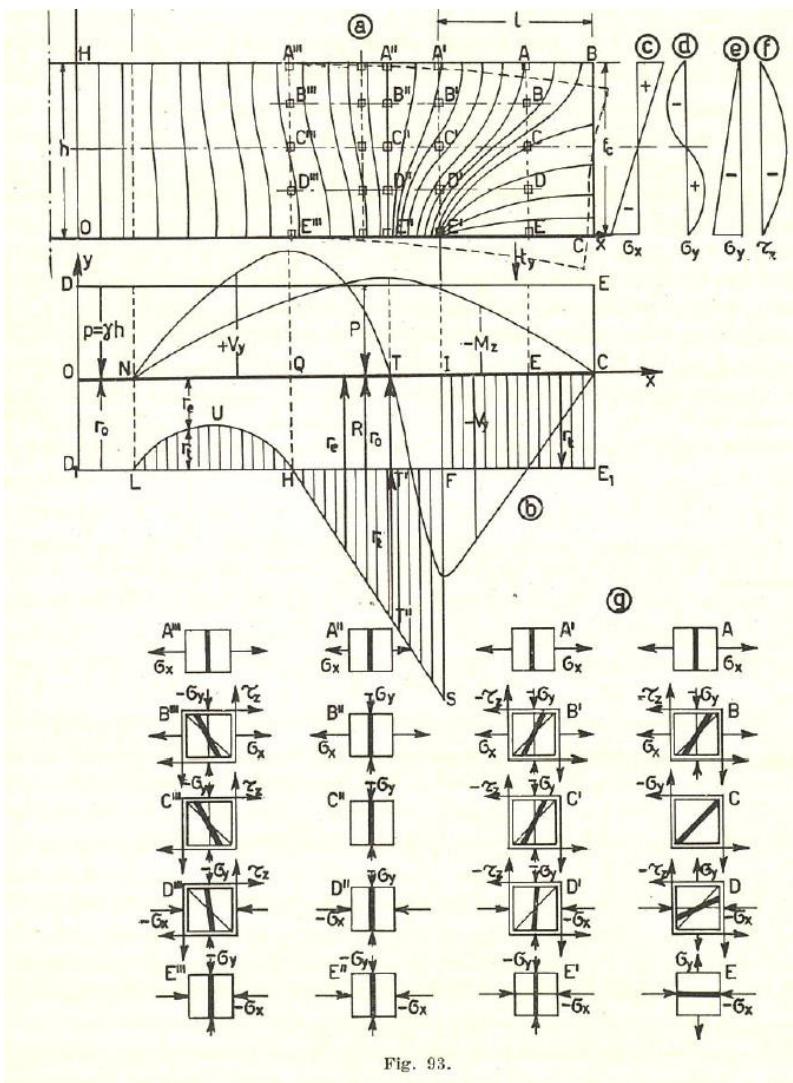
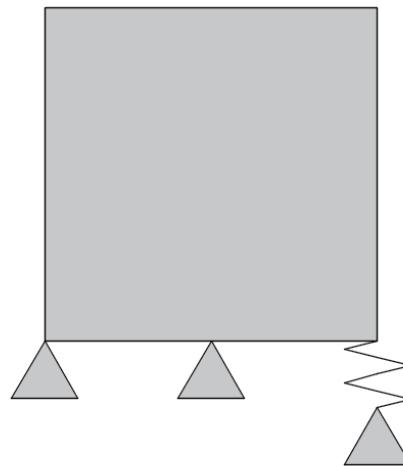
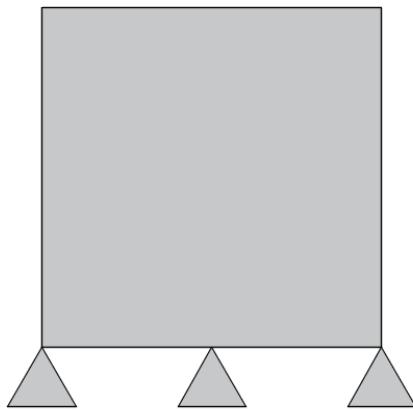


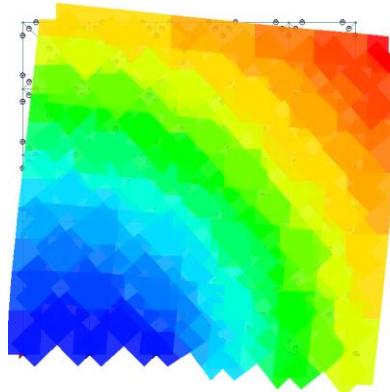
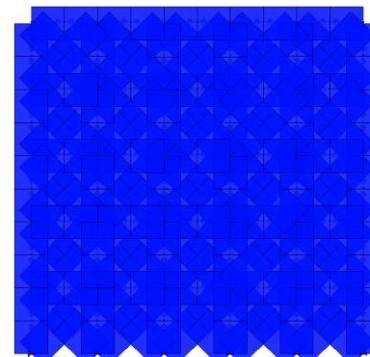
Fig. 93.

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

Incidenza del quadro deformativo nei flussi tensionali



Schema statico



Configurazione deformata

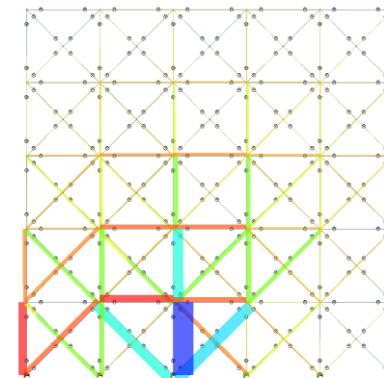
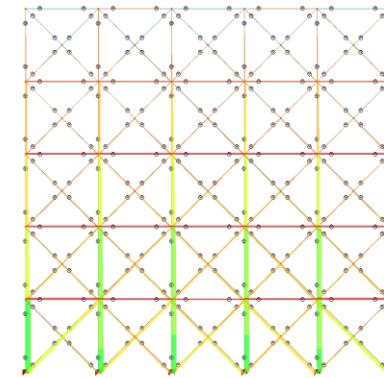
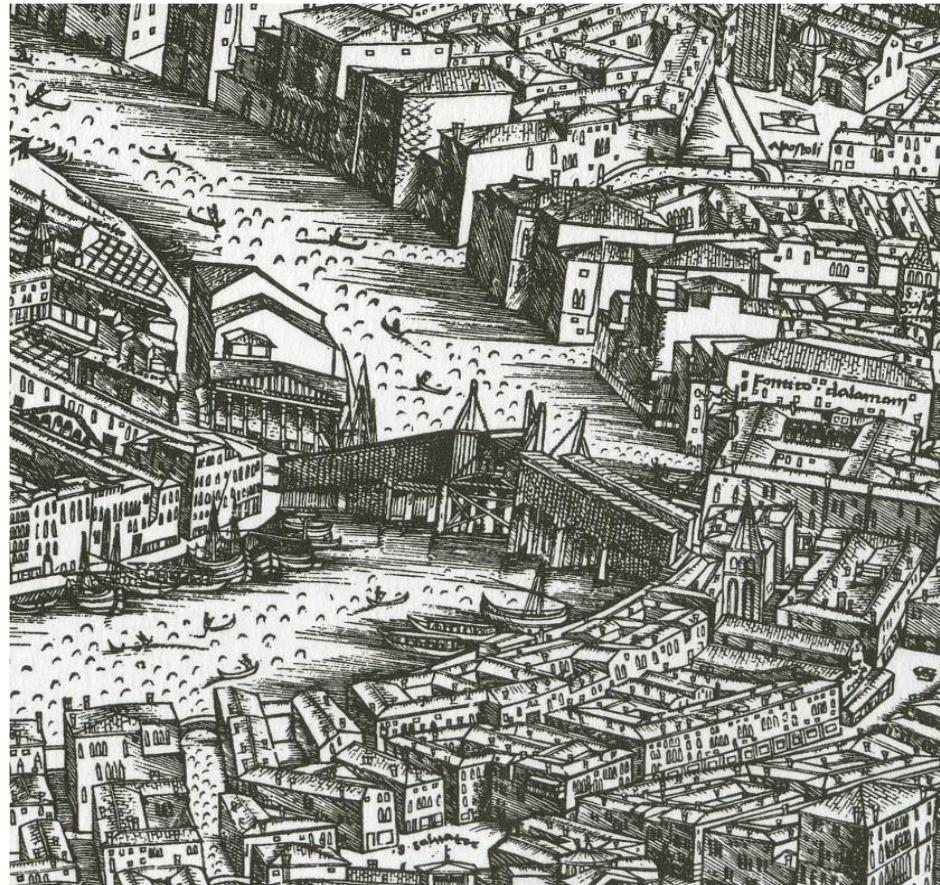


Diagramma dello sforzo normale

Incidenza del quadro deformativo nei flussi tensionali

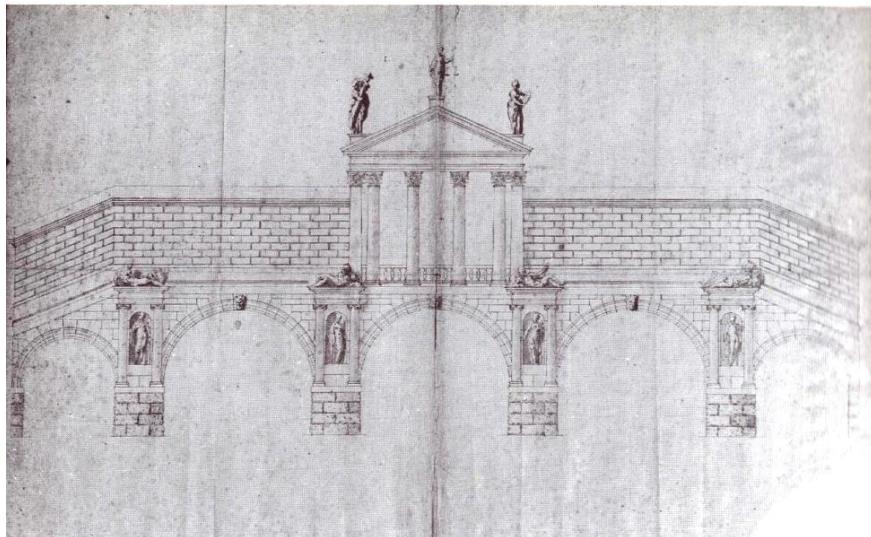


IL RESTAURO DEL PONTE DI RIALTO

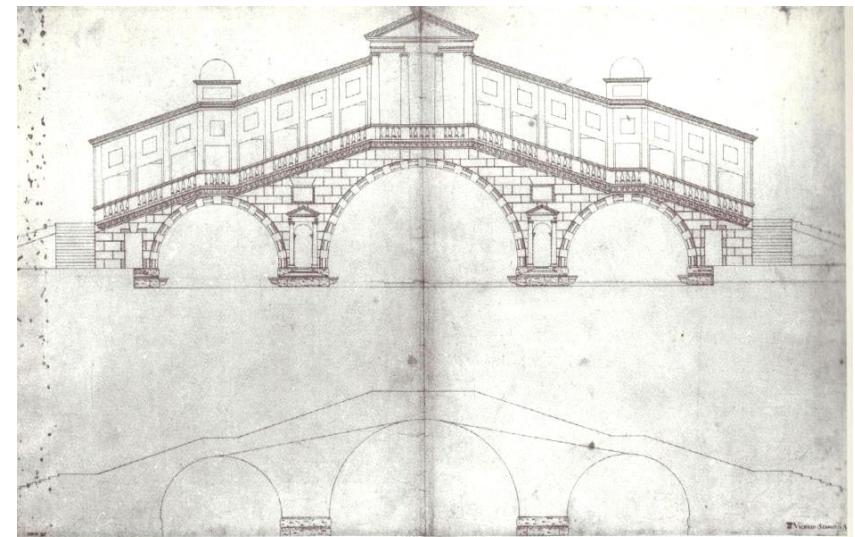


Jacopo De' Barbari particolare della veduta di Venezia, 1500

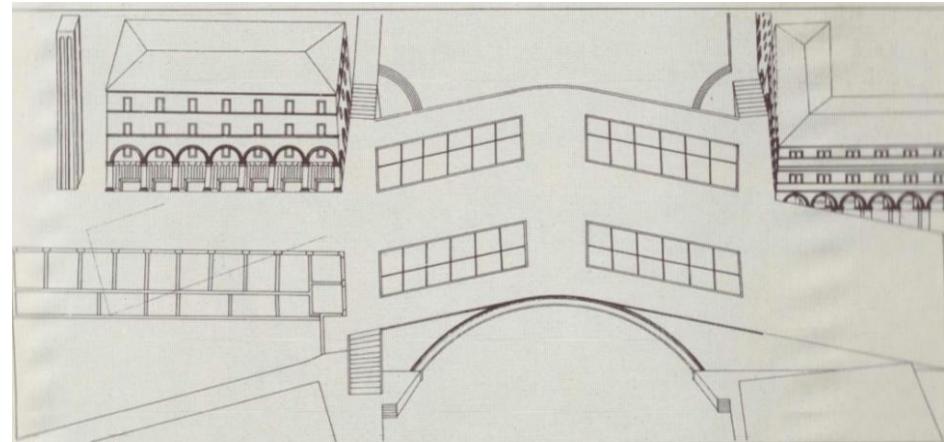
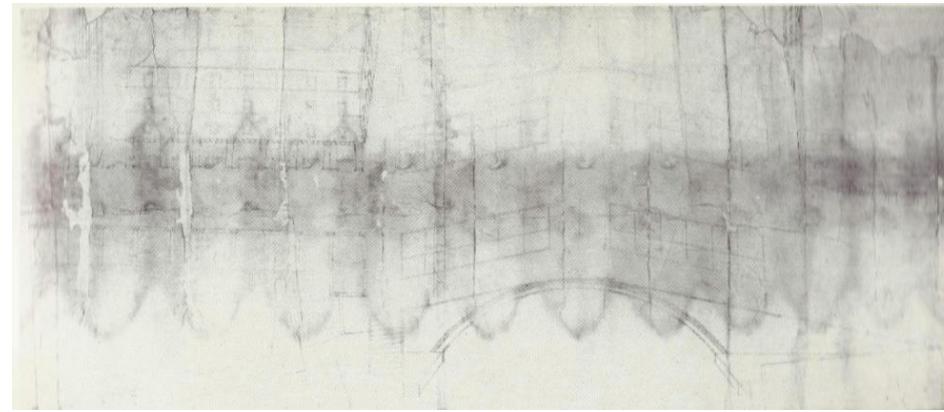
IL PONTE DI RIALTO: analisi preliminare della costruzione



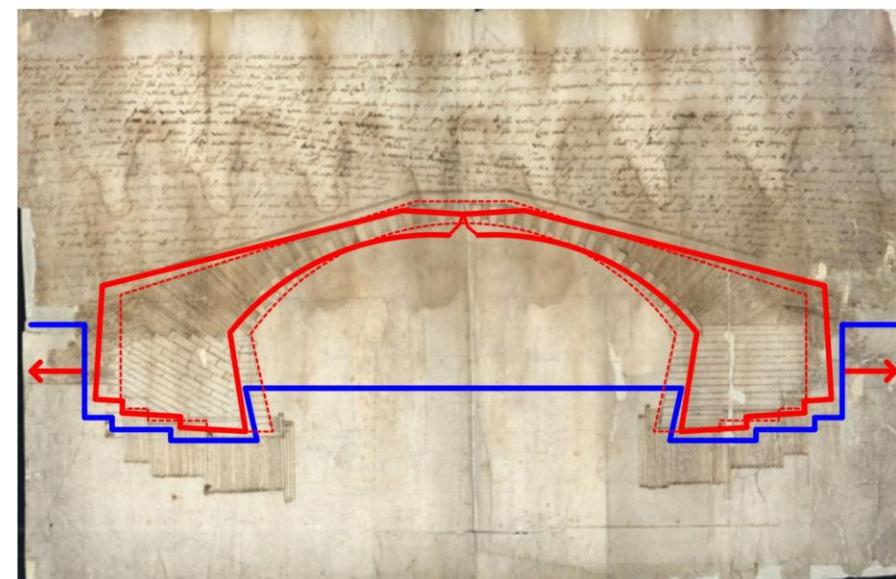
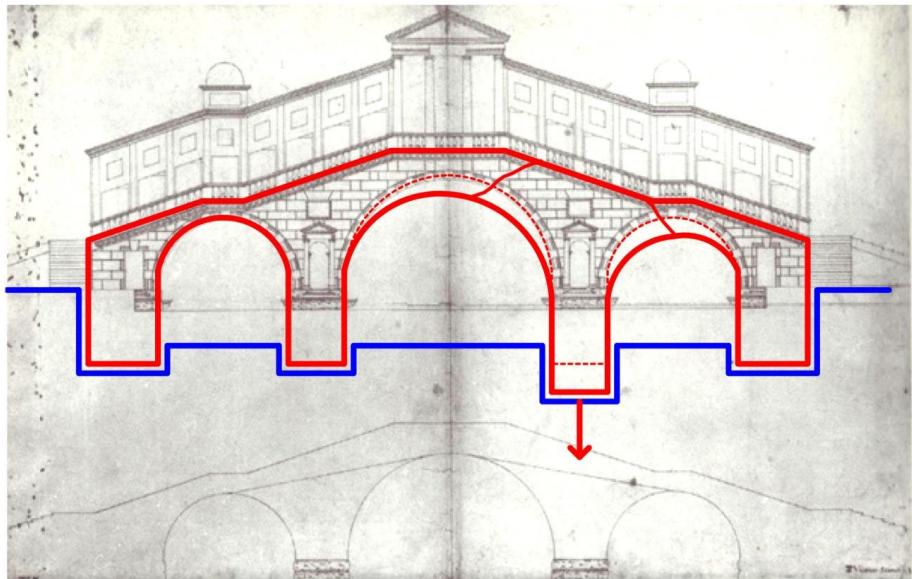
Ponte a cinque arcate: il progetto di Andrea Palladio (1550 – 1554)



