

8. Efficacia del sistema a tecnologia elettrofisica “a neutralizzazione di carica” contro l’acqua da risalita capillare nelle muraure della Basilica di San Simpliciano in Milano

Ing. Massimo Valentini, laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale per i Beni Culturali (Fi.T.Be.C.) – Dipartimento di Energia – Politecnico di Milano

Abstract

La relazione presenta i risultati di una ricerca condotta presso la basilica di San Simpliciano in Milano al fine di verificare i risultati ottenuti a seguito dell’installazione di un sistema elettrofisico per il risanamento delle murature di recente innovazione, basato sul principio attivo della “neutralizzazione di carica”. La ricerca, che si è svolta lungo un arco temporale di tre anni, ha evidenziato in maniera oggettiva l’azione positiva di deumidificazione delle murature esplicata dal sistema. L’elevato grado di dettaglio delle indagini svolte, unitamente alla qualità e quantità dei dati raccolti, appare giustificare l’attendibilità dei risultati conseguiti.

Introduzione

Il laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale per i Beni Culturali ha una lunga tradizione nella verifica delle tecnologie di intervento sulle murature umide, avendo seguito con ricerche di laboratorio e sul campo le diverse metodologie che si sono succedute nel tempo (“CATTANEO M., ZECCA S. (a.a. 1995/1996) - TINININI L. (a.a. 1997-1998) - , MANCINELLI E. (a.a. 1999-2000) - CAVALLARO S. (a.a. 2000-2001) - DE NICOLA E. (aa. 2006-2007)”), nella convinzione che un laboratorio universitario debba porsi a servizio della comunità scientifica e degli operatori del settore per approfondire la conoscenza e fornire indicazioni utili sui limiti e sulla reale efficacia di un qualsiasi intervento effettuato sui Beni culturali soprattutto nell’ottica della loro salvaguardia e conservazione nel tempo.

La relazione presenta i risultati di una ricerca condotta presso la basilica di San Simpliciano in Milano al fine di verificare i risultati ottenuti a seguito dell’installazione di un sistema elettrofisico per il risanamento delle murature di recente innovazione, basato sul principio attivo della “neutralizzazione di carica”. La ricerca, che si è svolta lungo un arco temporale di tre anni, ha evidenziato in maniera oggettiva l’azione positiva di deumidificazione delle murature esplicata dal sistema. L’elevato grado di dettaglio delle indagini svolte, unitamente alla qualità e quantità dei dati raccolti, appare giustificare l’attendibilità dei risultati conseguiti.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Regione Siciliana



Provincia di Ragusa



Comune di Ragusa
Un. Centri Storici

Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIATI DI ARCHITETTI, ARTISTI, URBANISTI



LEONARDO
SOLUTIONS



TECNOLOGIE PER IL CONTROLLO
E LA DEUMIDIFICAZIONE MURARIA

ciano in Milano al fine di verificare, in linea con gli obiettivi ricordati più sopra, i risultati ottenuti a seguito dell'installazione di un sistema elettrofisico per il risanamento delle murature di recente innovazione, basato sul principio attivo della "neutralizzazione di carica".

Alla sessione iniziale di misura dei contenuti di acqua delle murature effettuata prima dell'installazione del sistema elettrofisico "a neutralizzazione di carica" (misure che hanno confermato essere la risalita capillare la via preferenziale di apporto dell'acqua alle murature) ne sono seguite altre due a distanza, rispettivamente, di un anno e di tre anni, tempo che si ritiene sufficiente ad esprimere un giudizio sui risultati ottenuti in quanto appare confrontabile con i lenti processi di asciugatura di murature molto ricche di acqua e di grosso spessore quali quelle qui presenti.

La misura del contenuto di acqua è avvenuta col metodo ponderale; mentre la maggior parte dei Punti di misura è stata scelta in zone dell'edificio coperte dagli effetti del sistema di risanamento, due di questi sono invece posti in aree non influenzate dal sistema stesso in modo che i valori misurati in essi possano essere assunti come riferimento delle murature "tal quali".

Contemporaneamente, è stata effettuata una verifica con i risultati di prelievi vicini, ma caratterizzati con il metodo a carburo di calcio.

Alcuni dei campioni prelevati dalle murature e altri campionati da efflorescenze sono stati inoltre caratterizzati con cromatografia ionica per valutarne il contenuto in sali solubili. Tutte le tre sessioni di misura susseguitesesi nel tempo sono state precedute da una mappatura delle superfici con apparecchiatura termografica al fine di avere un ulteriore supporto strumentale, con una metodica non invasiva seppur di tipo qualitativo, per valutare la efficacia dell'intervento in esame.

I risultati mostrano una generale e chiara riduzione dei contenuti di acqua nelle murature con il passare del tempo, riduzione più marcata nei campioni prelevati negli strati più profondi della muratura, ovvero in quelli meno sensibili alle variazioni microclimatiche ambientali e agli effetti igroscopici dei sali superficiali.

Le implicazioni pratiche della campagna di misure, peraltro già individuate più sopra, trovano riscontro nel fatto che la conoscenza dei meccanismi di intervento e della efficacia di un sistema di risanamento di un Bene Culturale, soprattutto se verificati sul campo (tenuto conto della estrema singolarità di ciascun Bene e della conseguente difficoltà di studiarne il comportamento con modelli di laboratorio e/o numerici) vanno a vantaggio, siano essi positivi che negativi, degli operatori del settore e dei conservatori in quanto

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:

forniscono loro un supporto sperimentale nelle loro scelte di intervento. Più in generale, il vantaggio è della comunità in quanto il monitoraggio di un intervento proseguito anche molto più avanti nel tempo rispetto all'intervento stesso, garantisce sull'impegno a "ben" conservare il Bene culturale e a ritardare l'azione di degrado dell'ambiente il più possibile avanti nel tempo.



Fig.1 – Complesso di San Simpliciano.



Fig.2 – Alcuni esempi del degrado delle superfici.

L'edificio in esame

L'imponente complesso di San Simpliciano (Figura 1) fu eretto tra la fine del IV secolo e gli inizi del V: dalla originaria pianta a croce latina i vari rimaneggiamenti subiti nel corso dei secoli, in particolare la trasformazione romanica, hanno portato alla struttura attuale in laterizio con la maestosa facciata ed il pregevole portale di ingresso, l'interno dipartito in tre navate di differente ampiezza con grandi pilastrature sormontate da archi cordoli e vele, il tiburio ottagonale, l'attuale abside che ne sostituì una più ampia di cui rimangono tracce all'esterno, il campanile a pianta quadrata che poggia su pietre tombali.

Dopo la seconda guerra mondiale si intervenne con un restauro a carattere esclusivamente conservativo, durato fino verso la fine degli anni Ottanta, che ha interessato l'intero complesso.

Al momento dell'intervento qui descritto l'edificio mostrava evidenti segni di degrado imputabile alla presenza di acqua e sali nelle murature: efflorescenze, macchie, perdite dello strato superficiale nelle parti intonacate e addirittura lacune nei mattoni a vista (Figura 2).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



La situazione ha suggerito l'installazione di un sistema elettrofisico per il risanamento delle murature basato sul principio attivo della "neutralizzazione di carica".

Metodologia delle indagini

La valutazione della efficacia dell'impianto di risanamento installato nella chiesa di San Simpliciano, scopo delle indagini qui descritte, è stato raggiunto analizzando le variazioni dei contenuti di acqua delle murature nel tempo e nelle diverse aree della chiesa soggette o meno all'azione dell'impianto, mediante:

- la misura del contenuto di acqua nelle murature effettuato con il metodo ponderale e a carburo di calcio;
- la mappatura termografica delle superfici interne ed esterne della chiesa.

La misura dei contenuti di acqua nelle murature

Il metodo ponderale

La tecnica di misura ponderale consiste nella misura diretta del contenuto di acqua di un campione prelevato dalla muratura ("NORMA UNI 11055:2003"). Il prelievo viene effettuato con una punta con riporti in Widia di diametro pari a 10 mm, montata su un trapano elettrico mantenuto a bassa velocità di rotazione e sul quale si evita di esercitare una forte pressione allo scopo di evitare surriscaldamenti della punta che possono introdurre errori nella misura ("MAGGI V. (a.a. 1997-1998)").

Le polveri, raccolte in una provetta di vetro pirex, sono pesate in loco con una bilancia di elevata sensibilità per determinare il peso umido (PU). Le stesse polveri vengono quindi essiccate in stufa di laboratorio a 105 °C e, al raggiungimento di massa costante, nuovamente pesate per determinare il peso secco (PS).