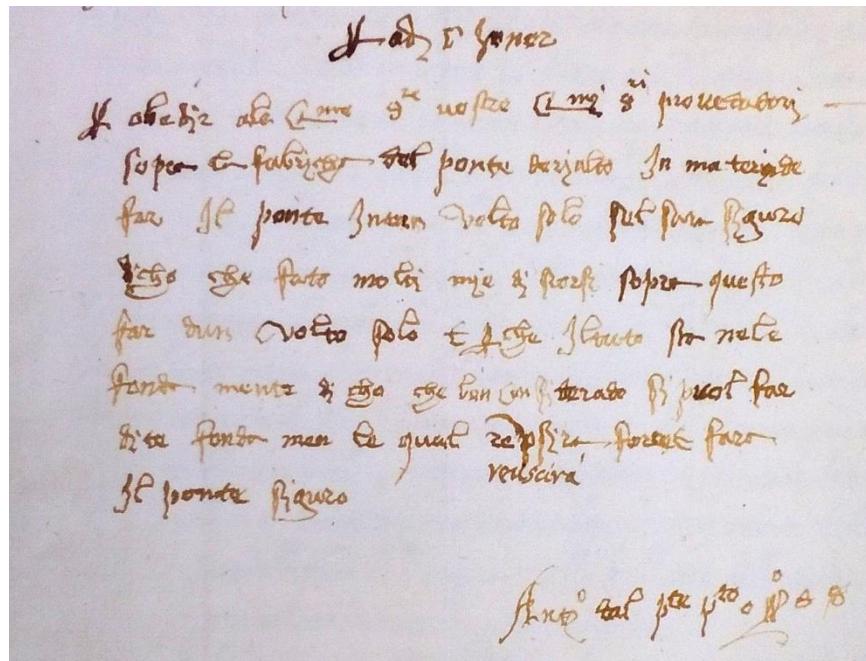
Ponte a tre arcate: il progetto di Vincenzo Scamozzi (1587)



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

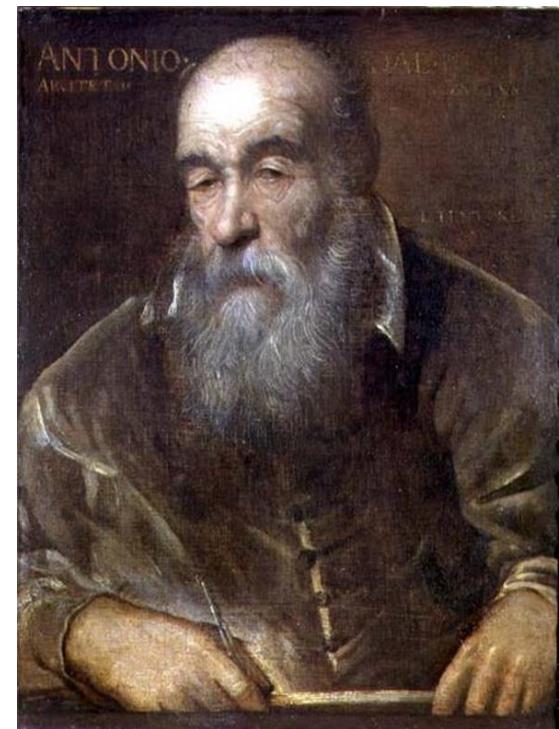


Antonio da Ponte — presentata a 7 gennaio 1587.

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 sìguro, dico che, fatto molti miei discorsi sopra questo far d'un volto solo, et perchè il tuto sta nele fondamente, dico che, ben considerado, si puol far dite fondamente, le qual reuscirà forte, e fare il ponte sìguro.

Antonio da Ponte, proto, oss. suo servitor.

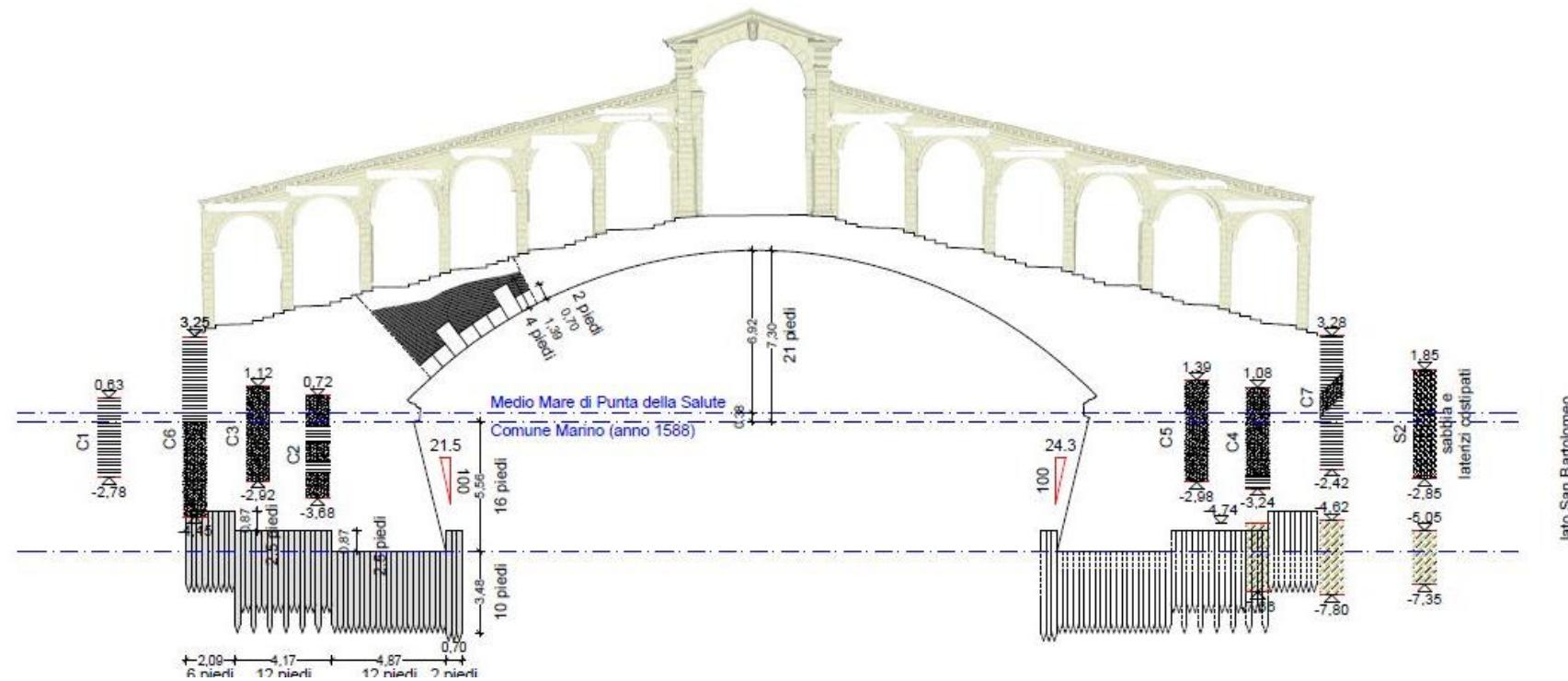


Antonio da Ponte (1512 – 1597)

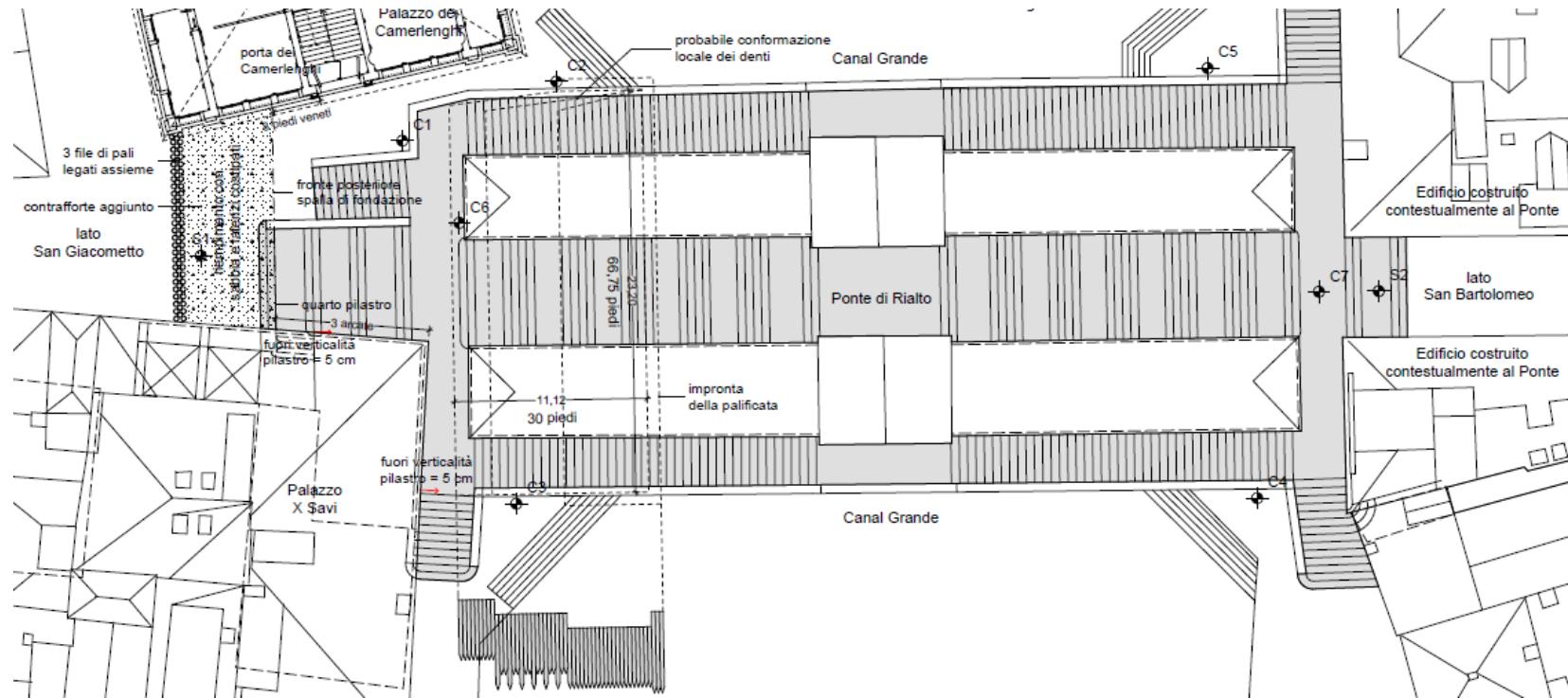
Lettera autografa del 7 gennaio 1587 e trascrizione tratta da R. Cessi, A. Alberti "Rialto, l'isola, il ponte, il mercato"



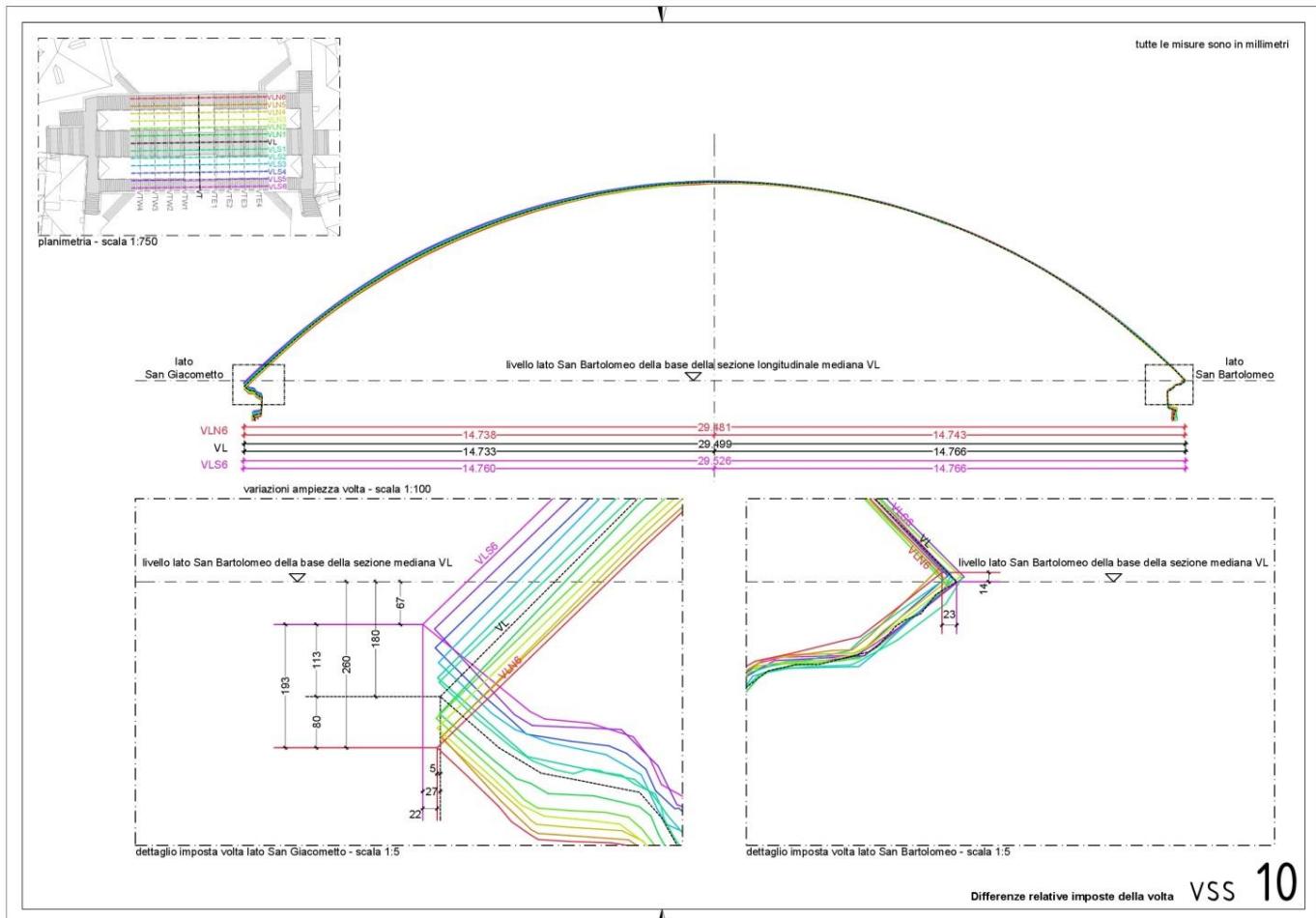
A.S.V. fotoriproduzione del disegno delle spalle del Ponte di Francesco Zamberlan