Il contenuto di acqua è calcolato in termini percentuali riferiti al peso secco del campione:

$$CA = 100 \times (PU - PS)/PS \quad [1]$$

Il metodo è preciso e affidabile, non richiede calibrazioni preventive e permette la misu-

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Regione Siciliana



Provincia di Ragusa

Ente organizzatore:



Comune di Ragusa
Uff. Centri Storici

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI associato al patrimonio, ANCI 2008 restauratori



In collaborazione con:



LEONARDO
SOLUTIONS



TECNOLOGIE PER IL CONTROLLO
E LA DEUMIDIFICAZIONE MURARIA

ra dei contenuti di acqua a qualsiasi profondità e su qualsiasi tipo di struttura muraria. Per contro è invasivo sia perché prevede l'effettuazione di un foro nella muratura e di un prelievo di materiale (anche se il materiale prelevato è inferiore a 1 g) sia perché la ripetizione nel tempo della misura richiede di effettuare un nuovo foro non potendo prelevare nuovo materiale in quello precedente ("CASELLATO U., VALENTINI M., SOROLDONI L. (2011)"). Il metodo è anche "puntuale", il che significa che la valutazione del contenuto di acqua di una parete o di un intero edificio richiede l'effettuazione di una discreta quantità di prelievi.

Nel caso di San Simpliciano, sono state scelte 7 Aree di misura (zone delle pareti nelle quali vengono effettuati i prelievi) distribuite nel Transetto di sinistra e nella Navata di destra, in zone dell'edificio soggette all'azione di uno dei tre apparecchi per la deumidificazione installati nella chiesa. Due altre Aree di misura sono invece poste in due zone non soggette all'impianto di risanamento (Navata sinistra e Transetto destro) e sono quindi state considerate come i riferimenti della muratura "tal quale".

Nella maggior parte delle Aree di misura sono stati scelti due Punti di misura posti l'uno alla quota di circa 30 cm dal piano di calpestio e uno a 160 cm, quota scelta per verificare che l'azione della risalita capillare fosse effettivamente esaurita così come lasciavano intendere le tracce del fronte di risalita visibili sulle pareti che si fermavano, appunto, ad un'altezza di poco inferiore.

In tutti i Punti di misura sono stati prelevati due campioni, uno in superficie (tra 0,5 e 2 cm dalla superficie) e uno in profondità (tra 6 e 8 cm dalla superficie).

Alla prima sessione di misure, eseguita nel maggio 2009 immediatamente prima dell'avvio dell'impianto di risanamento, ne sono seguite altre due nel settembre 2010 e nell'aprile 2012, rispettivamente dopo 16 mesi e dopo 3 anni di funzionamento dell'impianto.

Vicino ai Punti di misura alla quota di circa 30 cm posti nel Transetto di destra e nella Navata di sinistra (cioè quelli in zone soggette all'azione dell'impianto di risanamento) e con la stessa frequenza temporale appena indicata per le misure col metodo ponderale, sono stati prelevati degli altri campioni di muratura sottoposti alla misura dei contenuti di acqua con il metodo del carburo di calcio.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano



In collaborazione con:



Il metodo a carburo di calcio

Il metodo, anch'esso descritto in una norma UNI preparata dalla Commissione Beni culturali ("NORMA UNI 11055:2004"), misura la pressione dell'acetilene sviluppata dalla reazione tra l'acqua contenuta nel campione prelevato dalla muratura ed una data quantità di carburo di calcio. Con un'apposita calibratura si può quindi risalire dalla pressione del gas prodotto alla quantità di acqua presente nel campione, nota ovviamente la quantità di carburo di calcio presente. La sensibilità della reazione e le quantità di materiale utilizzate richiedono campioni di massa maggiore rispetto al metodo ponderale (dai 5 ai 10 g) e ciò comporta la necessità di effettuare il campionamento con una punta a tazza che dà luogo pertanto a fori di diametro maggiore. Anche per questa ragione, la ripetizione della misura nel tempo è stata effettuata proseguendo in profondità nello stesso foro proprio per evitare di farne un altro nelle vicinanze; tra le due misure successive il foro è stato tappato.

In genere le curve di calibratura forniscono il contenuto di acqua in percentuale rispetto al peso umido (CAu), che può essere facilmente convertito rispetto al peso secco (CAs) con la relazione

$$CAs = CAu / (1 - CAu / 100) \quad [2]$$

L'analisi dei sali solubili

Anche se non direttamente necessaria alla valutazione dell'efficacia del sistema di risanamento, ma consuetudine del laboratorio per valutare lo stato di degrado della muratura, su alcuni dei campioni prelevati nella prima sessione di misure sono state effettuate le analisi dei contenuti in sali solubili mediante analisi con cromatografia ionica.

I campioni prelevati

Le Aree di misura scelte nella chiesa sono indicate nella seguente Figura 3

Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIATI DI RESTAURATORI, ARTISTI, URBANISTI



In collaborazione con:



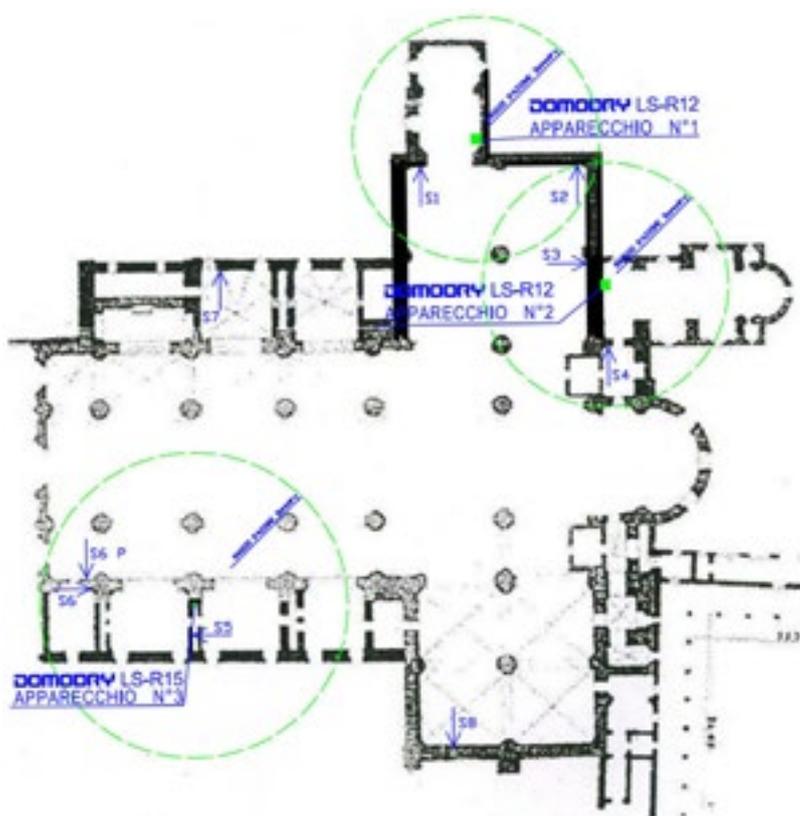


Fig. 3 - Posizione delle Aree di misura e indicazione delle aree di azione del sistema elettrostatico "a neutralizzazione di carica".

L'elenco dei Punti di misura, la loro altezza e profondità e le misure eseguite su di essi sono invece presentati nella Tabella 1 (pagina successiva).

La termografia

La termografia è una tecnica di indagine non invasiva che restituisce la distribuzione di temperature su una superficie espressa generalmente in forma grafica attribuendo alle diverse temperature un colore in modo da fornire immediatamente la mappatura termica (Figura 4a); nei termogrammi è poi possibile associare ad ogni punto il corrispondente valore di temperatura o addirittura visualizzare l'andamento delle

temperature di una verticale (Figura 4b).

Dato che la presenza di acqua sulla superficie (la termografia "vede" solo pochi centimetri in profondità) è associata alla sua evaporazione in ambiente, evaporazione che è possibile solo prelevando calore dalla muratura stessa, la superficie bagnata ha una temperatura inferiore a quella asciutta ed è quindi visibile con un colore diverso (generalmente più scuro) rispetto alle parti asciutte.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



PUNTO	MATERIALE	ALTEZZA [cm]	PROF. [cm]	PONDERALE	CARBURO	SALI
S1-S-30	MATTONE	26	2	SI	SI	
S1-P-30	MATTONE	26	8	SI	NO	
S1-C	MATTONE	26?	da 4 a 4.8	NO	SI	NO
S1-S-160	MATTONE	160	2	SI		
S1-P-160	MATTONE	160	8	SI		
S2-S-30	INT-MAT	30	2	SI		
S2-P-30	MATTONE	30	8	SI		
S2-C	MATTONE	30	da 2 a 3,5	NO	SI	NO
S2-S-160	MATTONE	160	2	SI		
S2-P-160	MATTONE	160	8	SI		
S3-S-30	MATTONE	26	2	SI		
S3-P-30	MATTONE	26	8	SI		
S3-C	MATTONE	22	da 2.2 a 3,3	NO	SI	NO
S3-S-160	MATTONE	160	2	SI		
S3-P-160	MATTONE	160	8	SI		
S4-S-30	MATTONE	27	2	SI		
S4-P-30	MATTONE	27	8	SI		
S4-C	MATTONE	26	da 3 a 4.8	NO	SI	NO
S4-S-160	MATTONE	160	2	SI		
S4-P-160	MATTONE	160	8	SI		
S5-S-30	INTONACO	30	2	SI		
S5-P-30	MATTONE	30	8	SI		
S5-C	MATTONE	30	da 6 a 7,5	NO	SI	NO
S5-S-160	INTONACO	160	2	SI		
S5-P-160	MALTA	160	8	SI		
S6-S-30	INTONACO	30	2	SI		
S6-P-30	MATTONE	30	8	SI		
S6-C	MATTONE	32	da 5 a 6,5	NO	SI	NO
S6P-S-30	MATTONE	30	2	SI		
S6P-P-30	MATTONE	30	8	SI		
S7-S-30	INTONACO	10	2	SI		
S7-S-30	MATTONE	10	8	SI		
S8-S-30	INTONACO	30	2	SI		
S8-P-30	MATTONE	10	8	SI		

Tab. 1 - Elenco, riferimenti e tipologia di misure effettuate nei diversi Punti di misura.

Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



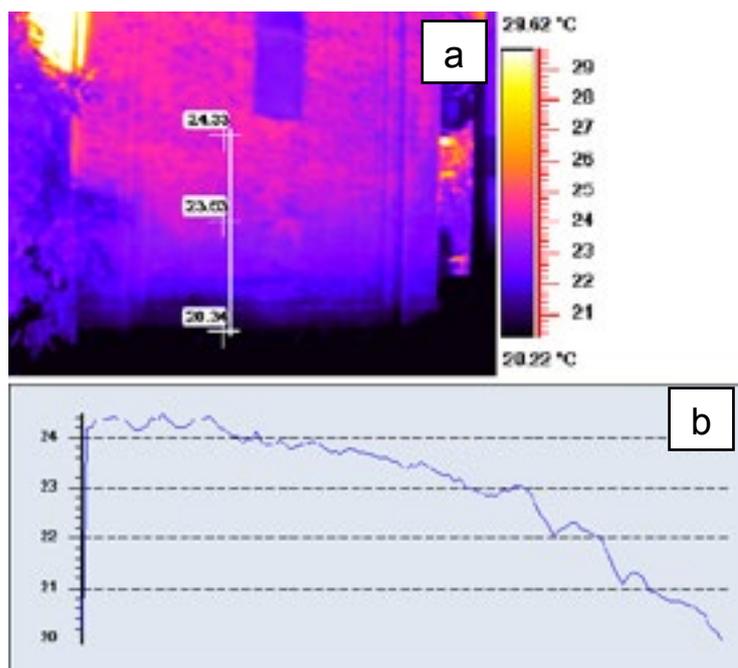


Fig. 4 - Un esempio di termogramma (a) e di andamento delle temperature lungo la verticale indicata nel termogramma (b).

Il sistema è molto utilizzato per la sua non invasività anche se è da considerarsi un metodo qualitativo che fornisce cioè solo un “suggerimento” sullo stato igrometrico delle murature sia perché riporta solo la situazione dello strato superficiale della muratura, sia perché i termogrammi sono fortemente influenzati dalle condizioni ambientali microclimatiche al contorno.

Tuttavia, mettendo in correlazione l’immagine termografica con il dato fornito, nel medesimo tratto di muratura, dalla misurazione puntuale del contenuto d’acqua, risulta possibile con buona approssimazione estrapolare i dati forniti dalle immagini termografiche anche alle zone non direttamente indagate tramite prelievi puntuali, con ovvi vantaggi in termini di estensione, quantità e ripetibilità dei dati acquisibili senza necessità di ulteriori prelievi invasivi.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



Risultati

I risultati ottenuti con il metodo ponderale sono riportati nella Tabella 2.

PUNTO	MATERIALE	ALTEZZA [cm]	PROF [cm]	CONTENUTI DI ACQUA [%]		
				MAGGIO 2009	SETTEMBRE 2010	APRILE 2012
S1-S-30	MATTONE	26	2	1,8	1,4	1,6
S1-P-30	MATTONE	26	8	8,0	5,4	2,3
S1-S-160	MATTONE	160	2	0,7	0,9	1,4
S1-P-160	MATTONE	160	8	0,4	0,3	0,4
S2-S-30	INT-MAT	30	2	21,8	15,6	16,5
S2-P-30	MATTONE	30	8	16,8	7,2	4,1
S2-S-160	MATTONE	160	2	0,7	0,5	0,4
S2-P-160	MATTONE	160	8	0,4	0,3	0,4
S3-S-30	MATTONE	26	2	7,8	6,8	4,3
S3-P-30	MATTONE	26	8	7,7	6,4	2,5
S3-S-160	MATTONE	160	2	4,1	2,7	3,4
S3-P-160	MATTONE	160	8	0,3	0,3	0,5
S4-S-30	MATTONE	27	2	1,7	1,5	1,2
S4-P-30	MATTONE	27	8	1,7	1,7	1,0
S4-S-160	MATTONE	160	2	0,4	0,3	0,5
S4-P-160	MATTONE	160	8	0,4	0,3	0,5
S5-S-30	INTONACO	30	2	3,5	2,7	3,8
S5-P-30	MATTONE	30	8	4,5	4,1	1,8
S5-S-160	INTONACO	160	2	1,6	1,4	1,2
S5-P-160	MALTA	160	8	1,4	1,4	1,6
S6-S-30	INTONACO	30	2	6,1	4,4	6,1
S6-P-30	MATTONE	30	8	8,3	6,5	6,5
S6P-S-30	MATTONE	30	2	6,6	6,6	6,2
S6P-P-30	MATTONE	30	8	4,8	5,0	3,8
S7-S-30	INTONACO	10	2	3,3	3,4	3,3
S7-P-30	MATTONE	10	8	3,1	2,9	2,7
S8-S-30	INTONACO	30	2	5,5	5,8	4,6
S8-P-30	MATTONE	30	8	3,2	1,5	0,8

Tab. 2 - Valori di contenuto di acqua misurati con il metodo ponderale nelle 3 sessioni di misura.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIATI DI ARCHITETTI, ARTISTI, URBANISTI



In collaborazione con:



I risultati ottenuti con il metodo a carburo di calcio sono riportati in Tabella 3.

CONTENUTI DI ACQUA [%]						
PUNTO	MATERIALE	ALTEZZA [cm]	PROF [cm]	MAGGIO 2009	SETTEMBRE 2010	APRILE 2012
S1-C	MATTONE	26	da 4 a 4,8	3,09	1,21	1,21
S2-C	MATTONE	30	da 2 a 3,5	24,38	17,10	3,73
S3-C	MATTONE	22	da 2,2 a 3,3	19,05	13,90	3,09
S4-C	MATTONE	26	da 3 a 4,8	5,71	2,46	0,20
S5-C	MATTONE	30	da 6 a 7,5	7,76	4,17	1,11
S6-C	MATTONE	32	da 5 a 6,5	1,63	1,01	0,20

Tab. 3 - Valori di contenuto di acqua misurati con il metodo a carburo di calcio nelle 3 sessioni di misura.

I contenuti percentuali in sali solubili dei campioni analizzati sono riportati nelle Tabelle 4 (anioni) e 5 (cationi).