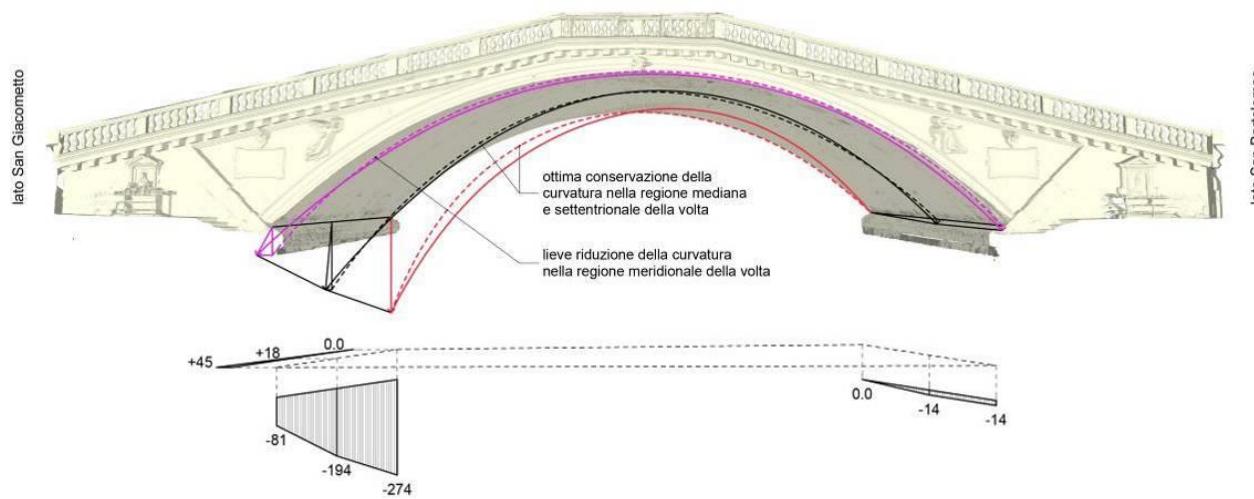
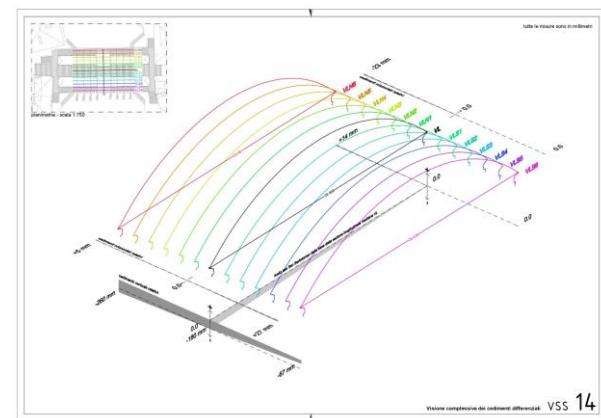
Sezione d'insieme della consistenza strutturale basata sui dati ricavati dall'indagine storica e geognostica



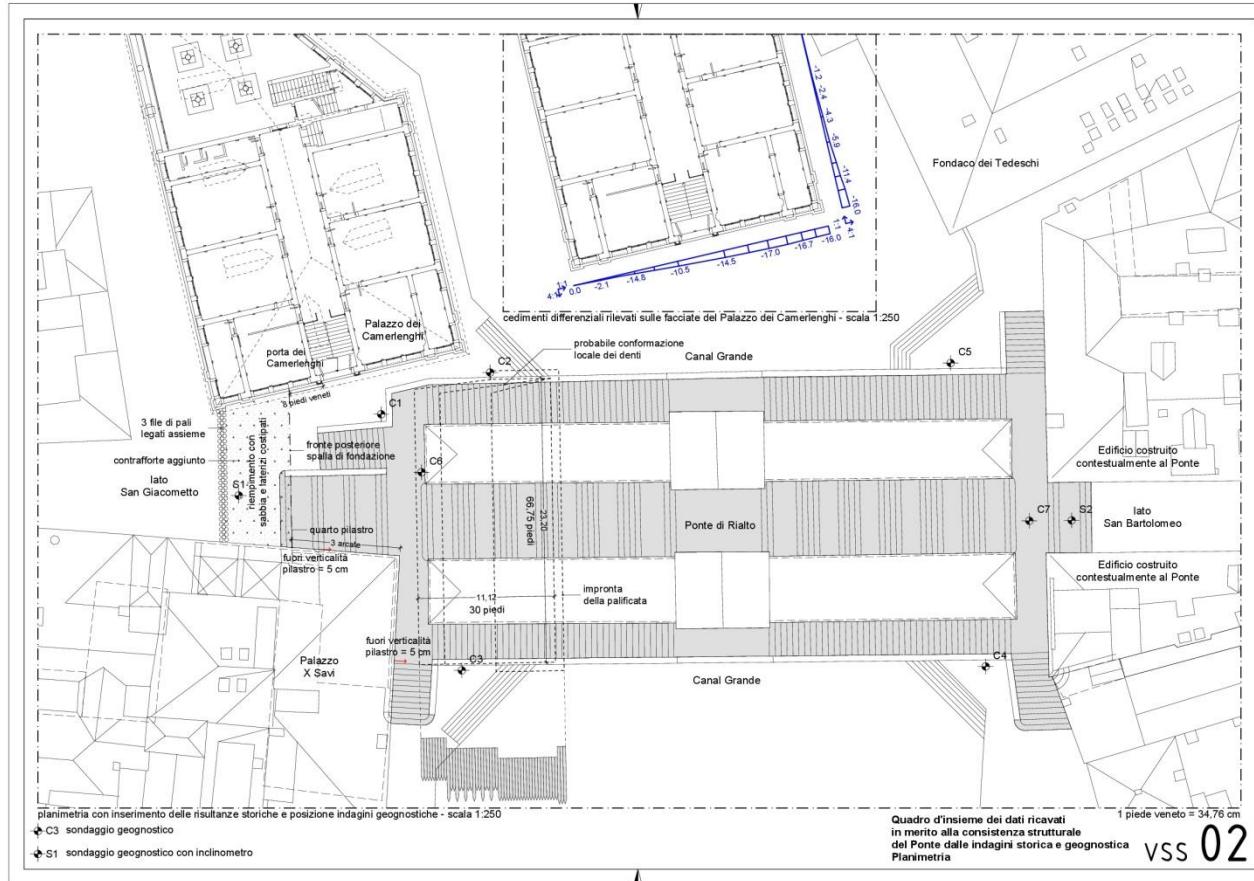
Pianta d'insieme della consistenza strutturale basata sui dati ricavati dall'indagine storica e geognostica



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 iz. dito.

Ritornatⁱ s^a la Fabbrica del ponte li sopradetti Clarissimi delegati
et fatto livellar con l'acqua la fondamenta fatta fino
al punto, p' uedor, se era callata dalla parte della
riva del ferro, come era stato detto, Hanno tro-
uato, ~~che la~~ ^{non è a livello sul} ~~era~~ callata dal canton di Camerlenghi
p' un' onda, et nuda, p'ci' presto manco, et più. —
~~non è a livello sul~~

Di più fatto cavar nella fondamenta sotto la stagiera,
trovorno ~~che tra~~ fondamenta, et fondamenta vi era terren
solo senza pietre, et così tra la fabbrica nuova, et
la fabbrica vecchia era drapparia.

Documento originale di una cronaca del 12 agosto 1588

406

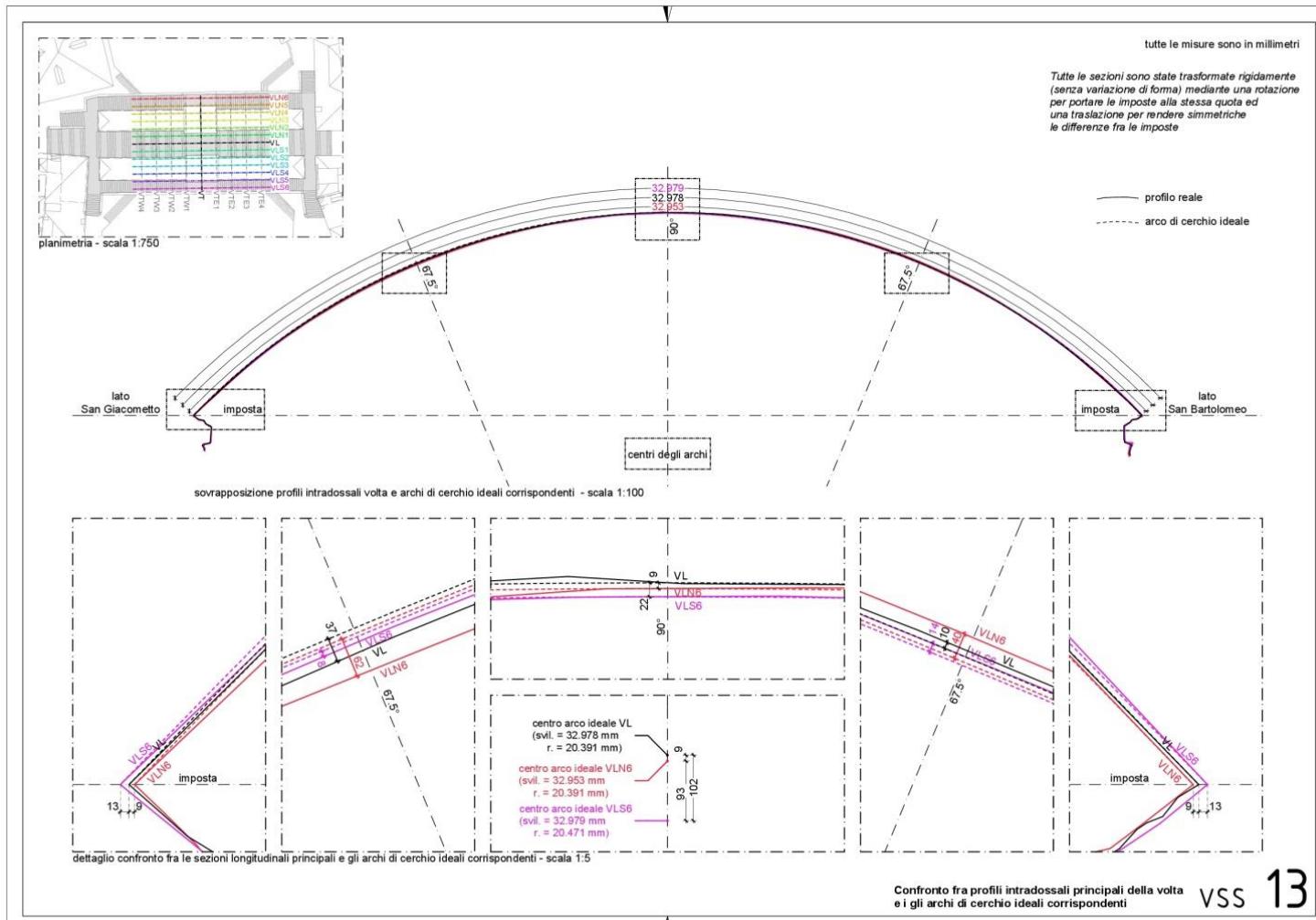
DOCUMENTI

f

1588, 12 agosto (*).

Ritornati sopra la fabbrica del ponte li sopradetti 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.

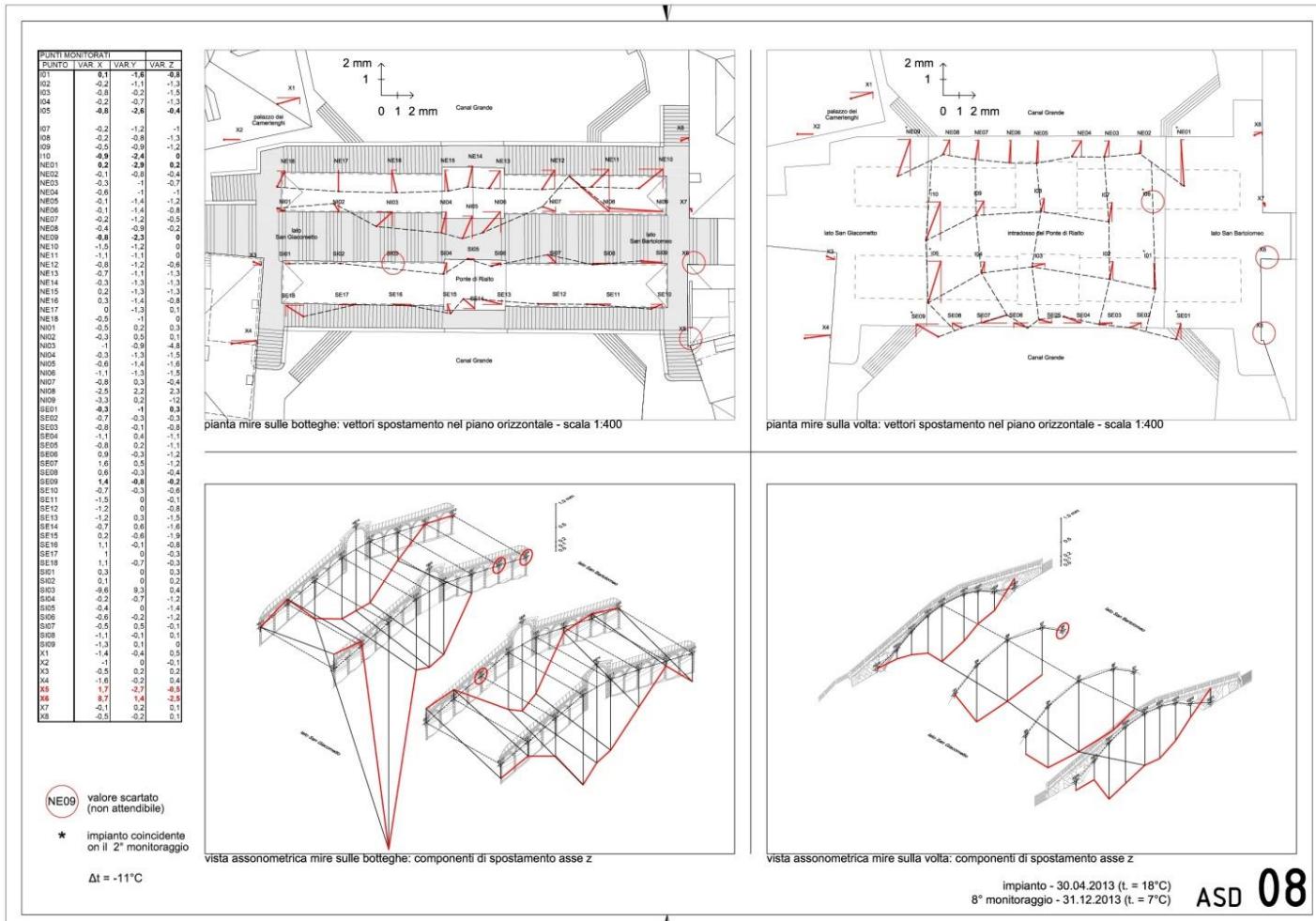
Trascrizione tratta da R. Cessi, A. Alberti "Rialto, l'isola, il ponte,
il mercato"



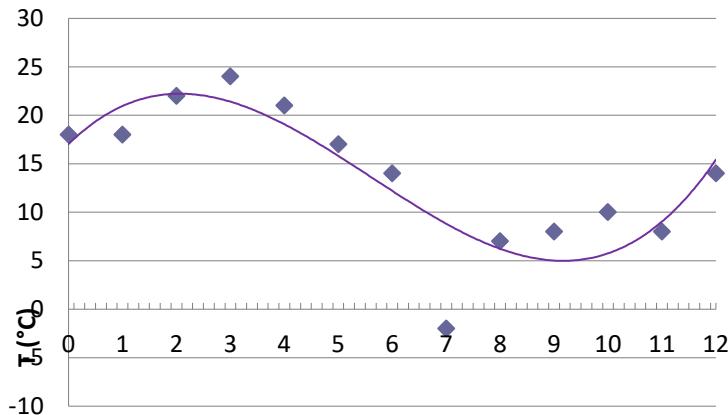
Confronto fra profili intradossali principali della volta e gli archi di cerchio ideali corrispondenti



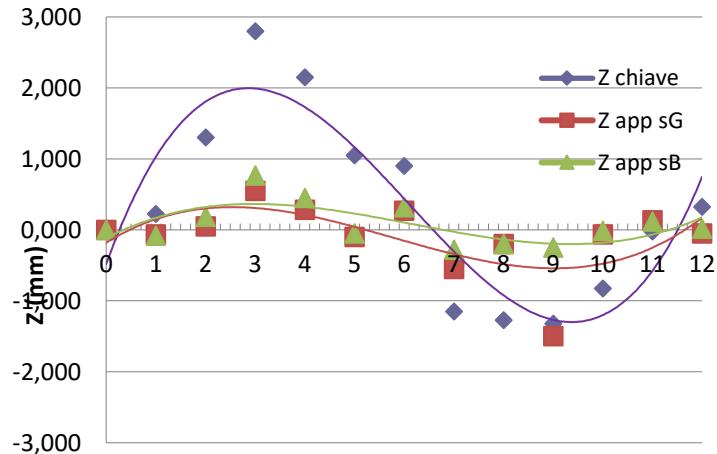
Alcune fasi di installazione delle mire



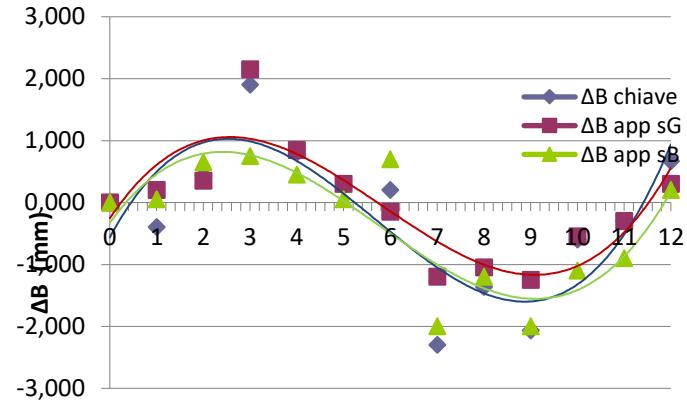
Scheda di una sessione di monitoraggio mensile del Ponte