POSIZIONE	MATERIALE	FLUORURI [%]	CLORURI [%]	NITRITI [%]	NITRATI [%]	FOSFATI [%]	SOLFATI [%]	OSSALATI [%]
S2-S-30	INTONACO	0,00	0,03	0,00	0,13	0,00	0,37	0,00
S2-P-30	MATTONE	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00
S2-S-160	MATTONE	0,00	0,04	0,00	0,33	0,00	0,03	0,03
S2-P-160	MATTONE	0,00	0,02	0,00	0,14	0,00	0,01	0,00
S3-S-30	MATTONE	0,00	0,01	0,00	0,04	0,55	0,68	0,00
S3-P-30	MATTONE	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	1,24	0,28
S3-S-160	MATTONE	0,00	0,35	0,00	1,93	0,00	0,62	0,00
S3-P-160	MATTONE	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
S5-S-30	INTONACO	0,00	0,29	0,00	1,85	0,00	0,11	0,00
S5-P-30	MATTONE	0,00	0,37	0,00	2,05	0,01	0,17	0,00
S5-S-160	INTONACO	0,00	0,01	0,01	0,09	0,00	0,12	0,03
S5-P-160	MALTA	0,00	0,01	0,00	0,05	0,02	0,06	0,05
S6P-S-30	MATTONE	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	9,76	0,00
S6P-P-30	MATTONE	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	1,75	0,37
S7-S-30	INTONACO	0,00	0,05	0,00	0,37	0,00	0,68	0,35
S7-P-30	MATTONE	0,00	0,02	0,00	0,14	0,09	0,42	0,00

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI



Comune di Ragusa
Un. Centri Storici

Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano



In collaborazione con:

S1	EFFLORESCENZA	0,00	0,04	0,00	3,16	0,00	57,49	0,00
S2	EFFLORESCENZA	0,00	0,03	0,00	14,70	0,00	77,43	0,00
S3	EFFLORESCENZA	0,00	0,24	0,00	2,95	0,00	49,63	0,00
S3	EFFLORESCENZA	0,00	0,02	0,00	0,17	0,00	58,22	0,00
S5	INTONACO	0,00	0,21	0,00	13,89	0,13	0,73	0,00
S6-P	EFFLORESCENZA	0,00	0,07	0,00	2,11	0,00	63,19	0,01
S7	EFFLORESCENZA	0,00	0,03	0,00	0,64	0,00	55,61	0,00

Tab. 4 - Contenuto in sali solubili (anioni).

POSIZIONE	MATERIALE	POTASSIO [%]	AMMONIO [%]	SODIO [%]	MAGNESIO [%]	CALCIO [%]
S2-S-30	INTONACO	0,53	0,04	0,04	0,10	0,81
S2-P-30	MATTONE	0,46	0,06	0,05	0,13	0,77
S2-S-160	MATTONE	0,61	0,03	0,06	0,07	0,51
S2-P-160	MATTONE	0,47	0,02	0,04	0,03	0,00
S3-S-30	MATTONE	0,55	0,08	0,08	0,24	0,37
S3-P-30	MATTONE	0,64	0,02	0,03	0,62	0,52
S3-S-160	MATTONE	1,42	0,05	1,24	0,49	1,16
S3-P-160	MATTONE	0,46	0,08	0,09	0,06	0,00
S5-S-30	INTONACO	0,80	0,04	1,13	2,13	0,72
S5-P-30	MATTONE	0,83	0,00	1,15	0,53	1,31
S5-S-160	INTONACO	0,41	0,04	0,06	3,29	0,52
S5-P-160	MALTA	0,45	0,05	0,07	0,42	1,23
S6P-S-30	MATTONE	0,69	0,03	0,40	0,43	5,04
S6P-P-30	MATTONE	0,70	0,15	0,17	0,25	1,16
S7-S-30	INTONACO	0,74	0,03	0,54	3,27	0,45
S7-P-30	MATTONE	0,69	0,02	0,43	0,27	0,60
S1	EFFLORESCENZA	4,06	0,00	0,89	24,04	2,37
S2	EFFLORESCENZA	10,77	0,00	3,89	0,00	0,74
S3	EFFLORESCENZA	2,54	0,00	6,94	20,23	2,14
S3	EFFLORESCENZA	0,71	0,02	0,31	24,41	2,65
S5	INTONACO	0,97	0,00	14,16	1,45	0,71
S6-P	EFFLORESCENZA	0,70	0,02	0,40	22,54	7,71
S7	EFFLORESCENZA	0,70	0,00	0,85	22,58	4,25

Tab. 5 - Contenuto in sali solubili (cationi).

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGNI ASSOCIATO DI ATTIVITÀ, ARTI E UFFICI RESTAURO



In collaborazione con:



Nel seguito saranno riportate solo alcune delle diverse immagini termografiche rilevate nelle varie sessioni di misura.

Analisi dei risultati

La situazione prima dell'intervento

Le misure effettuate nel maggio 2009 permettono di analizzare la situazione igrometrica delle murature "tal quali" prima dell'avvio del sistema elettrofisico "a neutralizzazione di carica". Calcolando, per ciascun Punto di misura, il valore medio di contenuto di acqua tra quello misurato nel campione prelevato in superficie e quello in profondità, si può avere una prima valutazione complessiva dello stato igrometrico dell'edificio (Figura 5): i contenuti di acqua sono generalmente elevati in tutta la chiesa, con valori maggiori alla quota di 30 cm rispetto a quella di 160 cm (la media aritmetica di tutte le misure registrate nei Punti da S1 ad S5, nei quali sono state effettuate le misure alle due quote, indica un valore del 7,5% per la quota di 30 cm e 1,0 % alla quota di 160 cm.

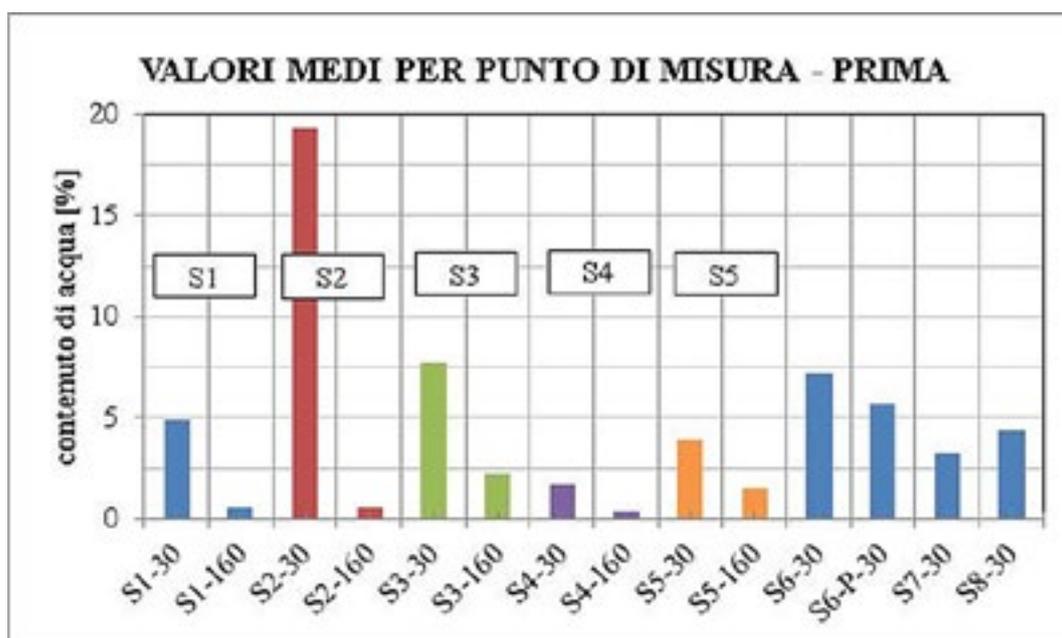


Fig. 5 - Medie dei valori di contenuto di acqua superficiali e profondi di ciascun Punto di misura rilevati nel maggio 2009.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



I risultati delle singole misure, suddivisi tra le due quote per comodità di lettura, sono mostrati nei grafici delle Figure 6 e 7.

I valori elevati registrati nelle misure alle due profondità dei Punti alla quota inferiore indicano che la presenza di acqua è notevole ed è diffusa nell'intera struttura muraria (calcolando ancora una media aritmetica di tutti i valori riportati in Figura 6 si ottiene un contenuto di acqua medio del 6,5 % in superficie e del 6,4 % in profondità) ad ulteriore riprova che è la risalita capillare dal terreno ad essere la principale via di apporto di acqua alla muratura.

Alla quota superiore (Figura 7), i valori rientrano al disotto del 2% con contenuti in profondità inferiori a quelli superficiali, indicando con ciò l'esaurimento della risalita capillare e la presenza nelle murature di acqua imputabile unicamente ai "fisiologici" fenomeni igroscopici legati alla struttura porosa dei materiali. Fa eccezione il Punto S2, il cui elevato tenore di acqua in superficie è probabilmente dovuto alla forte azione igroscopica esercitata dai sali (principalmente nitrati, solfati e cloruri) che qui, più che altrove, sono presenti sulla superficie (si vedano le Tabelle 4 e 5).