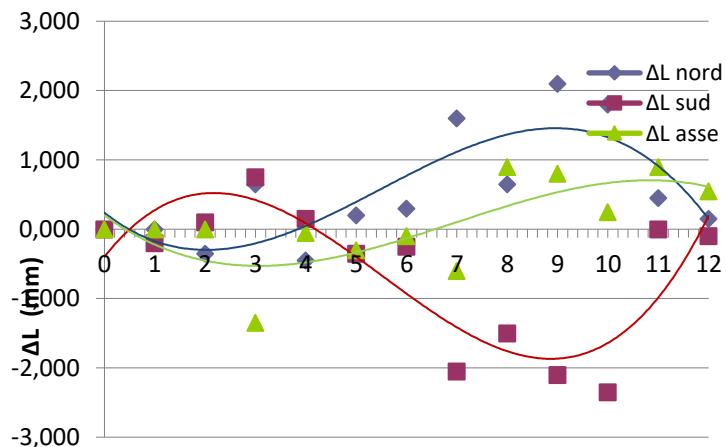
Temperatura



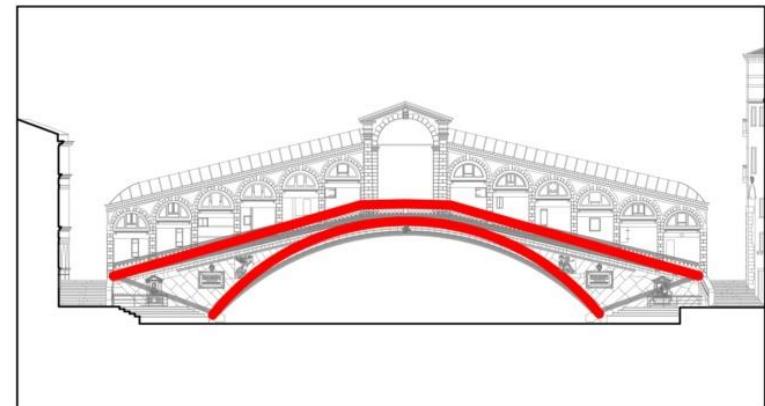
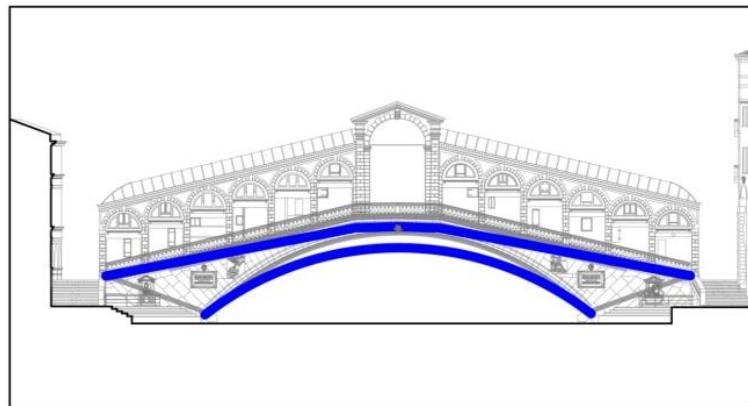
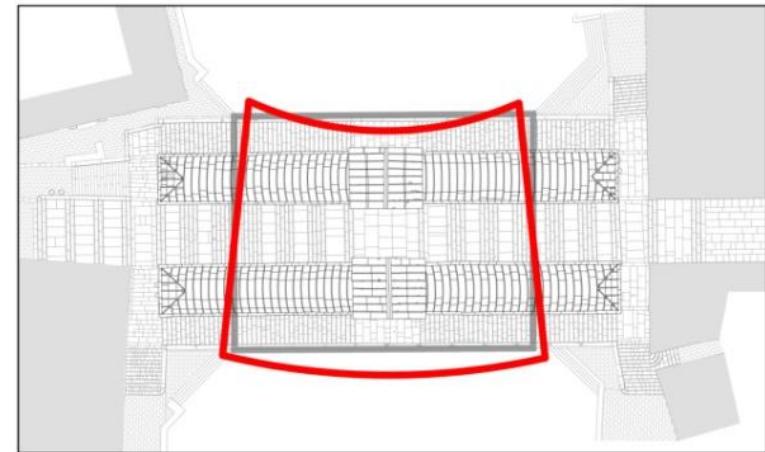
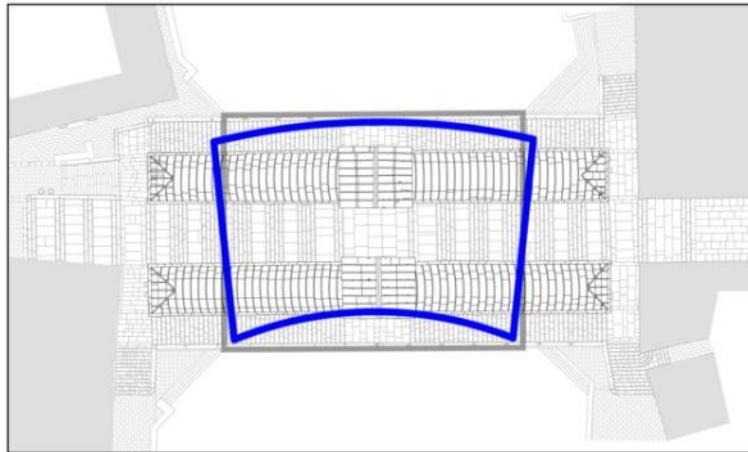
Spostamenti verticali delle regioni di chiave e di spalla



Dilatazione trasversale dell'intradosso della volta

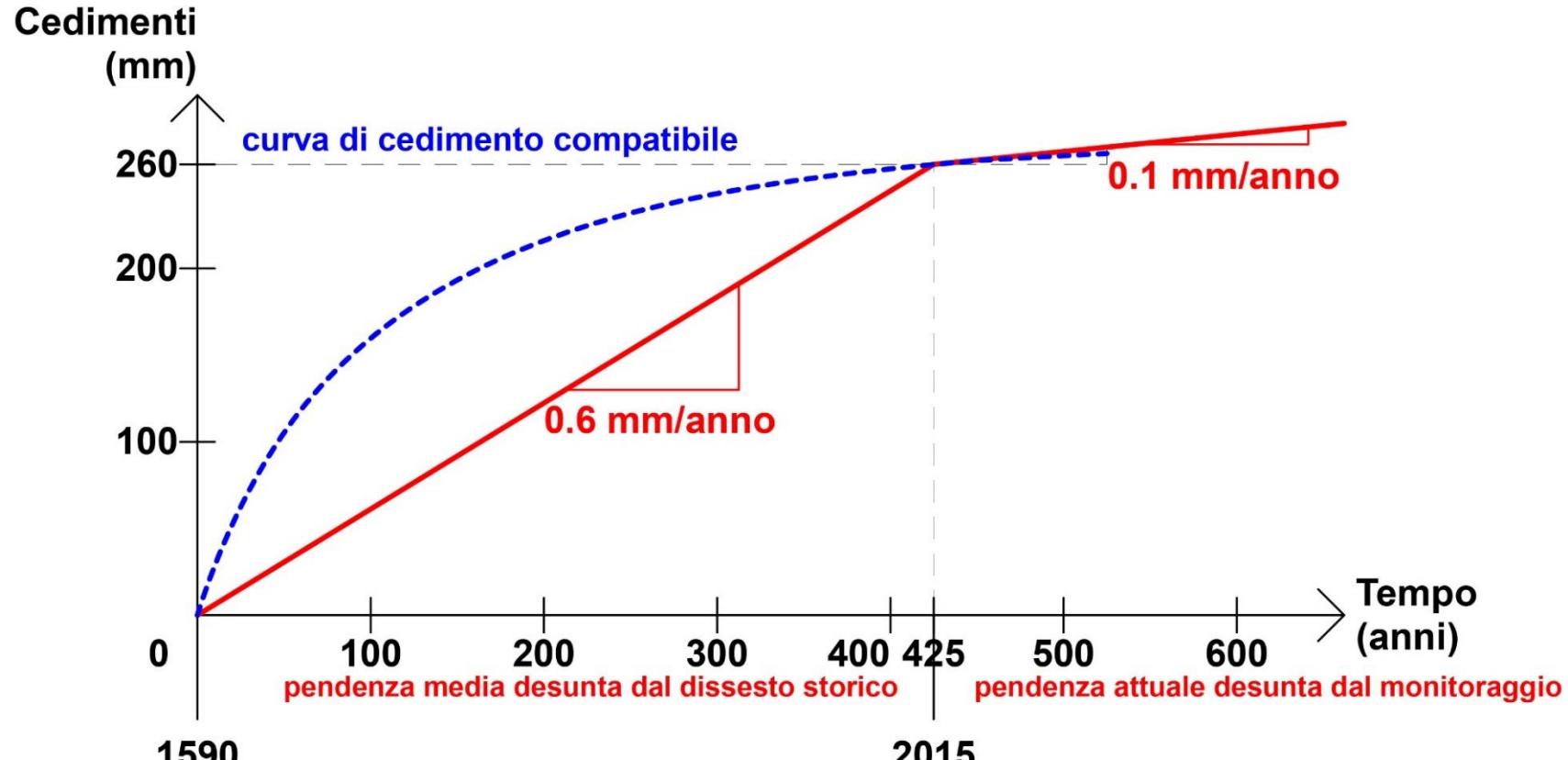


Variazione di distanza in direzione longitudinale tra le spalle della volta

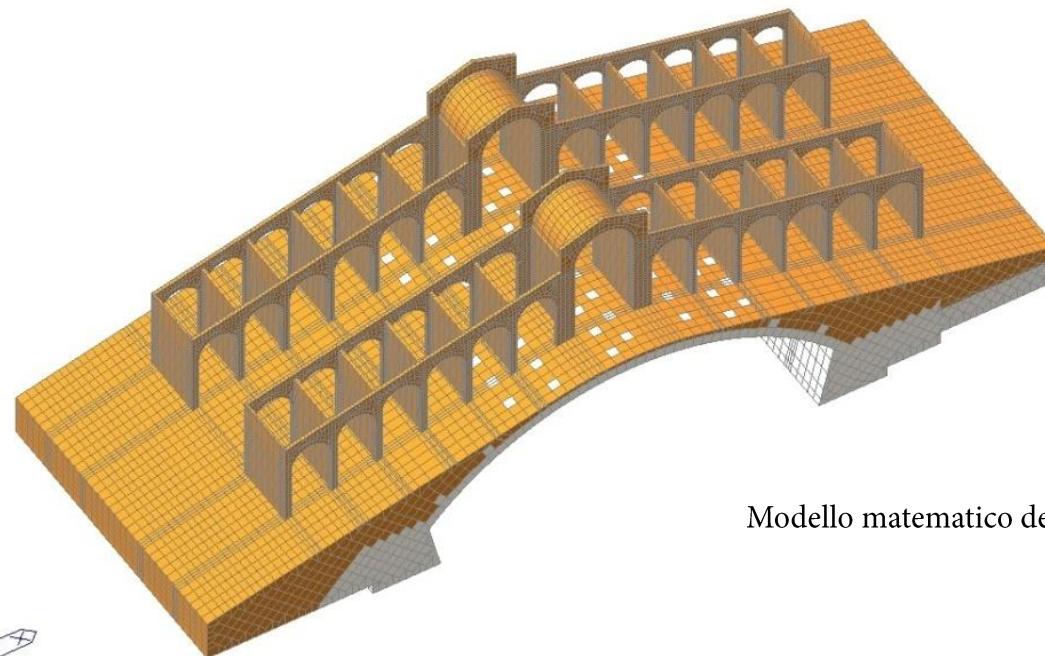


Deformazione invernale del Ponte

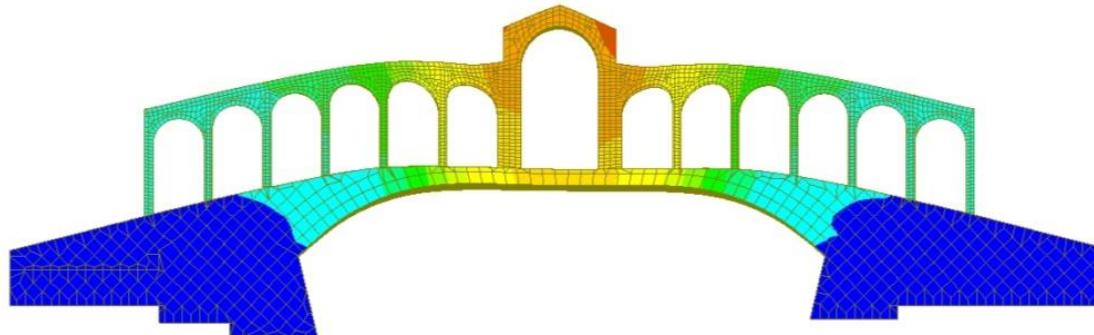
Deformazione estiva del Ponte



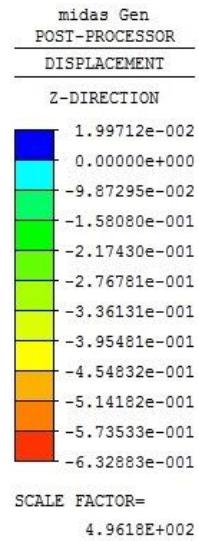
Ipotesi sull'andamento temporale del cedimento dello spigolo verso Palazzo dei Camerlenghi

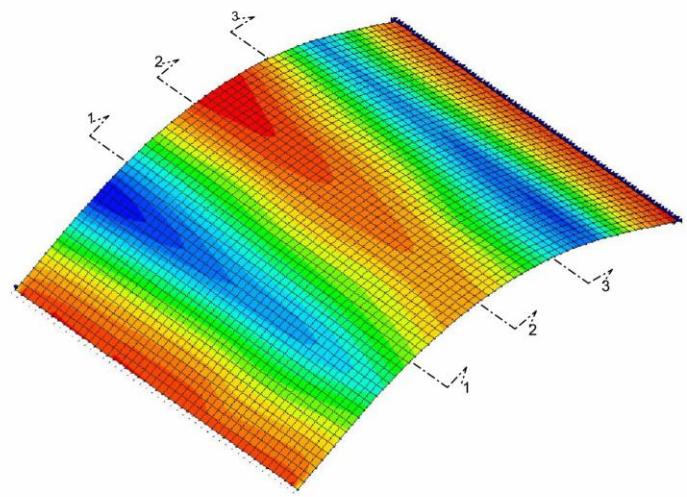
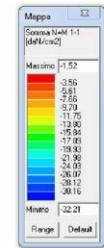
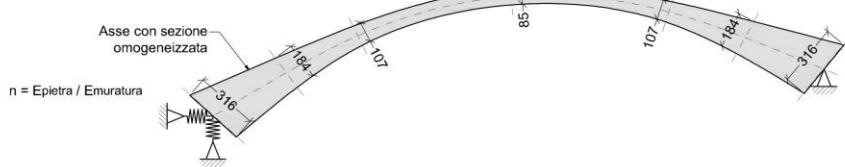


Modello matematico del Ponte

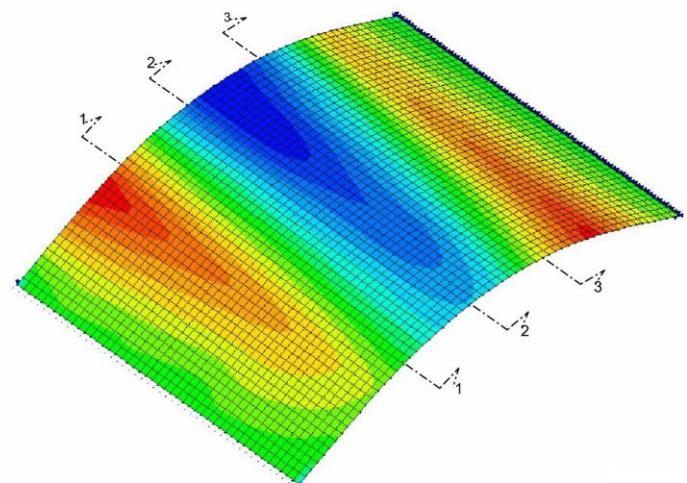
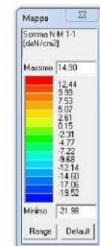
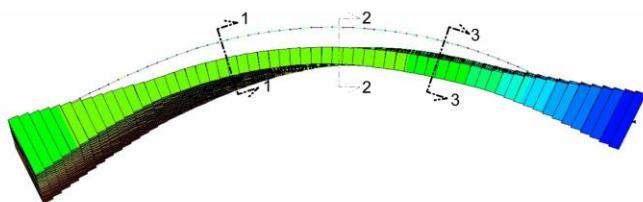
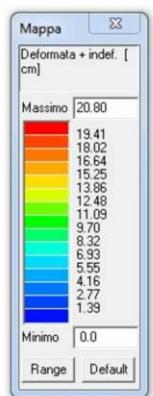