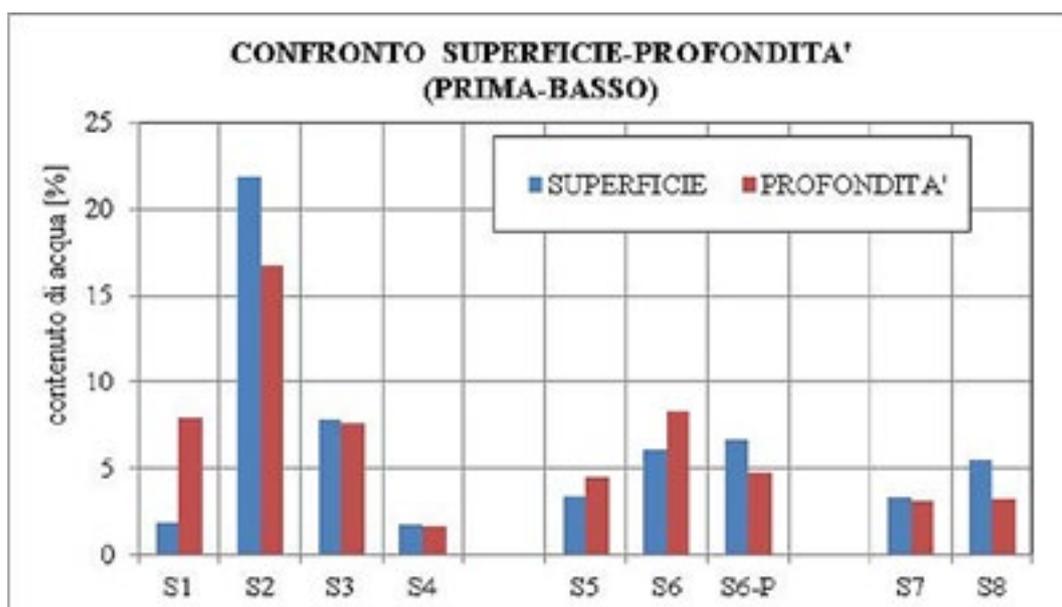


Fig. 6 - Valori di contenuto di acqua misurati alle due profondità (superficie e profondo) in ciascun Punto di misura posto alla quota di 30 cm dal piano di calpestio interno (misure del maggio 2009).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



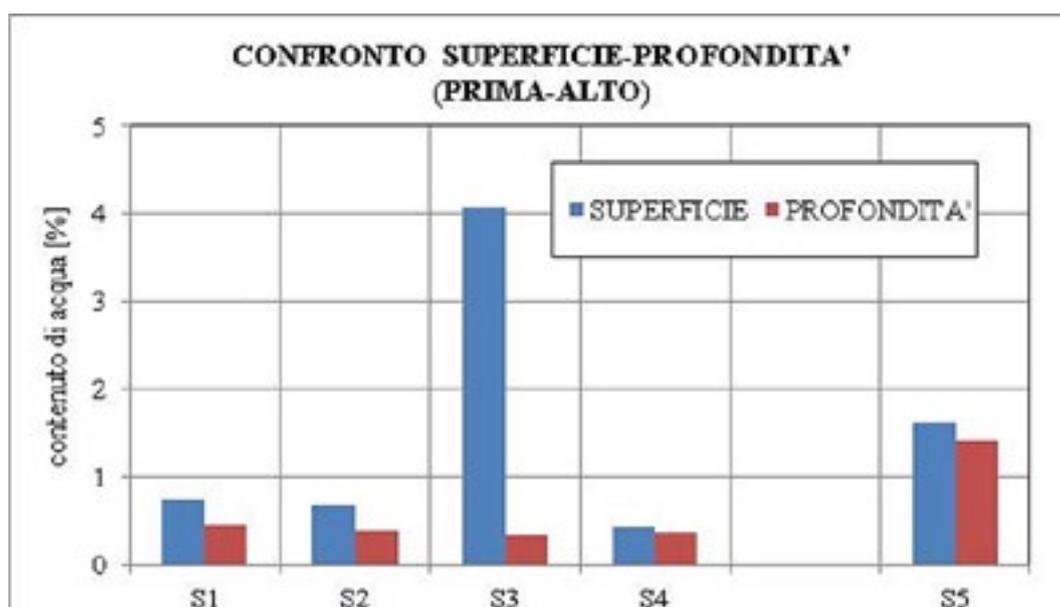


Fig. 7 - Valori di contenuto di acqua misurati alle due profondità (superficie e profondo) in ciascun Punto di misura posto alla quota di 160 cm dal piano di calpestio interno (misure del maggio 2009).

Analisi del comportamento dell'impianto di risanamento

Tenuto conto che le caratteristiche "puntuali" del metodo ponderale rendono necessaria la misura di contenuto di acqua in diversi "punti" per riuscire a risalire allo stato igrometrico di un edificio, il comportamento igrometrico globale della chiesa di San Simpliciano può essere analizzato, in prima battuta, usando le medie aritmetiche dei valori di contenuto di acqua di tutti i Punti di misura. Per quanto visto in precedenza ci si limita ai valori misurati alla quota di 30 cm (dove i tenori di acqua sono più elevati e maggiore è il numero di Punti di misura). Data la posizione dei tre impianti di risanamento, sono stati accorpati tra loro i Punti di misura posti nel Transetto (S1 – S2 – S3 – S4) e quelli della Navata (S5 – S6 – S6P) confrontandoli con quelli della muratura "tal quale" (S7 – S8).

Le due zone della chiesa (Transetto e Navata) soggette all'azione dell'impianto di risanamento mostrano una riduzione costante nel tempo dei valori di contenuto di acqua (Figura 8).

Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



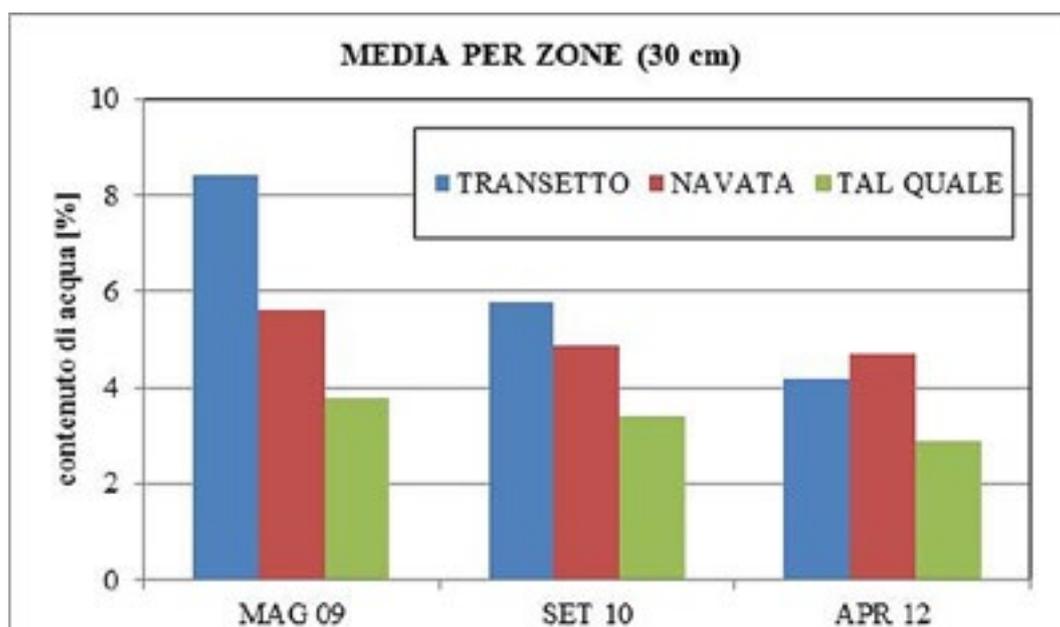


Fig. 8 - Andamenti nel tempo delle medie dei valori rilevati in tutti i Punti di misura del Transetto e della Navata, confrontati con quelle rilevate nella muratura “tal quale”.

A parte l'aumento del settembre 2010, anche la muratura “tal quale” presenta una riduzione nel tempo dei contenuti di acqua che fa supporre che l'intero edificio nel periodo triennale considerato abbia subito una generale “asciugatura” imputabile alle variazioni, non controllabili, delle condizioni al contorno. Ciò, seppur positivo per la salvaguardia della struttura, rende più difficile il compito di verificare l'efficacia dell'impianto elettrofisico che sembra comunque aver aggiunto un incremento positivo alla tendenza alla riduzione dei contenuti di acqua imputabile al “contorno”, incremento che appare dal confronto tra le differenze percentuali tra i valori misurati all'inizio e alla fine dell'intero ciclo di misure (maggio 2009 - aprile 2012), mostrato in Tabella 6.