Spostamenti verticali del modello per effetto della variazione termica imposta



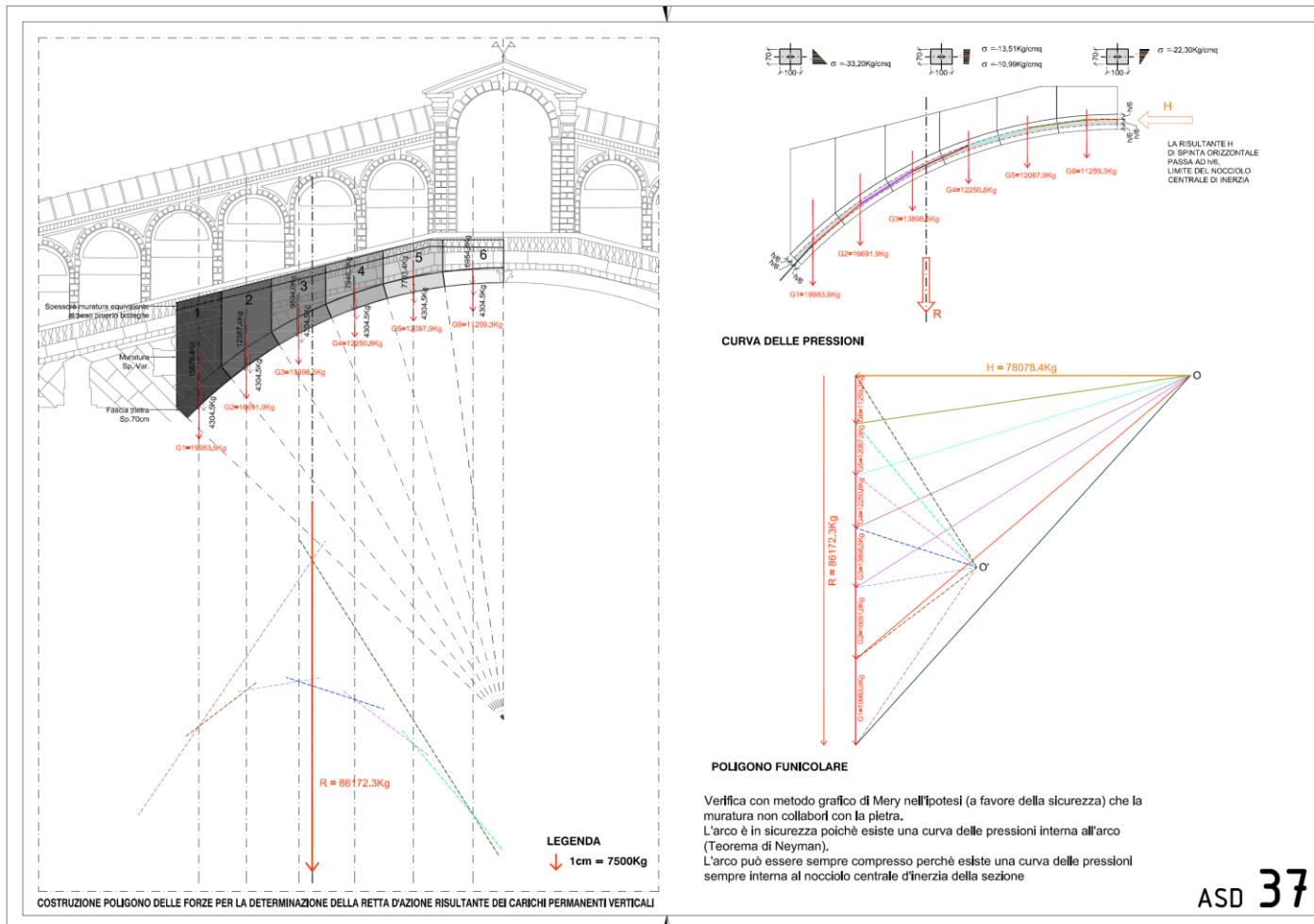


Tensioni superiori muratura



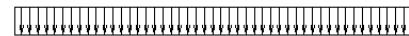
Tensioni inferiori muratura

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

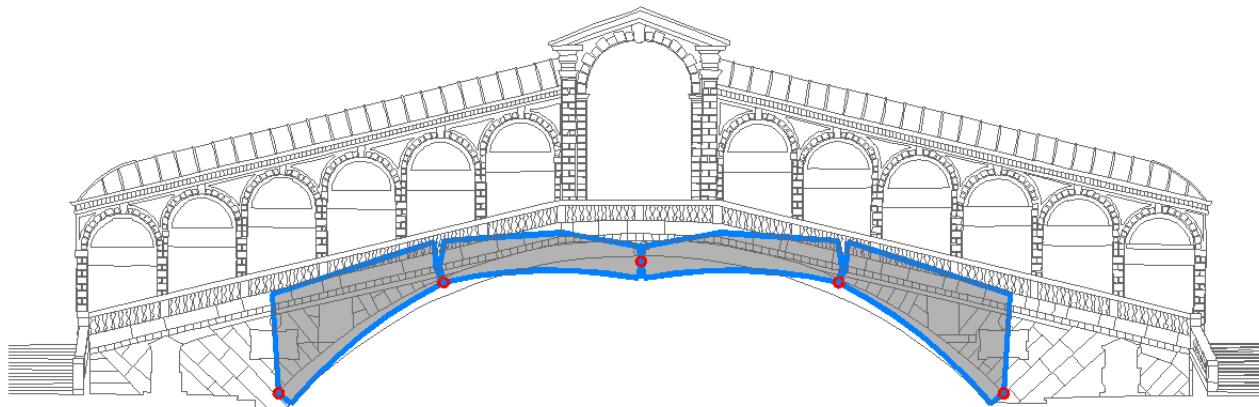


Verifiche statiche con metodo del Mery (curva delle pressioni)

IL PONTE DI RIALTO: analisi preliminare della costruzione



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

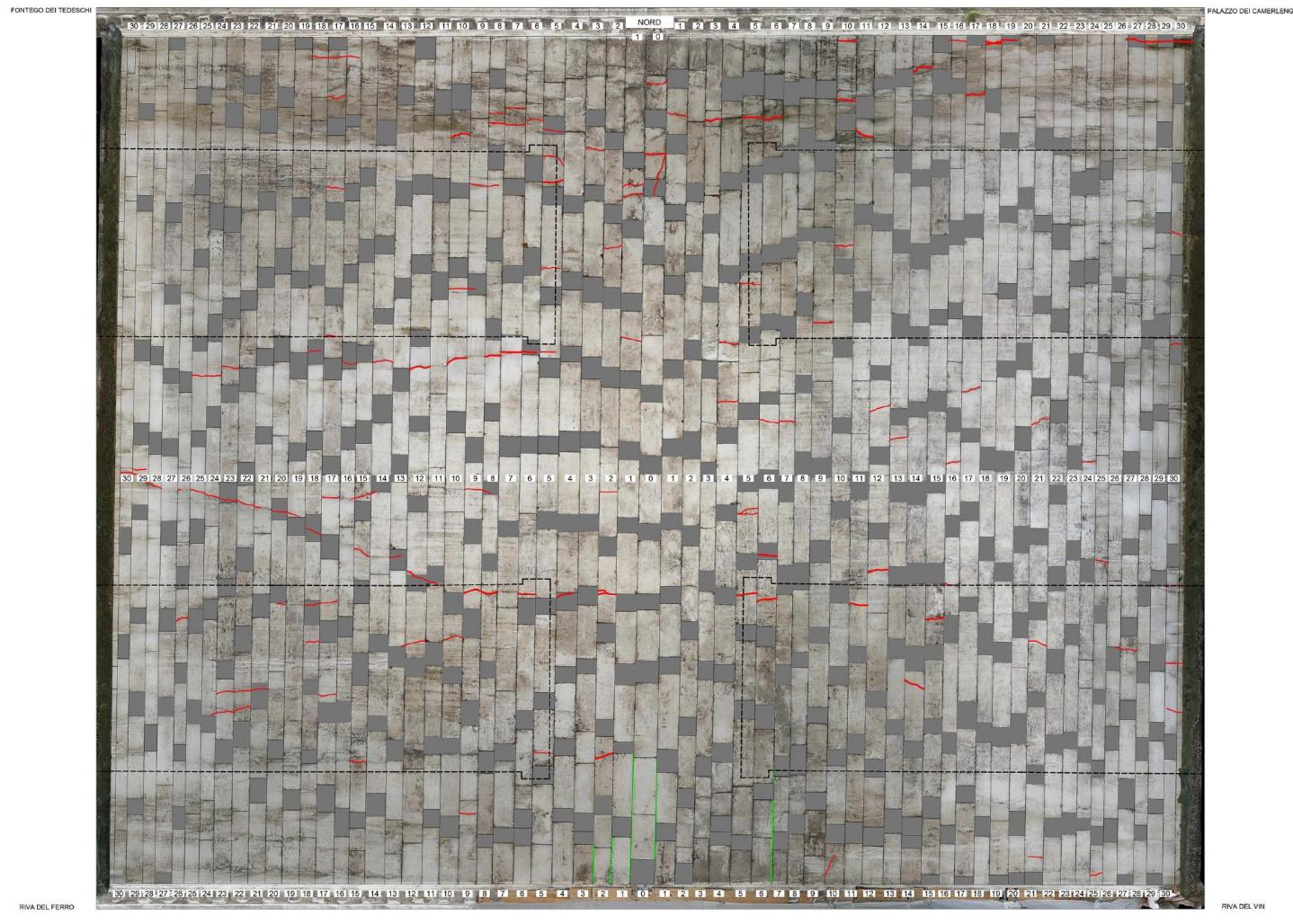


Catena cinematica per il calcolo del carico critico con il principio dei lavori virtuali



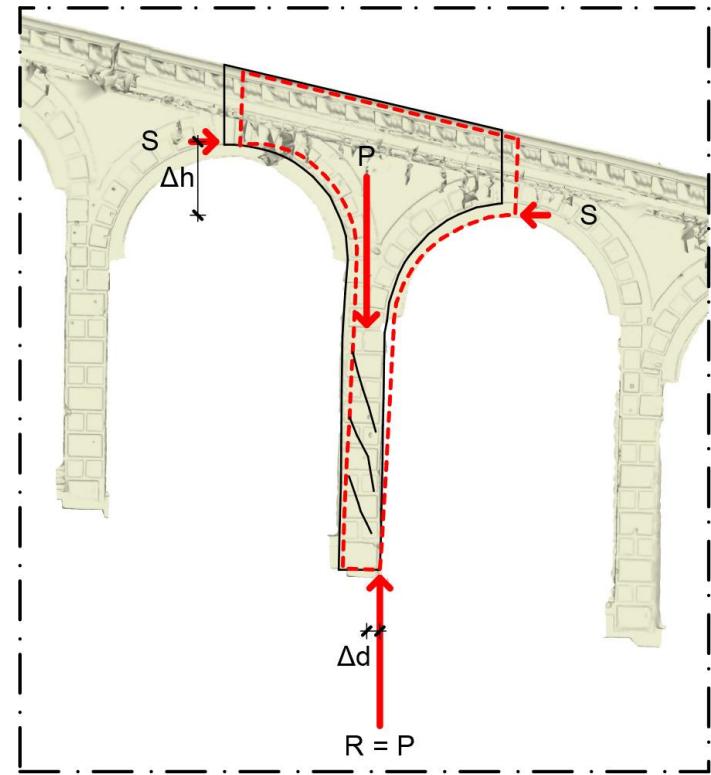
La qualità costruttiva della volta

IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere

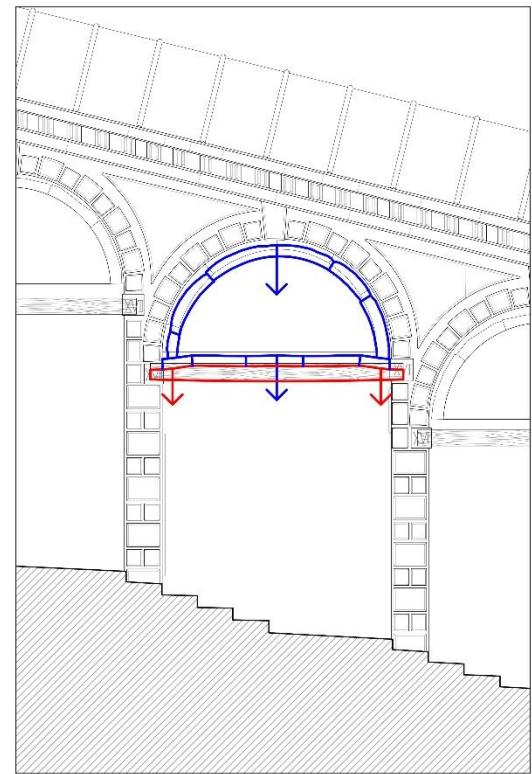


Analisi comparativa fra il quadro fessurativo e la distribuzione delle pietre disposte in chiave

IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere



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

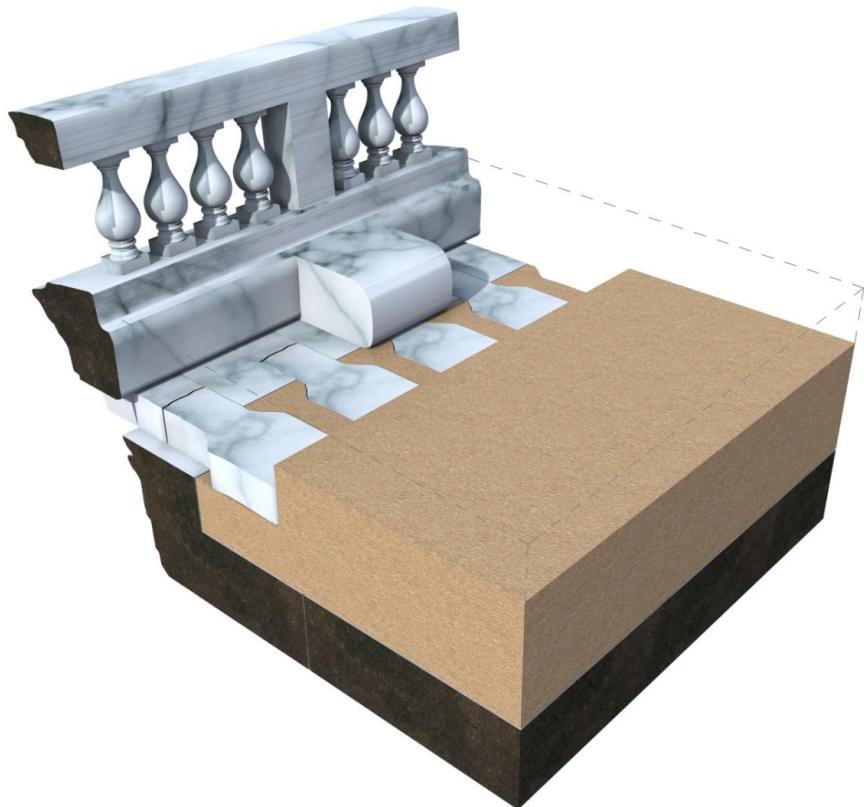
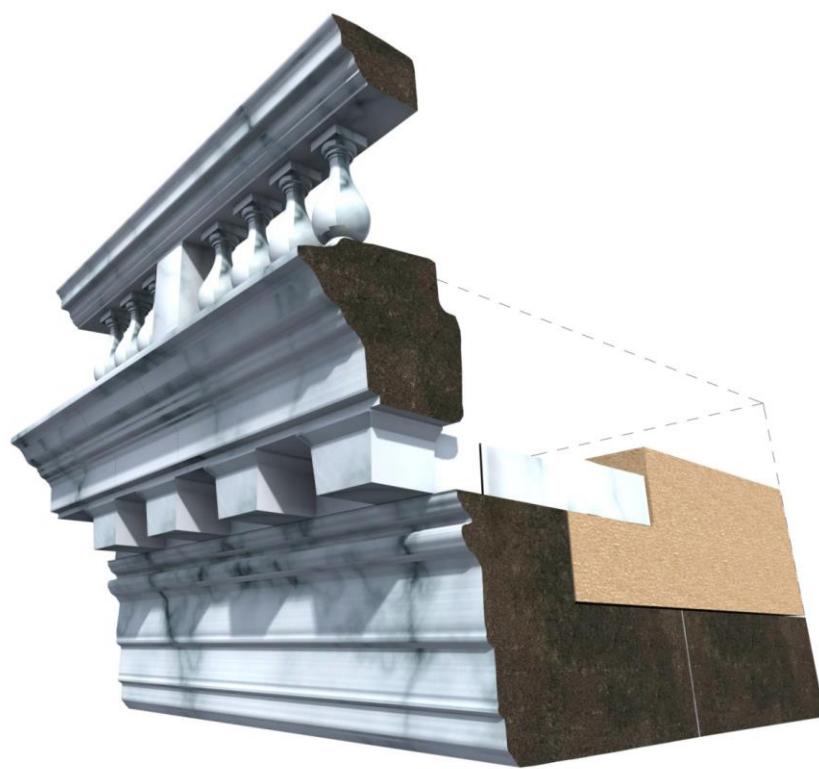


Segnali di dissesto sulle facciate delle botteghe



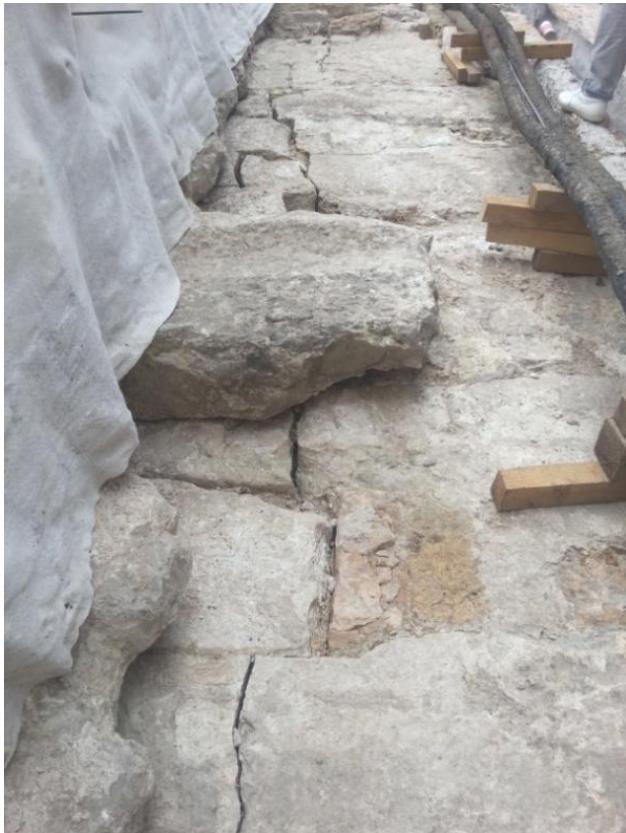
La qualità costruttiva delle facciate e lo stato di conservazione delle travi di imposta degli archi

IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere

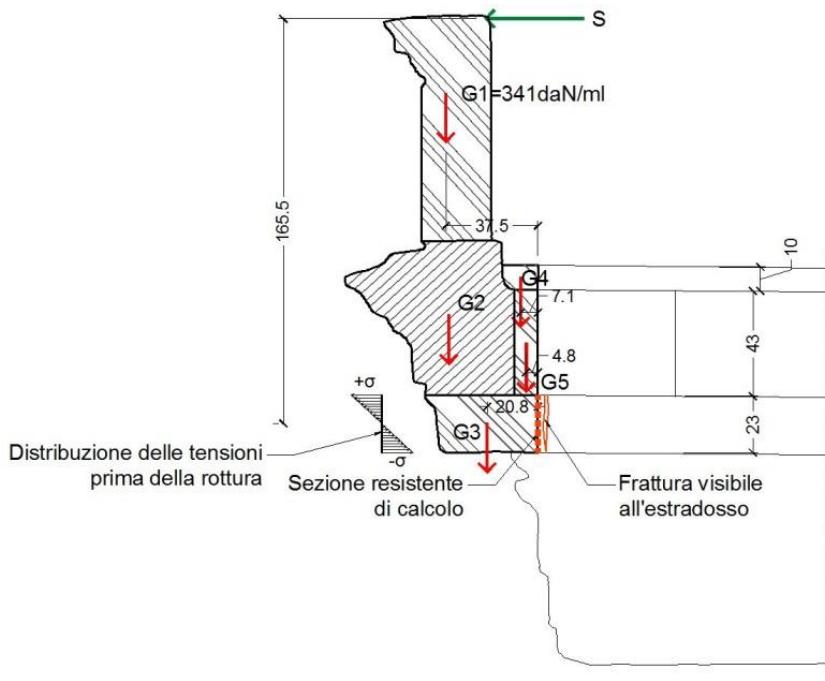


Schema costruttivo delle balaustre

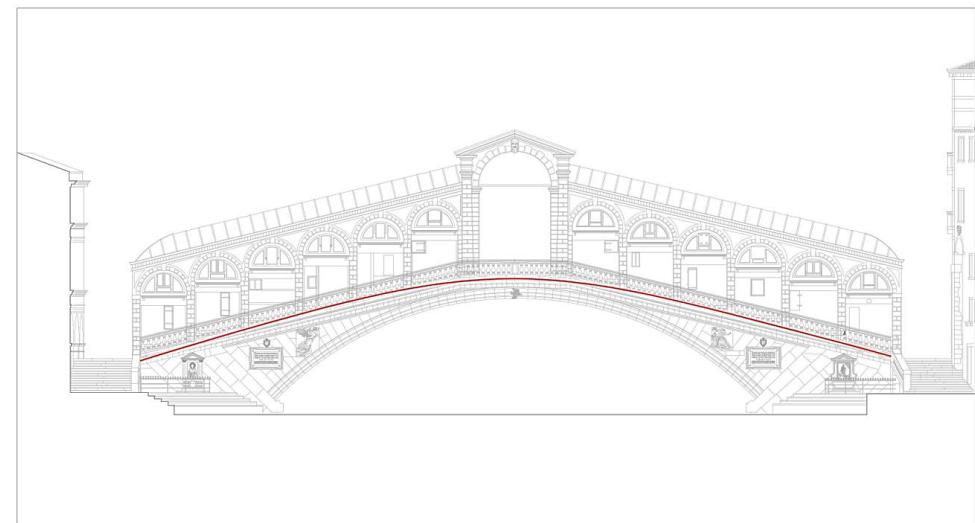
IL PONTE DI RIALTO: approfondimenti e riscontri di cantiere



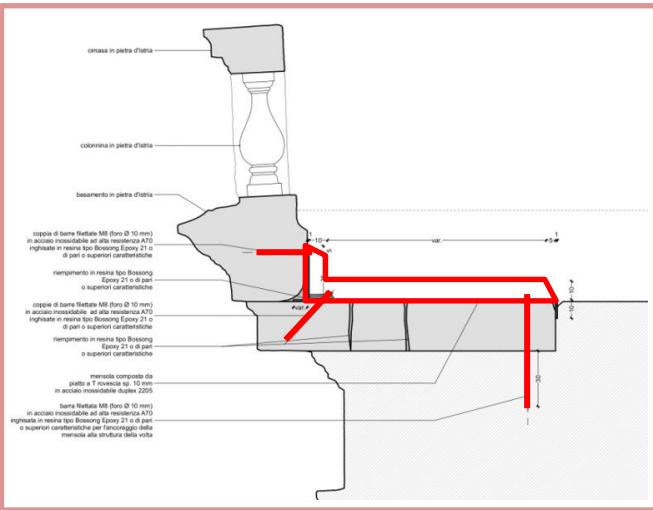
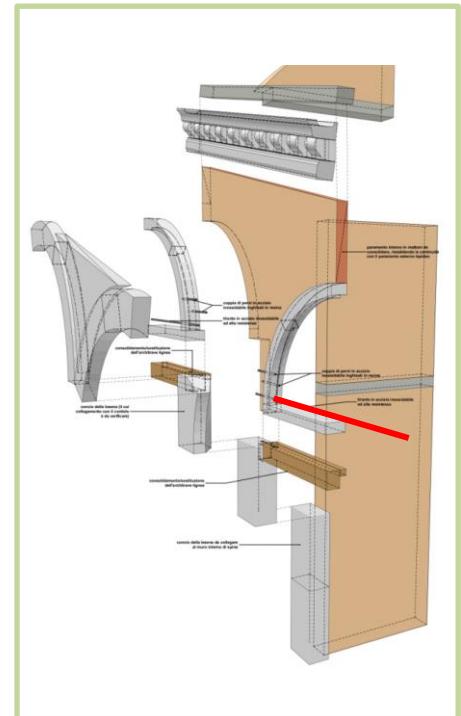
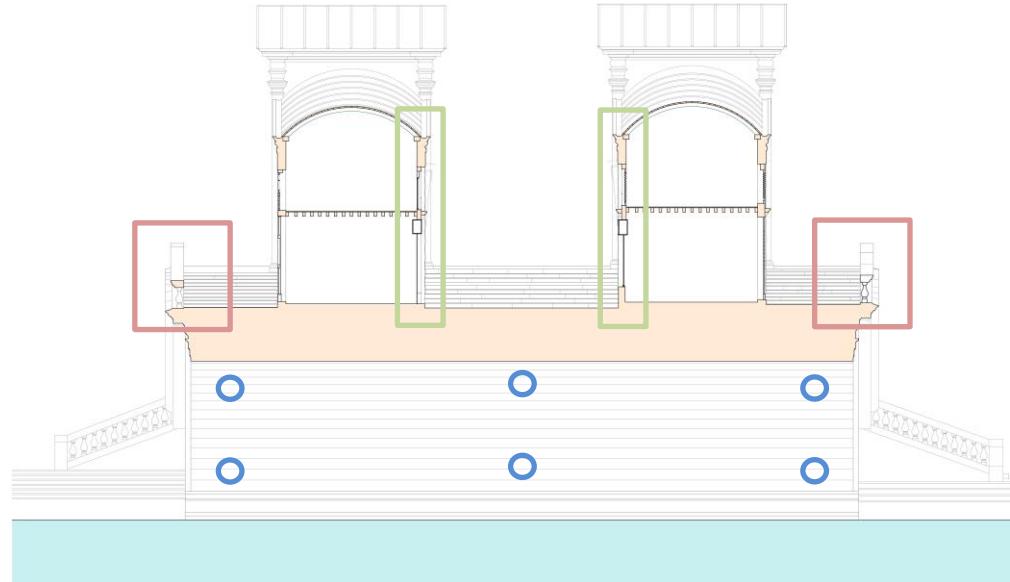
Fratture delle mensole della balaustra



Verifiche di stabilità e di resistenza delle balaustre



Schema resistente alternativo

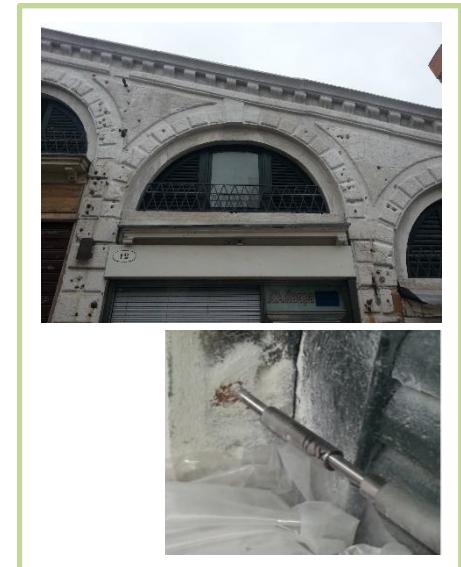


Balaustre: affiancamento delle mensole



Volta: mire per il monitoraggio

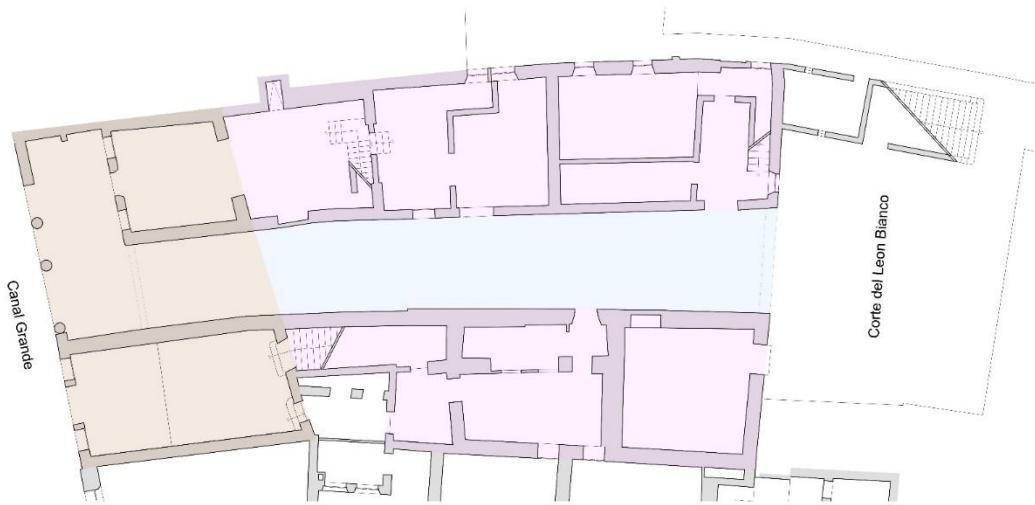
IL PONTE DI RIALTO: schema degli interventi di consolidamento statico



Botteghe: posa di tiranti



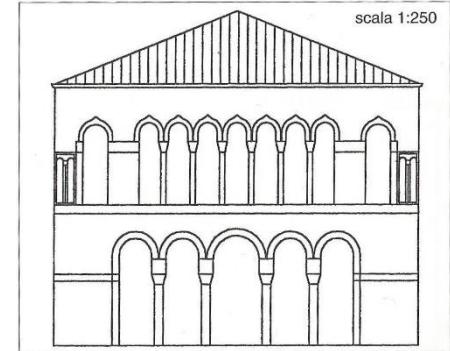
Il restauro di Ca' Da Mosto



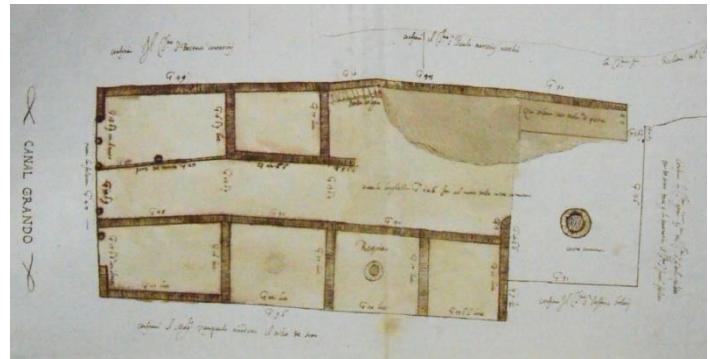
legenda

- [Yellow square] sedime della Domus originaria
- [Pink square] edifici a saturazione dei lotti posteriori della Domus
- [Light blue square] portego come elemento unificante e di collegamento