Nella Tabella sono riportate, in percentuale rispetto al maggio 2009, le differenze tra i valori di contenuto di acqua misurati nell'aprile 2012 e quelli iniziali del maggio 2009 per i singoli Punti di misura della quota 30 cm e distinguendo tra superficie e profondità. Vengono anche riportate le variazioni globale nella zona del Transetto (Punti di misura S1 – S2 –S3 –S4) e della Navata (Punti di misura S5 – S6 –S6P).

Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



PUNTO DI MISURA	SUPERFCIE [%]	PROFONDITA' [%]	TOTALE PUNTO DI MISURA [%]
S1	-13	-71	-60
S2	-25	-75	-47
S3	-45	-67	-56
S4	-31	-40	-35
S5	9	-60	-30
S6	1	-22	-12
S6-P	-7	-21	-13
S7	0	-11	-5
S8	-15	-74	-37
TRANSETTO (S1-S2-S3-S4)	X	X	-50
NAVATA (S5-S6-S6P)	X	X	-18

Tab. 6 - Riduzioni dei contenuti di acqua delle murature nel tempo (maggio 2009–aprile 2012). Nell'ultima colonna di destra sono riportati i valori misurati alle due profondità di ciascun Punto di misura.

La riduzione percentuale maggiore si è avuta nel Transetto (- 50%), mentre la Navata ha fatto registrare un - 18% che appaiono superiori alle riduzioni registrate nei due Punti di misura della muratura “tal quale”: rispettivamente, - 37 % (totale) di S8 (Transetto) e - 5% di S7 (Navata).

L'analisi dei valori di contenuto di acqua dei singoli Punti di misura e le loro variazioni nel tempo sono utili per individuare il comportamento delle murature sotto l'azione del sistema elettrofisico “a neutralizzazione di carica”.

La Figura 9 mostra il confronto tra i valori misurati a tre anni di distanza (maggio 2009 – aprile 2012) alla quota di 30 cm nei singoli Punti di misura alle due profondità (con esclusione, per comodità di lettura del grafico dei Punti della muratura “tal quale”).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



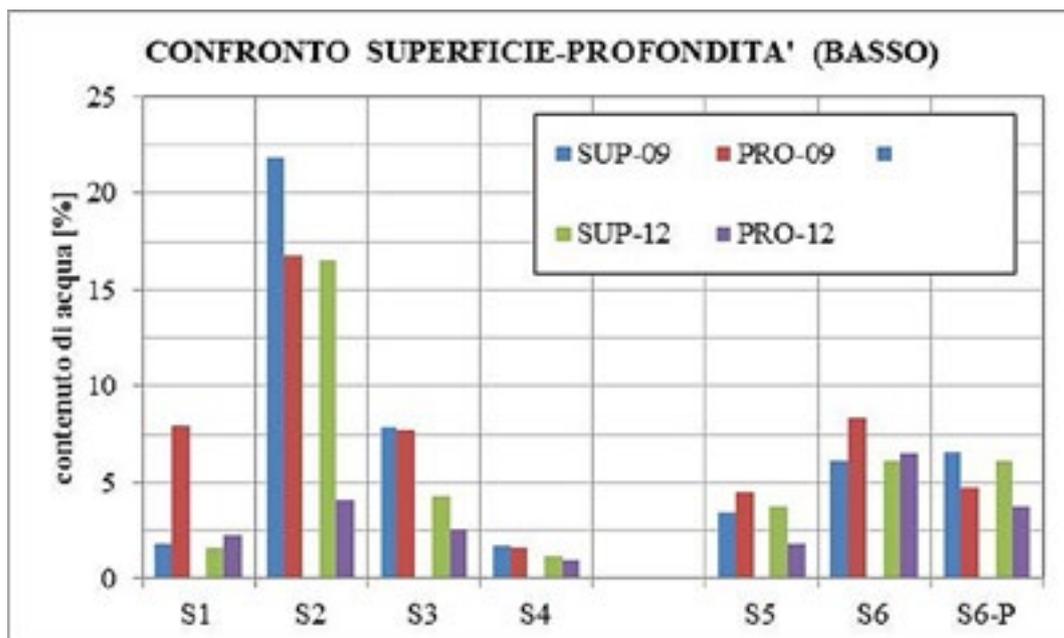


Fig. 9 - Valori di contenuto di acqua misurati in superficie (SUP) e profondità (PRO) in ciascun Punto di misura posto alla quota di 30 cm dal piano di calpestio interno (confronto tra le misure del maggio 2009 e quelle dell'aprile 2012).

Si possono apprezzare la diminuzione dei contenuti di acqua di tutte le misure in profondità, la diminuzione in superficie nei Punti di misura del Transetto, la pressoché costanza dei valori superficiali nei Punti della Navata. Mentre nel maggio 2009 il valore medio globale calcolato su tutte le misure indicava un contenuto di acqua praticamente uguale nell'intera struttura muraria e pari al 6,5% in superficie e al 6,4 % in profondità (così come già indicato al Punto 5.1) a tre anni di funzionamento dell'impianto si è passati al 5,3 % della superficie e al 2,8 % in profondità.

I valori in profondità sono quindi diminuiti molto più che quelli in superficie che hanno probabilmente risentito di un effetto "secondario" dell'impianto: se questo, come appare dall'analisi precedente, interviene sulla risalita capillare interrompendone il flusso, l'acqua comunque presente nella muratura tende nel tempo a spostarsi verso la superficie dove va a sostituire quella che, per evaporazione, abbandona la struttura muraria. In tal modo la superficie sarà quella che si asciuga in un tempo maggiore in quanto da essa deve "transitare" l'acqua rimasta nella struttura. Questo spostamento di acqua porterà con sé anche i sali che affioreranno nel tempo sulle superfici murarie, così come in effetti

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano



In collaborazione con:



sta già succedendo a San Simpliciano. Quella avanzata è solo un'ipotesi basata su un risultato numerico e su una interpretazione teorica del movimento di acqua all'interno di una muratura che le attuali misure non sono in grado di verificare, ma che il laboratorio intende esplorare più nel dettaglio.

Una maggiore presenza di sali in superficie comporta peraltro, a causa dell'igroscopicità dei sali stessi, un ulteriore aumento dell'acqua presente in superficie (assorbita dall'ambiente dai sali igroscopici). In tal caso, il problema potrà essere risolto tramite un apposito intervento di risanamento della superficie muraria, volto ad estrarre/rimuovere dalla superficie stessa i sali in eccesso (ad es. tramite impacchi con specifici prodotti).

Tornando all'obiettivo principale della verifica dell'efficacia del sistema di risanamento, si riportano nella Figura 10 i valori misurati nel tempo con il metodo a carburo di calcio, per indicare come anche con questa tecnica di misura sia ancora più chiara e uniforme la tendenza alla riduzione nel tempo dei contenuti di acqua delle murature (ma per quanto detto in precedenza ci si riferisce a misure effettuate alla sola quota di 30 cm e prelevando, in ciascuna sessione di misure, un solo campione ad una data profondità dalla superficie, e a profondità ogni volta crescente con il procedere dei prelievi, dato che questi vengono effettuati, tramite carotaggio, sempre nel medesimo punto).

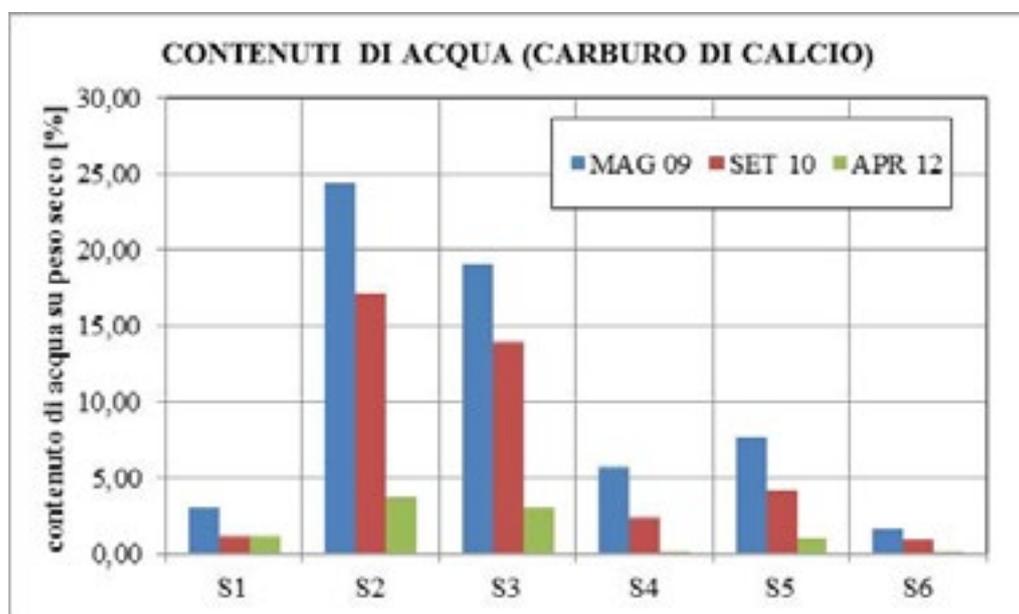


Fig. 10 - Valori di contenuto di acqua misurati con il metodo a carburo di calcio alla quota di 30 cm nelle tre sessioni di misura.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:

Anche le termografie ripetute sulle diverse superfici della chiesa hanno indicato una generale riduzione delle zone umide presenti alla base della muratura con pareti che presentano una distribuzione di temperature sempre più uniforme (ovvero una significativa riduzione del gradiente termico tra la porzione superiore e quella inferiore della muratura) a tre anni di funzionamento dell'impianto di risanamento.

A titolo di esempio, in Figura 11 si riporta una scheda con le immagini nel campo del visibile, le corrispondenti immagini termografiche e i profili di temperatura lungo una verticale per la zona del Punto di misura S2.

Analogamente, in Figura 12 la scheda termografica per la zona del Punto di misura S3.



Fig. 11.a - Immagine nel visibile
(cfr. termografie fig. 11.b-c-d).



Fig. 12.a - Immagine nel visibile
(cfr. termografie fig. 12.b-c-d).

Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



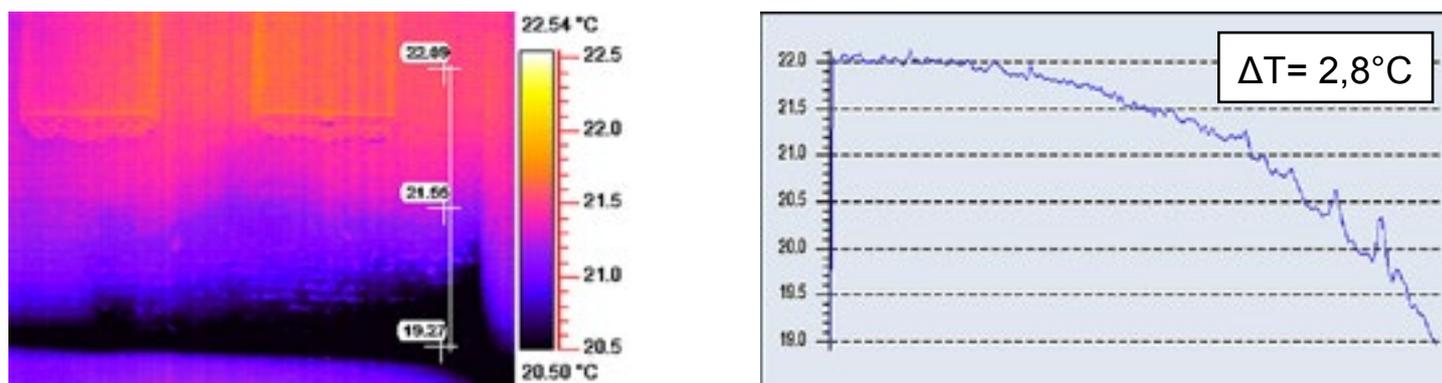
UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
collaborazioni in architettura, arte e urbanistica

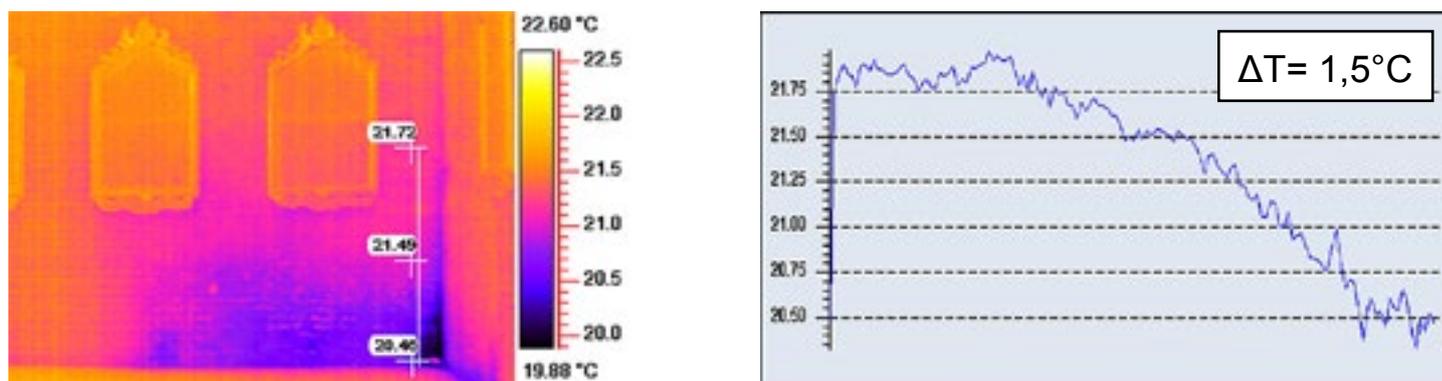


In collaborazione con:

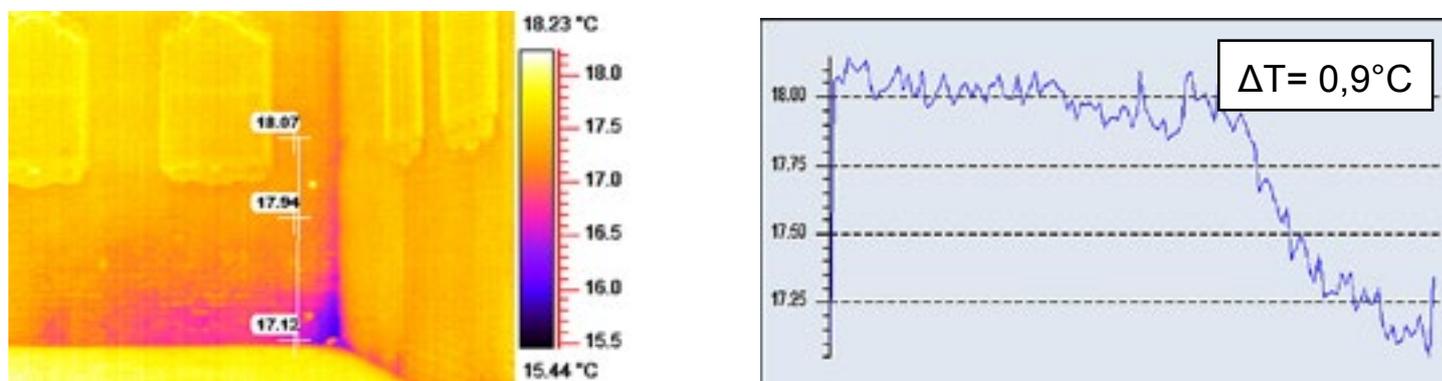




b) Mappatura termografica di maggio 2009



c) Mappatura termografica di settembre 2010



d) Mappatura termografica di aprile 2012

Fig. 11 - Immagine nel visibile della zona del Punto di misura S2 (a) e immagini termografiche e grafici delle temperature superficiali lungo la verticale rilevati nel maggio 2009 (b), settembre 2010 (c) e aprile 2012 (d).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