Evoluzione edilizia



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

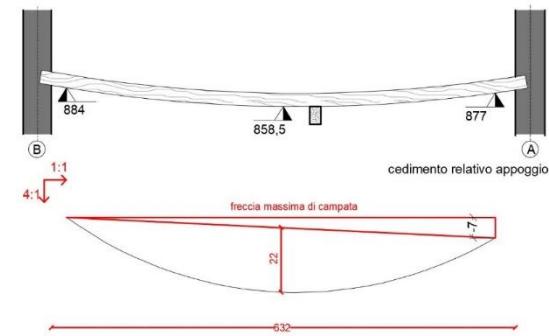




Prima dei lavori



Prima dei lavori

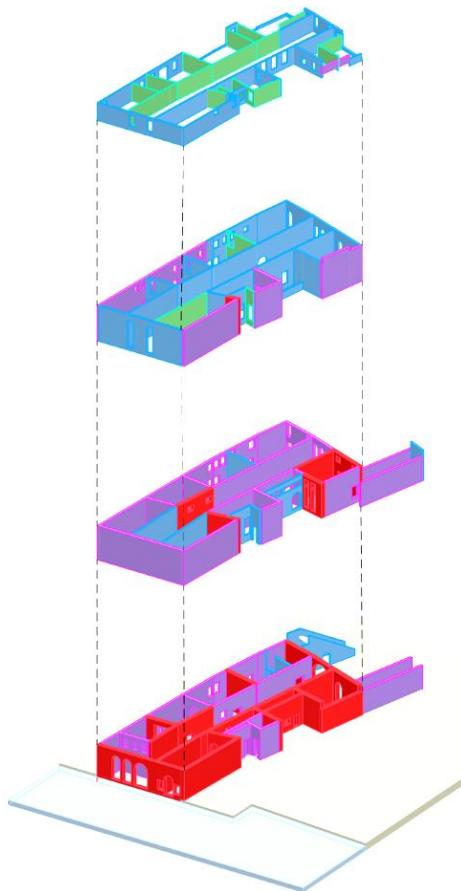




Solai inseriti in epoca recente in pessimo stato di conservazione

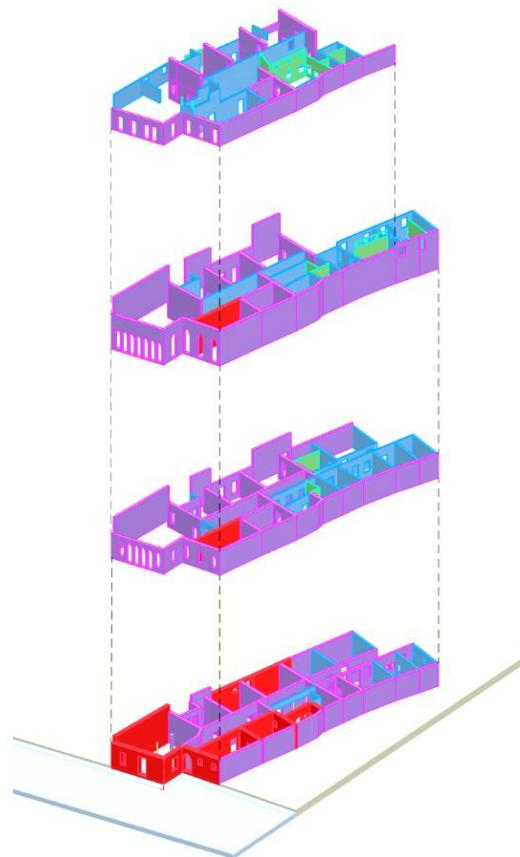


Antica sapienza costruttiva nelle incavallature del tetto



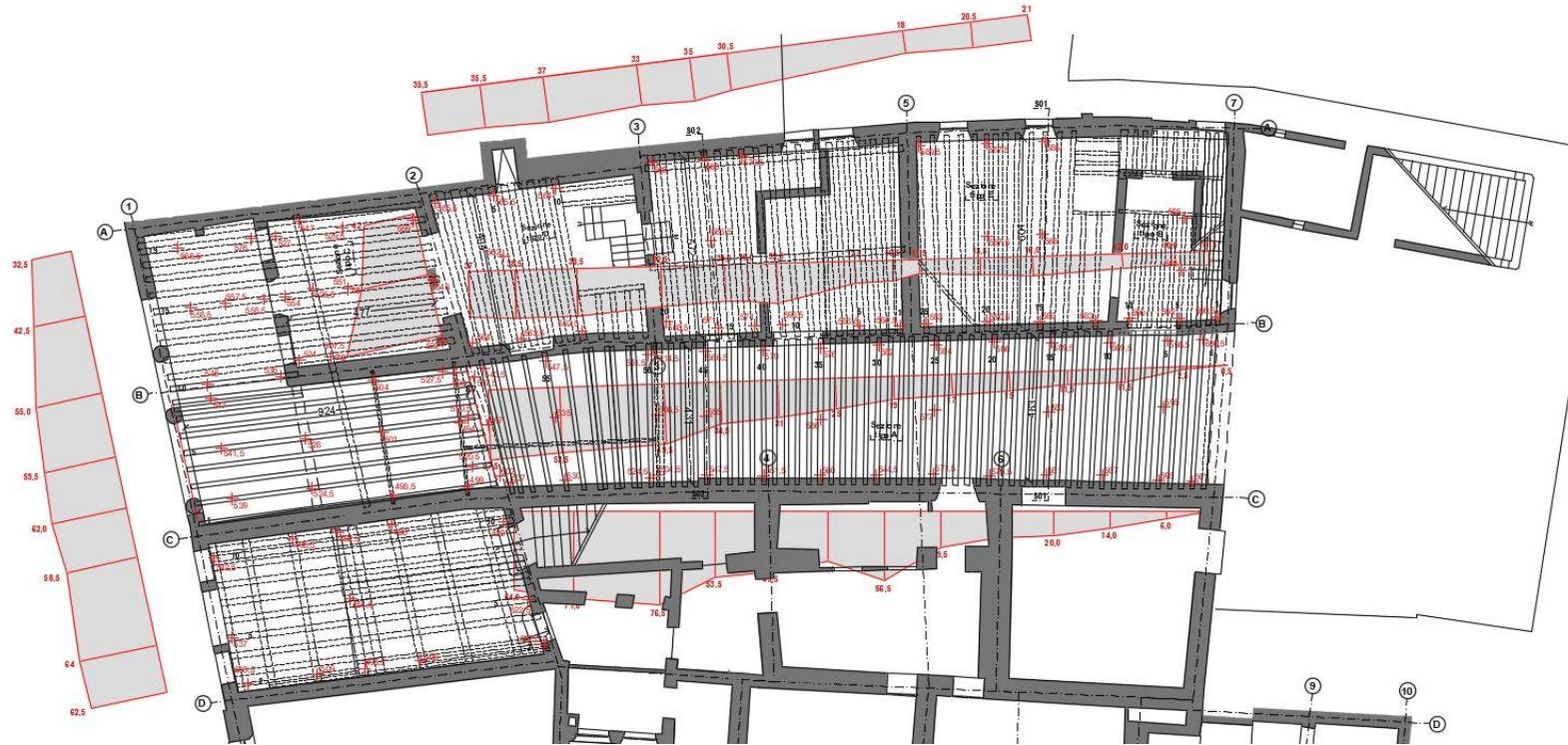
Spessori muri principali

- 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

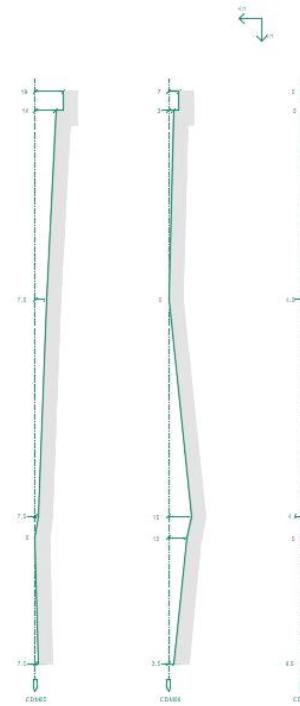
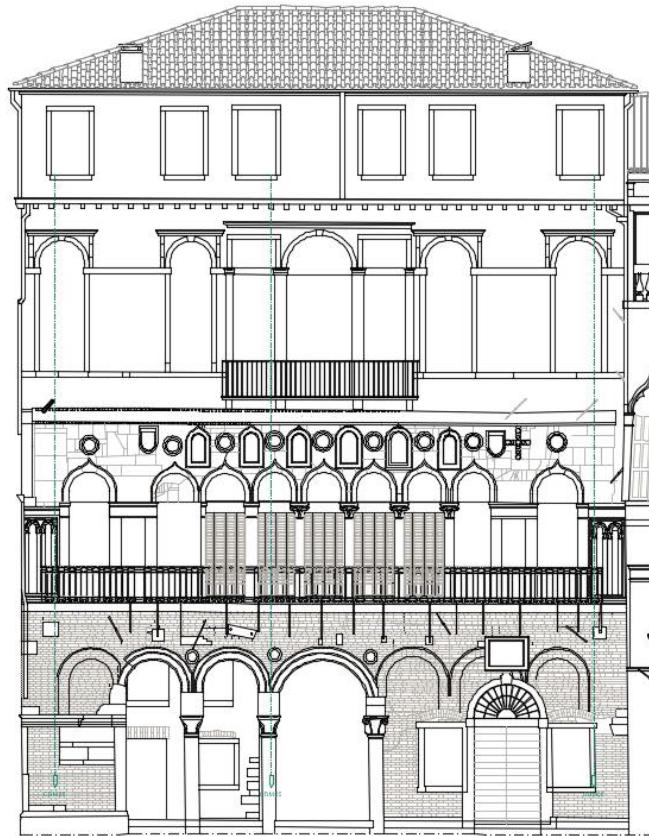


CA' DA MOSTO: analisi preliminare della costruzione

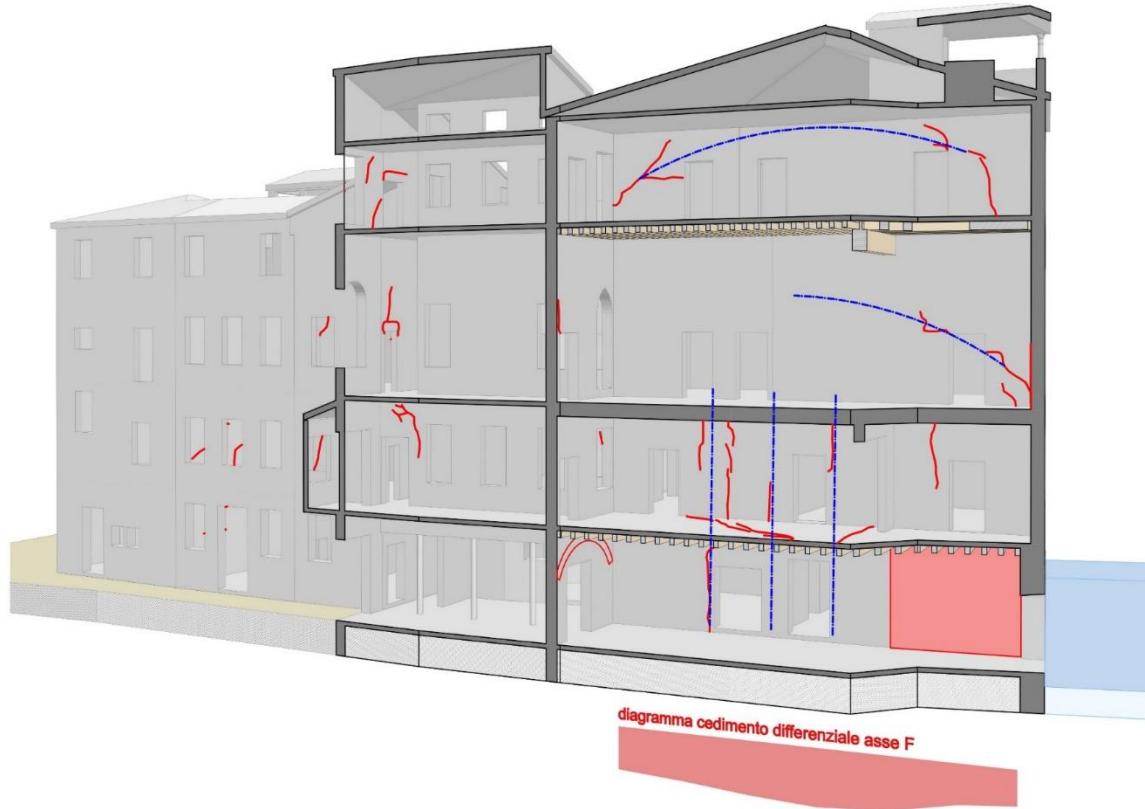




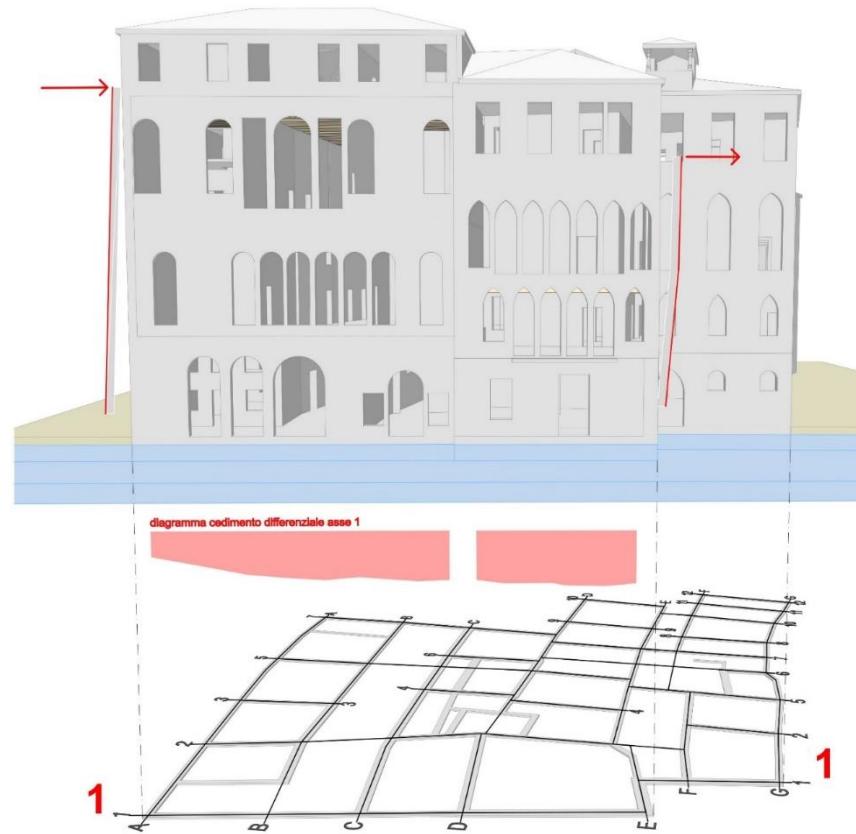
Analisi critica dei dissesti: rilievo dei sedimenti differenziali



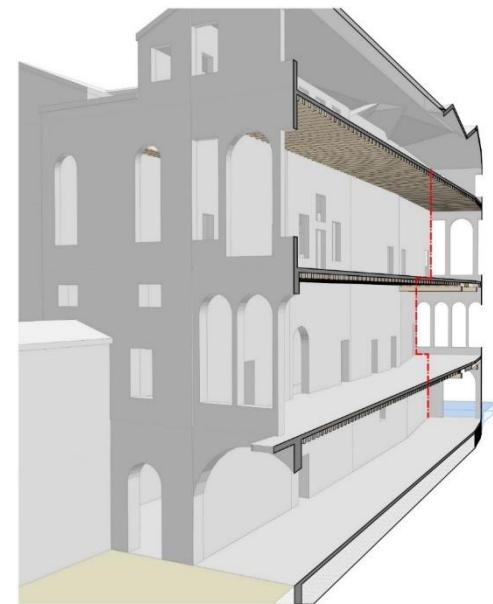
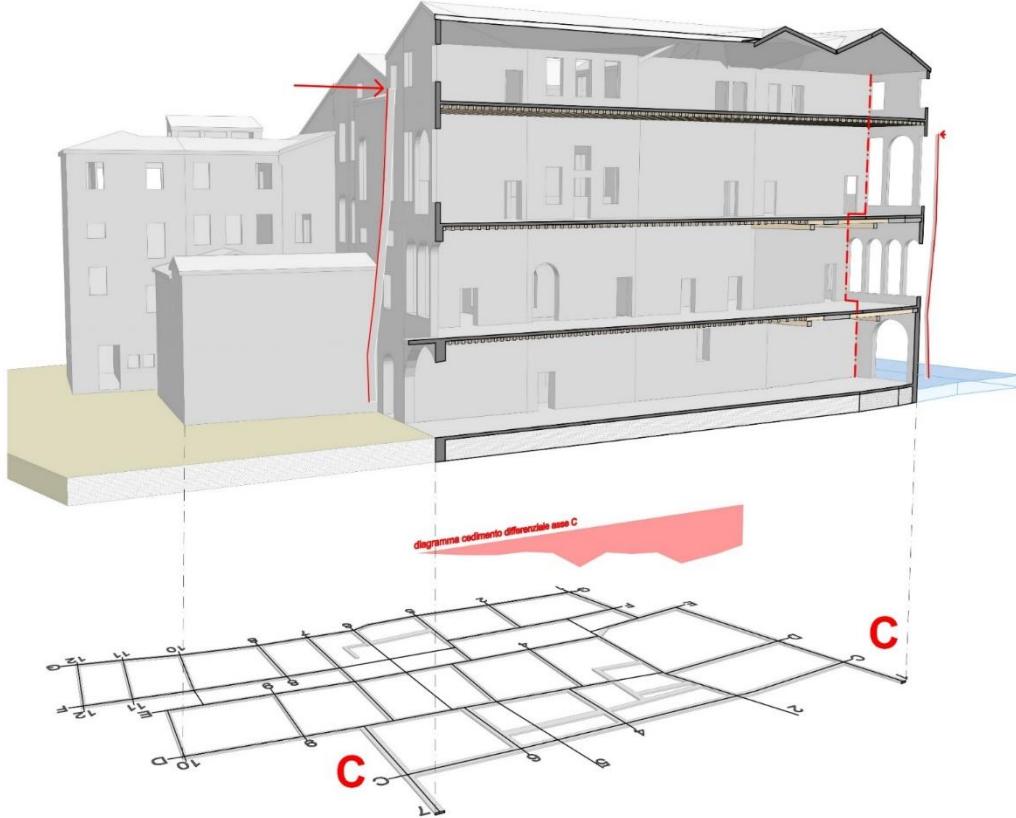
Analisi critica dei dissesti: fuori verticalità delle facciate



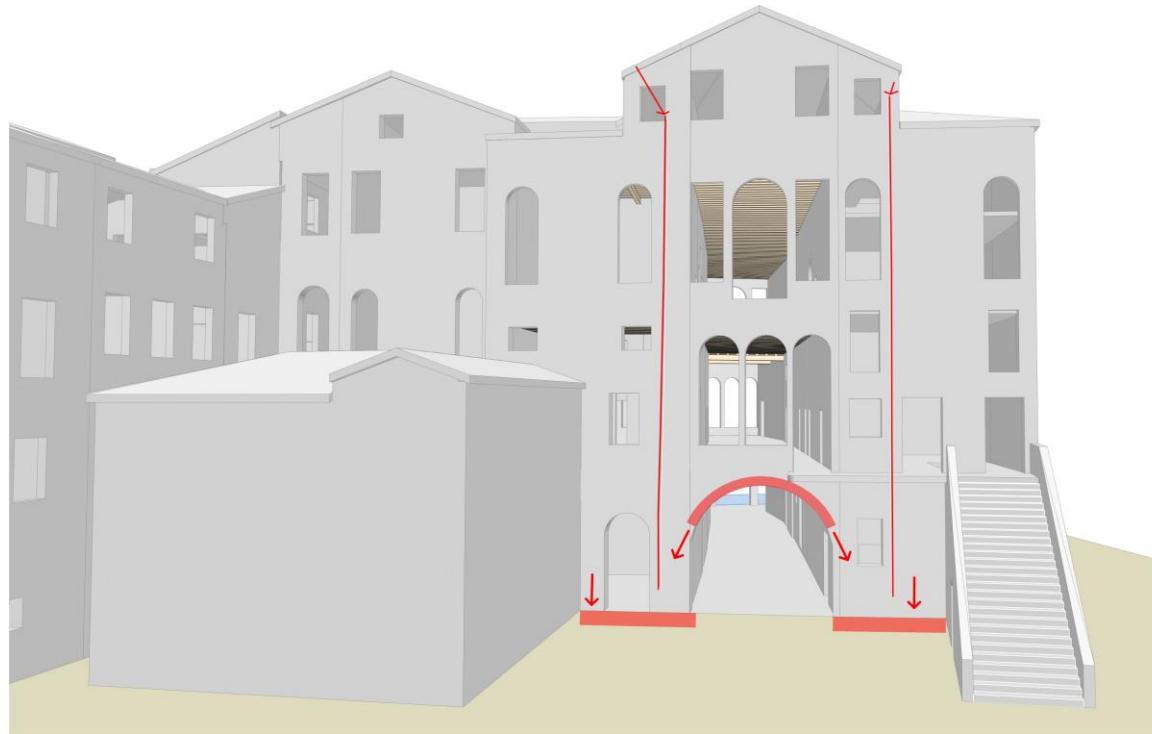
Analisi critica dei dissesti: quadro fessurativo



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

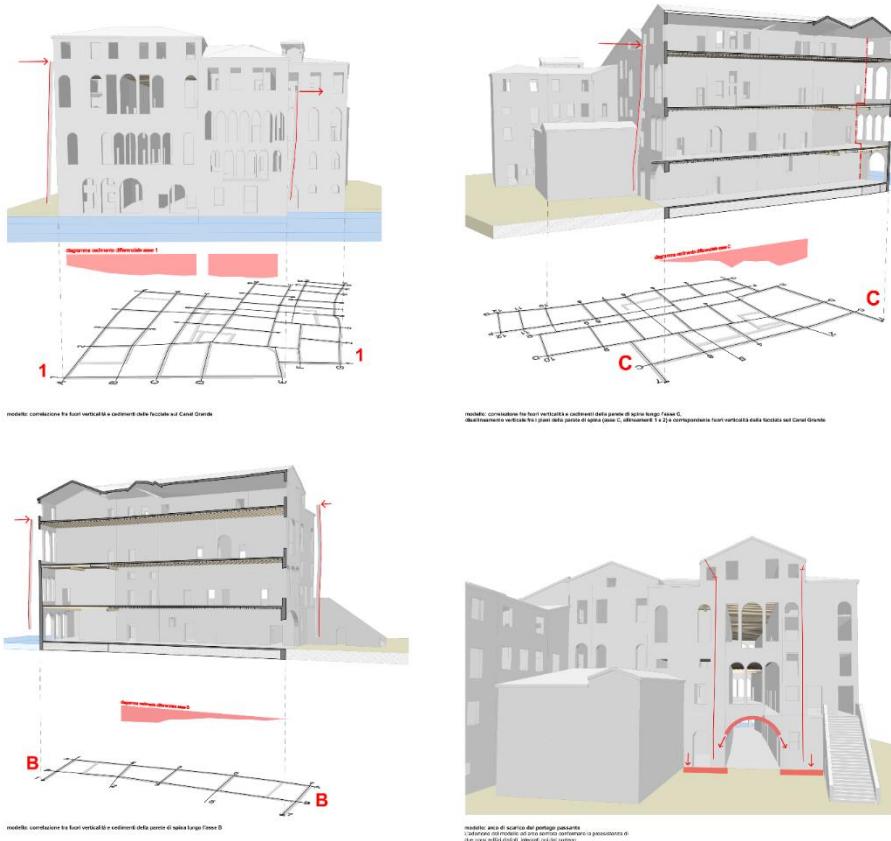


Analisi critica dei dissesti: deformazioni nel proprio piano
della parete di spina (in falso) di Ca' da Mosto

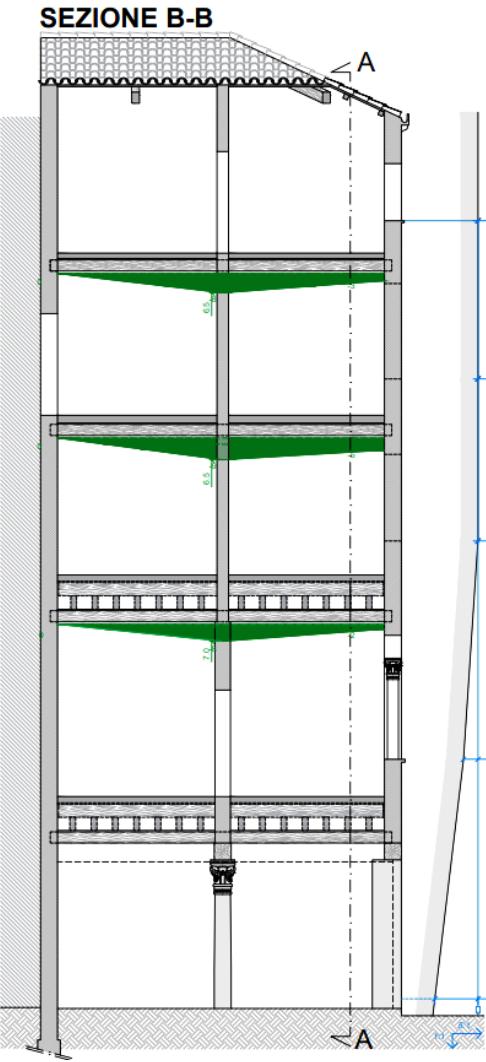
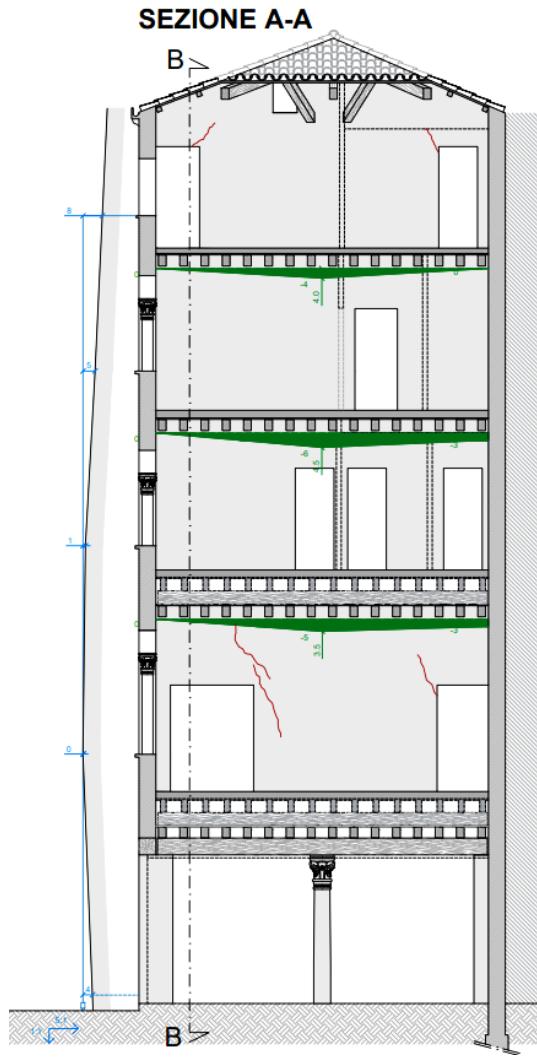


modello: arco di scarico del portego passante
L'adozione del modello ad arco sembra confermare la preesistenza di
due corpi edilizi distinti, integrati poi dal portego

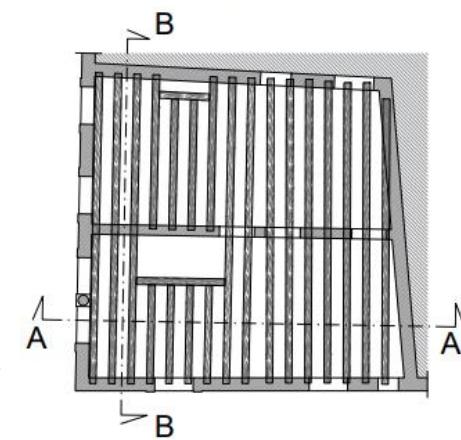
Analisi critica dei dissesti: soluzione statica adottata per l'integrazione del volume del *portego*
con le cassette preesistenti a formare l'edificio tripartito



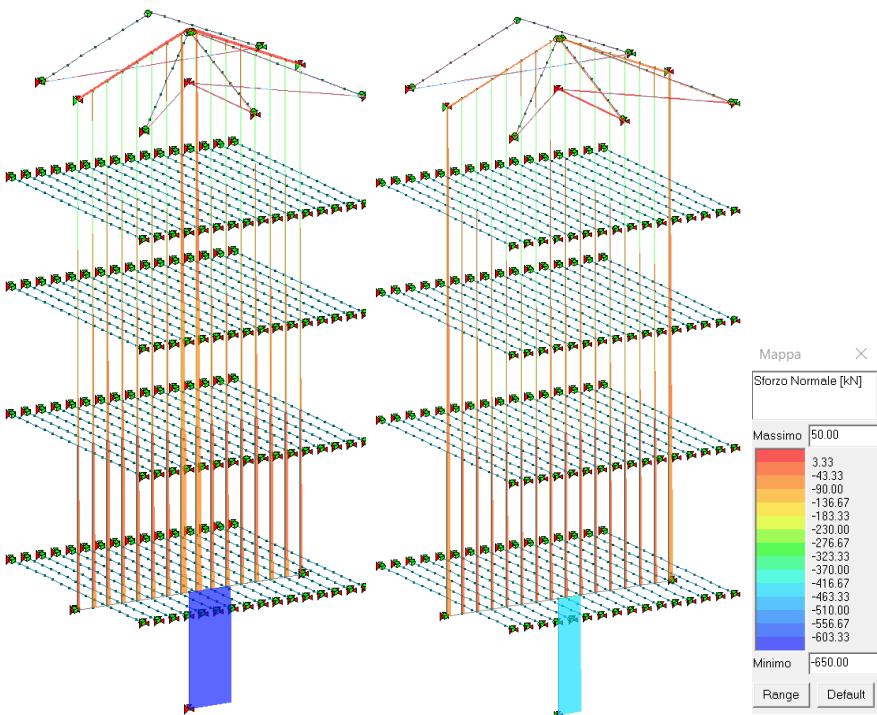
Analisi critica dissesti: quadro d'insieme delle deformazioni del complesso edilizio di Ca' da Mosto e Ca' Dolfin



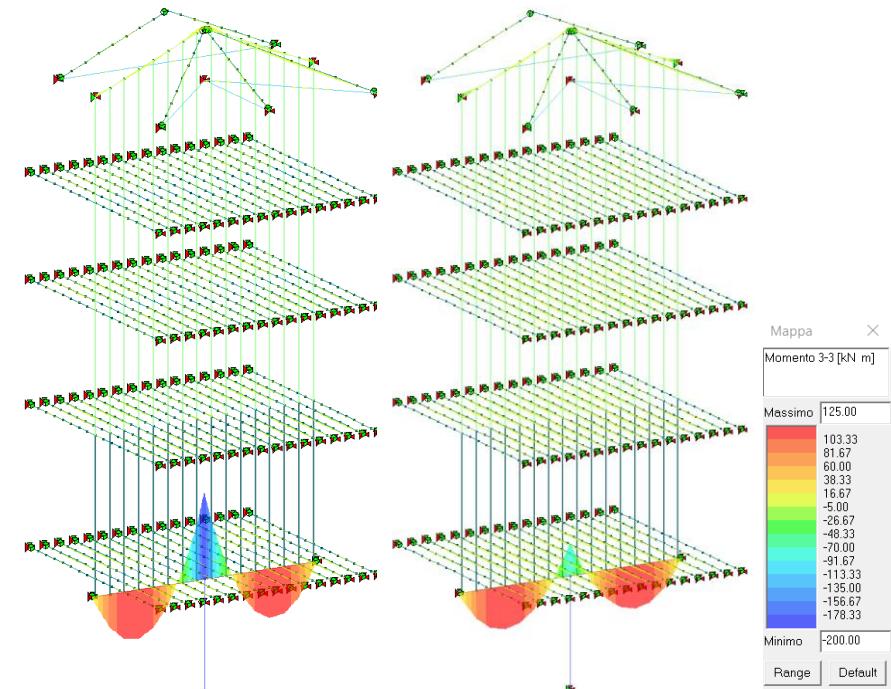
Pianta di riferimento



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%)

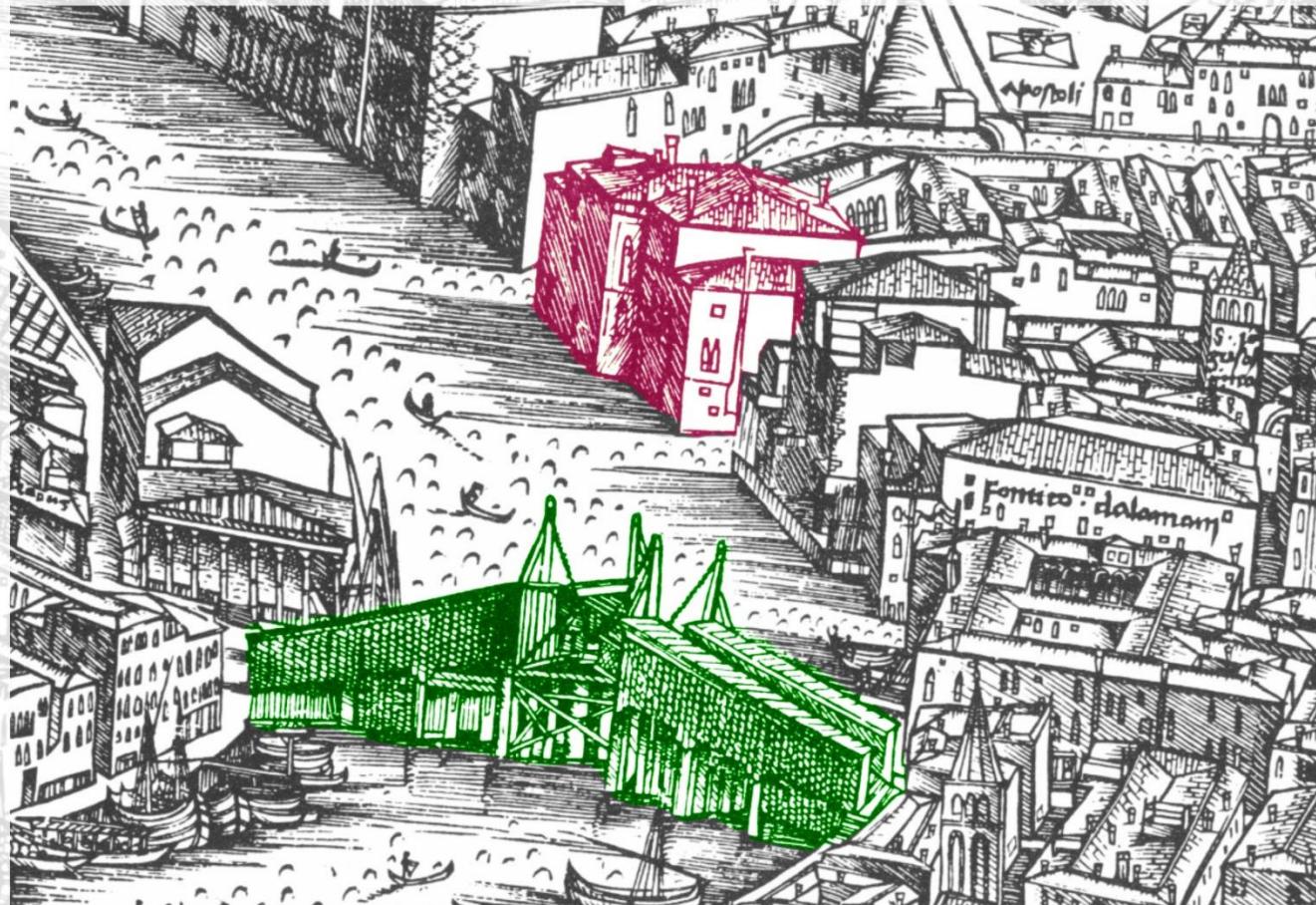


decremento del picco di sollecitazione flettente negativa sull'architrave ligneo da 199 000 kg·m a 96 000 kg·m (riduzione di oltre il 50%)

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