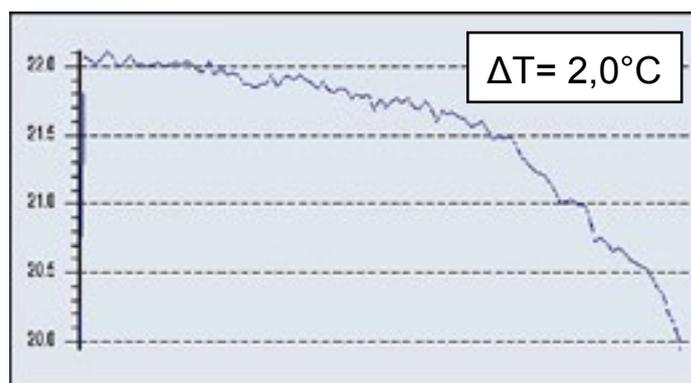
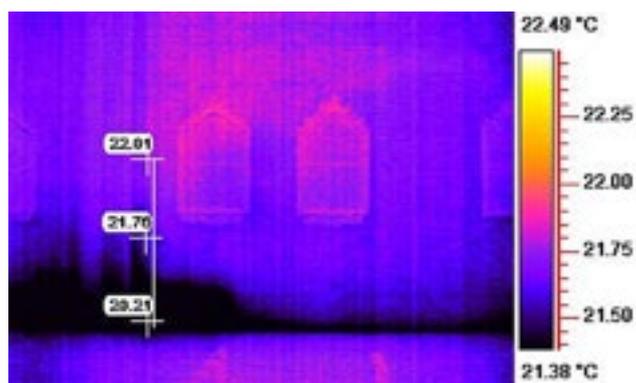


Altri Enti Patrocinanti:

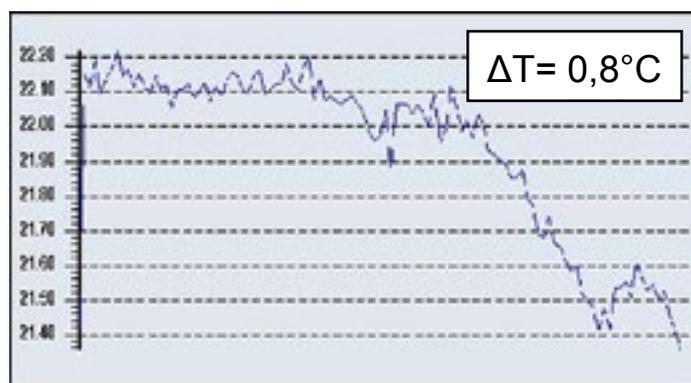
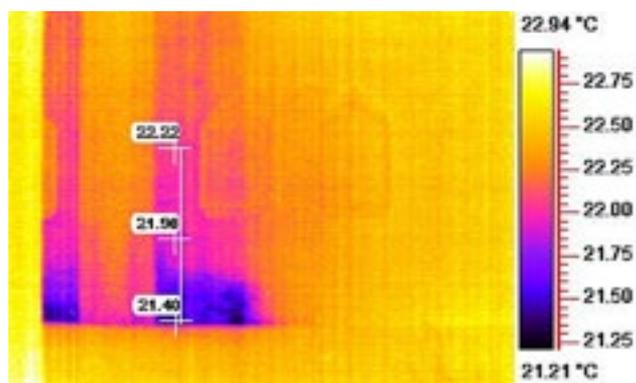


In collaborazione con:

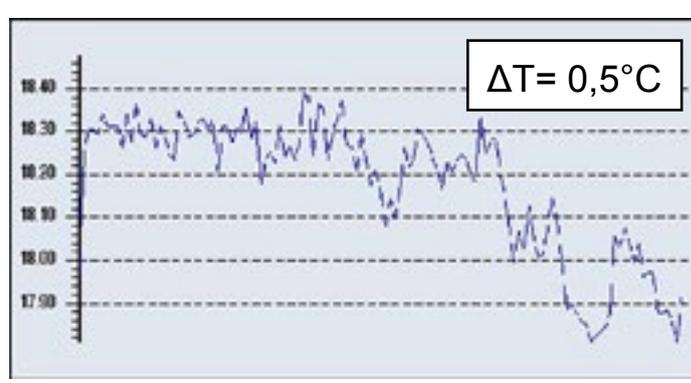
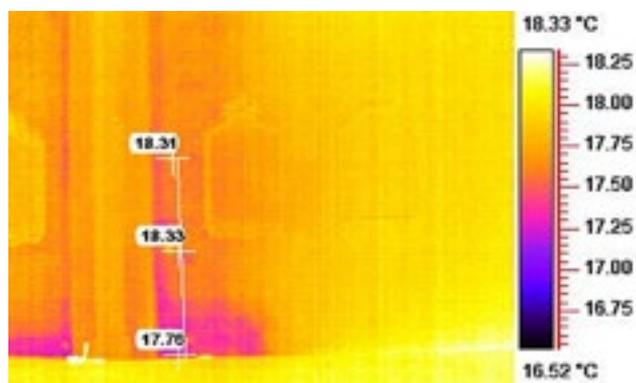




b) Mappatura termografica di maggio 2009



c) Mappatura termografica di settembre 2010



d) Mappatura termografica di aprile 2012

Fig. 12 - Immagine nel visibile della zona del Punto di misura S3 (a) e immagini termografiche e grafici delle temperature superficiali lungo la verticale rilevati nel maggio 2009 (b), settembre 2010 (c) e aprile 2012 (d).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



Conclusioni

L'analisi condotta più sopra sui risultati della campagna di misure effettuate nella chiesa di San Simpliciano a Milano mostra alcuni importanti aspetti.

Da un punto di vista metodologico è una ulteriore conferma dell'attendibilità e dell'affidabilità delle procedure adottate (pur se limitate in termini di quantità di grandezze misurate rispetto alle consuete prassi del laboratorio), procedure che sono state messe a punto in linea con le passate esperienze del laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale per i Beni Culturali in campo diagnostico e continuamente verificate nel corso del tempo.

E' stato possibile evidenziare in maniera oggettiva l'azione positiva di deumidificazione delle murature del sistema elettrofisico " a neutralizzazione di carica".

E' un chiaro esempio di come, anche con un monitoraggio costituito da poche misure ripetute nel tempo, sia possibile analizzare il comportamento di un intervento effettuato su un Bene culturale e valutarne l'efficacia. Questo ultimo aspetto è quello che maggiormente rientra negli obiettivi di "larga scala" del laboratorio Fi.T.Be.C. che come detto all'inizio ritiene preciso compito di un laboratorio universitario quello di porsi come figura indipendente di supporto agli operatori del settore per fornire loro strumenti oggettivi di conoscenza utili nella scelta degli interventi e, più in generale, nel loro compito di salvaguardia dei Beni tutelati.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Leonardo Solutions s.r.l., ed in particolare gli ingegneri Andrea Cerizza e Michele Rossetto, per la competente, precisa e solerte collaborazione fornita.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIAMO LE ATTIVITÀ DEL RESTAURO



In collaborazione con:



Bibliografia

CATTANEO M., ZECCA S. (a.a. 1995/1996), Risanamento dall'umidità di risalita capillare nelle murature: prodotti e metodologie di intervento, Tesi di laurea, Politecnico di Milano Facoltà di Architettura, relatore Bellini A., correlatore Valentini M.

TINININI L. (a.a. 1997-1998), Tecniche per il risanamento di murature aggredite dall'umidità, Tesi di Laurea, Università degli studi di Brescia-Facoltà di Ingegneria-Corso di Laurea in Ingegneria Civile, relatore: Della Torre S., Correlatore: Valentini M.

MANCINELLI E. (a.a. 1999-2000), La protezione delle murature in laterizio dall'azione dei sali solubili. Verifica sperimentale di quattro prodotti antisale, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano-Facoltà di Architettura, relatore: Gasparoli P., Correlatore: Valentini M.

CAVALLARO S. (a.a. 2000-2001), La barriera chimica contro l'umidità di risalita capillare: sperimentazioni su prodotti silanici e silossanici commerciali, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano-I Facoltà di Architettura, relatore: Della Torre S., Correlatore: Valentini M.

DE NICOLA E. (aa. 2006-2007), Valutazione di un metodo elettrofisico per la rimozione dell'umidità da risalita capillare, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Corso di Ingegneria Edile, relatori Bertolini L., Redaelli E., Valentini M.

NORMA UNI 11055:2003, Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto d'acqua. Metodo ponderale.

MAGGI V. (a.a. 1997-1998), Integrazione di due metodi per la misurazione dell'umidità nelle strutture murarie, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano-Facoltà di Architettura, relatore: Cruciani Fabozzi L., Correlatore: Rosina E., Valentini M.

CASELLATO U., VALENTINI M., SOROLDONI L. (2011), Moisture measurements in masonry using gravimetric techniques, Materials evaluation, vol. 69, n. 1.

NORMA UNI 11055:2004, Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto d'acqua. Metodo al carburo di calcio.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIATI DI ARCHITETTI, ARTISTI, URBANISTI



In collaborazione con:

