

8.0.2

L'arco parabolico di Morano sul Po: indagini conoscitive e interventi per la conservazione

The parabolic arch of Morano su Po (Italy): investigation and interventions for conservation

Stefano Invernizzi – Politecnico di Torino
Federico Accornero – Politecnico di Torino
Rosario Ceravolo – Politecnico di Torino
Erica Lenticchia – Politecnico di Torino
Irene Matteini – Politecnico di Torino
Antonia Spanò – Politecnico di Torino
Giacomo Patrucco – Politecnico di Torino

ABSTRACT

L'arco parabolico di Morano sul Po (AL), è una suggestiva infrastruttura in calcestruzzo armato che consentiva alla teleferica per il trasporto della marna di scavalcare in sicurezza la strada statale sottostante, approvvigionando così lo stabilimento cementifero locale con la materia prima estratta nelle vicine colline di Coniolo.

Oggi l'arco emerge come landmark nella pianura casalese e costituisce una traccia dell'identità industriale del territorio indissolubilmente legato alla filiera cementifera.

Nel presente lavoro sono descritte le indagini recentemente condotte da un gruppo di ricerca multidisciplinare del Politecnico di Torino che, partendo dalle documentazioni storiche di progetto, ha riguardato il rilievo geometrico dell'opera e la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali strutturali mediante tecniche non-distruttive. Su questa base, sono state delineate le linee guida per l'intervento di conservazione di questa importante testimonianza archeologica industriale.

The parabolic arch in Morano sul Po (Italy) is an impressive reinforced concrete infrastructure that conceived to grant a safe crossing of the marl cableway above the underlying national road, and to provide the raw material mined from the nearby Coniolo hills. Nowadays, the arch stand as a landmark of the plain surrounding Casale and is a trace of the industrial vocation of the territory, which is indissolubly linked to the cement production chain. The present paper reports the results of a non-destructive test campaign carried out by a multidisciplinary group of the Politecnico di Torino, which served as the basis to provide guidelines for the conservation of this remarkable testimony of the industrial heritage.

1. INTRODUZIONE

L'arco di Morano è situato nella zona periferica di Casale Monferrato lungo la strada statale 31bis. L'arco parabolico, con le sue protezioni originali rimosse alla fine dello scorso secolo, riparava la strada dai carrelli trasportati dalla teleferica proveniente dalla *Palazzina* di Coniolo Vecchio e da quella proveniente dalla stazione di carico del 1950 in regione Borino, fino agli stabilimenti di Morano sul Po¹. La configurazione originale dell'arco è mostrata in fig. 1a, tratta da una cartolina d'epoca del manufatto. Il progetto dell'arco di Morano fu affidato all'ing. Guido Sarti, che si occupò anche della progettazione di parti strutturali del capannone (silos per clinker e correttivi), ma soprattutto della progettazione, tra il 1951 ed il 1952, della nuova teleferica di collegamento della fabbrica con le miniere di Coniolo Palazzina Borino, sul tracciato di quella realizzata dal Gualino nel 1908. I disegni costruttivi dell'arco sono fortunatamente ancora oggi disponibili. La fig. 1b ne riporta un estratto da quale è possibile apprezzare il tracciamento grafico della curva delle pressioni dell'arco, condotto in riferimento a tre differenti condizioni di carico, e la determinazione grafica dell'asse neutro e delle sollecitazioni in alcune delle sezioni pressoinflesse dell'arco, ottenute mediante il metodo di Mohr-Guidi.

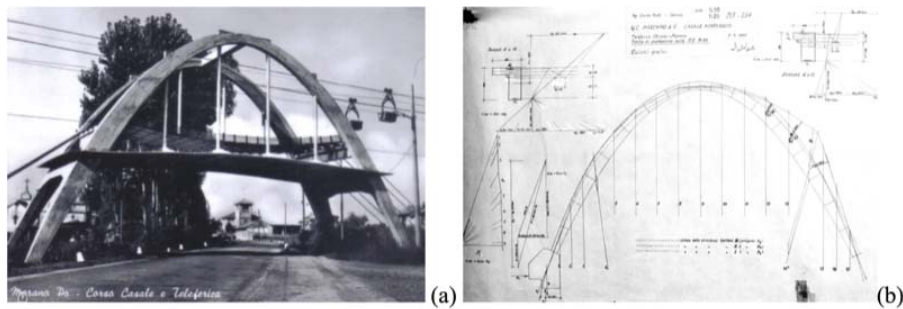


Fig. 1 - Cartolina d'epoca che ritrae l'arco con le protezioni e la teleferica soprastante (a); estratto dei disegni storici di progetto (b).

Nel 2018, a seguito di una donazione, la struttura è tornata ad essere di proprietà del Comune di Morano, dopo un periodo di circa quarant'anni. Nell'estate del 2020, per scongiurare il rischio di caduta di frammenti sulla sede viaria, sull'arco è stata condotta una rimozione degli strati superficiali instabili mediante idropulitrice. Inoltre, le barre di armatura scoperte sono state trattate con una pittura passivante. Recentemente, grazie al contributo del bando *Luoghi della Cultura 2018* della Compagnia di San Paolo, la struttura è entrata a far parte dell'iniziativa *Concrete Heritage Box*².

2. IL RILIEVO METRICO

Il rilievo metrico analitico per la documentazione dello stato di conservazione dell'Arco di Morano è stato realizzato nel 2019³ mediante un rilievo laser scanning terrestre integrato da riprese fotogrammetriche ad elevata risoluzione (anche attraverso l'utilizzo di UAV – Unmanned Aerial Vehicle), per la generazione di elaborati grafici architettonici dotati di contenuti metrici e fotografici orto proiettati.

Inoltre, per documentare lo stato di degrado superficiale della struttura in cemento armato sono state eseguite analisi di immagini per classificare le diverse caratteristiche del degrado materico.

I sistemi di scansione 3D, integrati da ortofoto digitali, consentono acquisizioni e relative restituzioni del modello di forma caratterizzati da rapidità di esecuzione, accuratezze e livelli di dettaglio, che rispondono favorevolmente sia ai caratteri di rapida occupazione del cantiere, sia alla necessità di supportare computi metrici dettagliati ed analisi approfondite dello stato di conservazione delle superfici delle strutture quali l'arco di Morano. In fig. 2, sono mostrati i rilievi di mappatura del degrado ed i piani di proiezione scelti per la rappresentazione⁴.

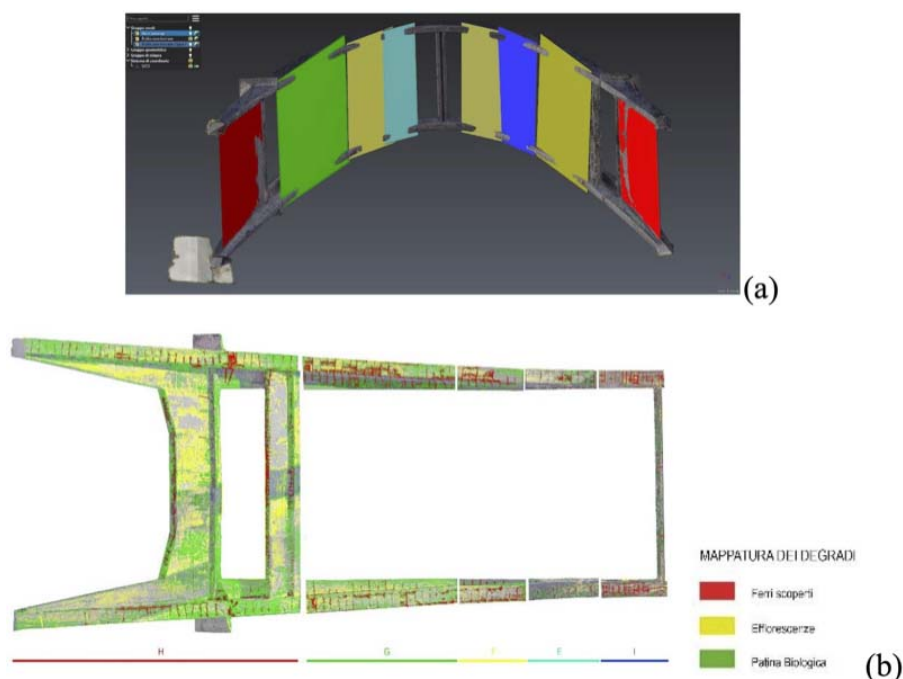


Fig. 2 - Piani per la mappatura del degrado (a), e mappatura dell'intradosso dell'arco (b).

3. ANALISI NON DISTRUTTIVE

Al fine di caratterizzare i materiali e la struttura del manufatto in studio, preservandone quanto più possibile l'integrità, sono state condotte le prove non-distruttive descritte in questa sezione.

3.1 Indagini pacometriche e rilievo delle armature

Le prove opri ferroe consentono di verificare in maniera non distruttiva la presenza e il numero delle armature negli elementi strutturali dell'opera, così come la loro orientazione e disposizione, potendo anche stimare lo spessore del opri ferro degli elementi investigati. È stato possibile misurare direttamente il diametro di alcune delle barre più esterne, poiché lo strato di opri ferro in alcuni punti della struttura era totalmente assente. Un ulteriore confronto, in termini di area di armatura complessiva, è stato possibile a partire dai disegni progettuali (fig. 1b). Le barre di armatura sono lisce con diametro pari a 30 mm, e presentano zone di sovrapposizione con estremo ad uncino (fig. 3). Le staffe, lisce anch'esse, hanno passo pari a 25 cm e diametro di 12 mm. La pacometria ha consentito di verificare la presenza delle armature anche nelle zone in cui il opri ferro era intatto.

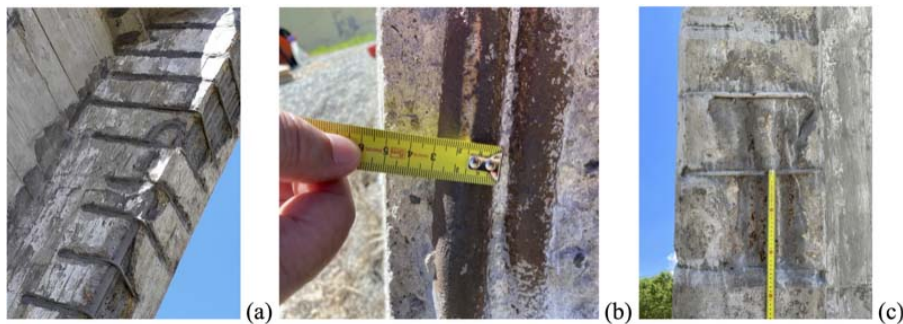


Fig. 3 - Zona di ripresa dell'armatura (a); diametro delle barre (b); passo delle staffe (c).
In coerenza con i disegni progettuali, si è osservato che la percentuale di armatura longitudinale decresce dalla base verso la chiave dell'arco.

In coerenza con i disegni progettuali, si è osservato che la percentuale di armatura longitudinale decresce dalla base verso la chiave dell'arco.

3.2 Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

Le misure sono state condotte in conformità ai metodi proposti nella UNI EN 12504-4:2005⁵, utilizzando uno strumento di tipo PUNDIT PL200 prodotto da Proceq©. La misura del tempo di propagazione degli impulsi ultrasonici è stata effettuata con l'impiego di due sonde, rispettivamente trasmittente e ricevente, aventi frequenza propria di 54 kHz ed applicate sulla superficie dell'elemento interessato al controllo. Sono state eseguite prove di tipo indiretto, ossia omeosuperficiali, posizionando le sonde sulla medesima faccia dell'elemento strutturale a distanze variabili. Le velocità rilevate sono comprese tra i 3000 m/s ed i 4500 m/s circa.

3.3 Determinazione dell'indice di rimbalzo

Le misure sono state condotte in conformità ai metodi proposti nella UNI EN 12504-4:2012⁶ utilizzando uno sclerometro Baldwin-Zwick©. Su ogni elemento indagato sono state eseguite 12 acquisizioni su differenti punti di battuta, scartando il valore più basso e quello più elevato di ciascuna serie. I valori medi dell'indice di rimbalzo calcolato per i diversi elementi analizzati variano tra 27 e 42.

La resistenza del calcestruzzo investigato può essere dedotta applicando il cosiddetto metodo SONREB, basato sull'utilizzo combinato dei risultati ottenuti dalle prove sclerometri che ed ultrasoniche⁷. Nonostante che in letteratura siano disponibili diverse relazioni per la stima della resistenza, i risultati ottenuti mostrano una variabilità non eccessiva, con valori della resistenza a compressione solo sporadicamente inferiori a 20 Mpa.

3.4 Determinazione della profondità di carbonatazione del calcestruzzo

La determinazione della profondità di carbonatazione è stata effettuata in accordo alle disposizioni della norma UNI EN 14630:2007⁸, utilizzando come reagente una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcol etilico. Al fine di minimizzare il disturbo strutturale, la prova in situ è stata condotta sfruttando i fori eseguiti con il trapano a percussione, già utilizzati per la verifica diretta dello spessore di opri ferro. In fig. 4 è mostrato uno dei punti di rilevamento. In tutti i punti acquisiti, la profondità dello strato carbonatato è risultata molto ridotta, ed inferiore a 3mm.

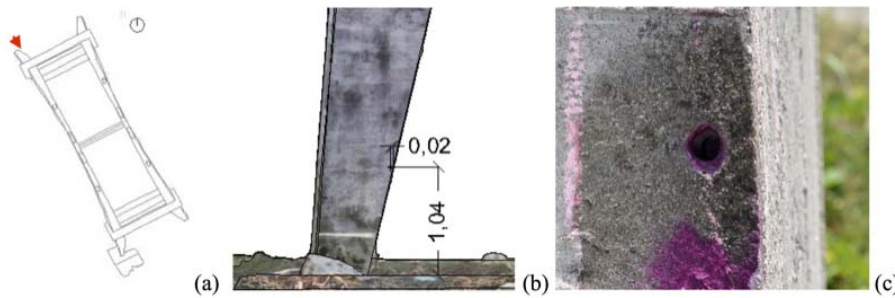


Fig. 4 - Prova in situ di carbonatazione: locazione del punto di prova (a-b); dettaglio fotografico (c).

3.5 Prove di corrosione

Le prove di corrosione sono volte a determinare, sulla scorta di misure di potenziale elettrochimico, la vulnerabilità al fenomeno di corrosione della struttura in calcestruzzo armato investigata. Le prove sono state condotte seguendo le indicazioni della norma ASTM C876-15⁹.

Preliminarmente, è stato eseguito il cosiddetto test di continuità, prendendo in considerazione le armature alla base dei quattro spigoli di estremità della struttura. Il test è volto a verificare la continuità elettrica delle armature presenti, e prevede che la resistenza misurata tra due estremi dell'armatura sia valutata con un misuratore di resistenza di isolamento con corrente di prova di 200 mA. Il test di continuità è risultato non verificato in due dei punti di misura, probabilmente a causa dello stato di cattiva conservazione dei fili metallici di legatura delle armature, da cui dipende la connettività e conducibilità all'interno dell'elemento in calcestruzzo armato.

Successivamente si è proceduto con la mappatura dei punti di acquisizione e con la misurazione del potenziale di corrosione. Siccome il test di continuità è risultato negativo, le indagini sono state limitate alla parte inferiore dei pilastri dell'arco. Le misurazioni sono state eseguite con un elettrodo portatile di riferimento di tipo Cu/CuSO₄. Il potenziale misurato può successivamente essere posto in relazione alla probabilità che vi sia un fenomeno corrosivo in atto, come mostrato in fig. 2b. I risultati ottenuti indicano che una probabilità elevata di fenomeni corrosivi attivi è circoscritta alle zone al piede dei pilastri dell'arco, verosimilmente a causa di un seppur limitato fenomeno di risalita dell'umidità.

3.6 Misurazione della temperatura e umidità interna del calcestruzzo

Le misurazioni sono state eseguite mediante un sensore per la misurazione di temperatura e umidità interna, posizionato e sigillato all'interno di un foro realizzato con il trapano percussore sulla faccia est alla base del pilastro P3 a 113 cm da terra e ad una profondità nel calcestruzzo di 15 cm. Le misurazioni sono state condotte a partire dalle 11:17 di mattina fino alle 17:29 di pomeriggio del 30 giugno 2021, per un totale di 385 acquisizioni per ciascun parametro.

Si osserva come la temperatura interna misurata abbia registrato una minima variazione durante la giornata, con una media registrata pari a 30,41 °C. Si osserva che la media giornaliera della temperatura esterna registrata il giorno della prova era pari a 23 °C.

Più interessante è stata l'osservazione dell'umidità relativa media interna, risultata pari al 94%, molto superiore dell'umidità media atmosferica, pari al 64%.

L'umidità è un parametro importante che svolge un ruolo fondamentale nel promuovere le attività di corrosione, e costituisce uno dei due fattori principali, assieme all'ossigeno, all'attivazione del processo di corrosione. La soglia di umidità interna al di sopra della quale l'ambiente risulta favorevole al fenomeno corrosione è pari al 65% come indicato nel grafico in fig. 6.

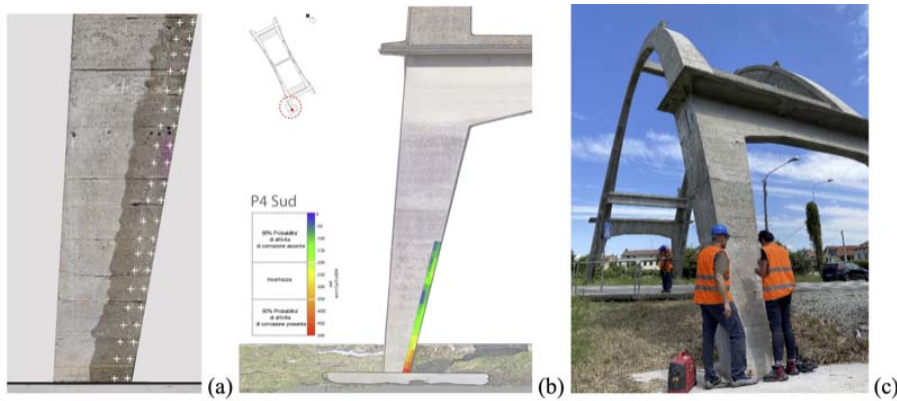


Fig. 5 - Pilastro Sud-Ovest: mappatura dei punti di misura (a); diagramma di probabilità di fenomeno di corrosione in corso (b); fasi operative di misurazione in situ (c).

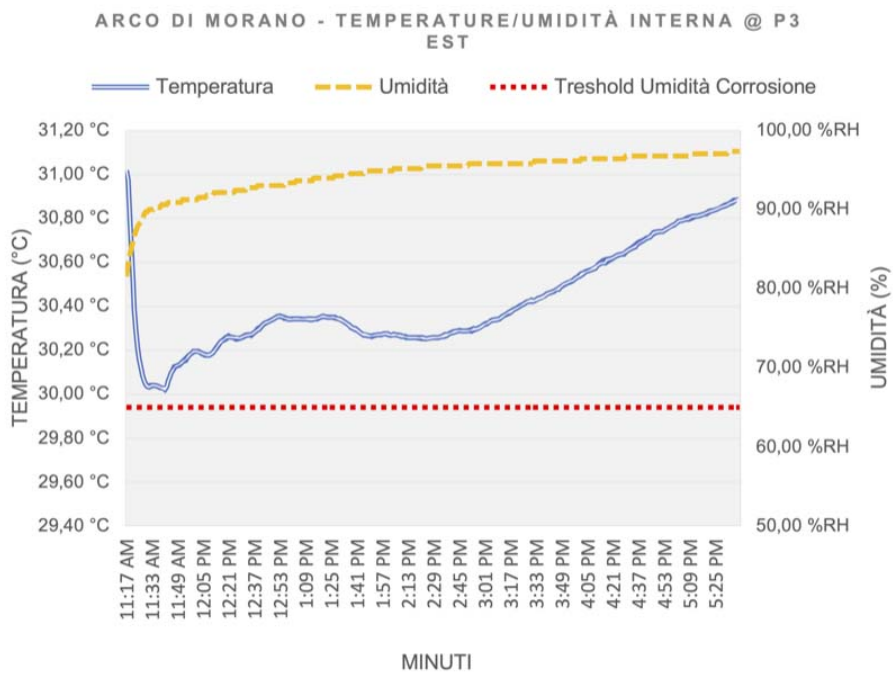


Fig. 6 - Grafico dell'andamento della temperatura ed umidità all'interno del pilastro P3 Est.

Gli elevati valori registrati di umidità interna potrebbero, in futuro, costituire un fattore sfavorevole e dovranno essere ulteriormente esplorati e monitorati.

Recentemente, l'arco è stato analizzato anche mediante una innovativa tecnica di termografia e fotogrammetria combinata, per mezzo di un drone. I risultati preliminari sono mostrati in fig. 7, e potranno in futuro, fornire ulteriori indicazioni sullo stato di salute della struttura.

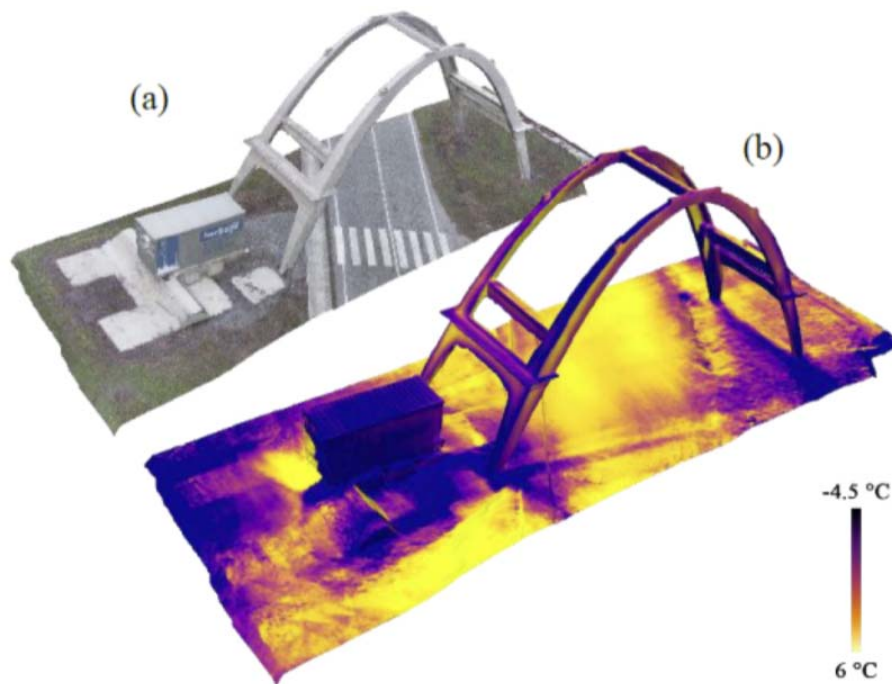


Fig. 7 - Confronto tra la mesh ottenuta dalla ricostruzione fotogrammetrica nel campo del visibile (a) e del campo infrarosso (b) con riprese effettuate con il drone.

4. LINEE GUIDA E CONCLUSIONI

L'arco di Morano è stato realizzato nel 1952, ed è rimasto in funzione sino al 1958. Da allora è rimasto inutilizzato. A parte la dismissione delle reti paramassi di protezione della teleferica e delle coperture sospese, non ha subito interventi di manutenzione, fatto salvo quello condotto nel 2018 di rimozione dello strato corticale ammalorato mediante idropulitura e di passivazione delle armature scoperte. Ciò nonostante, la struttura dell'arco si presenta in buone condizioni con un limitatissimo fenomeno di carbonatazione ed una buona ed uniforme qualità del calcestruzzo. Inoltre, al momento delle indagini condotte, non si rilevava una evoluzione del fenomeno di distacchi stabilizzato con l'intervento del 2018. D'altro canto, in prospettiva, la struttura necessita di una manutenzione più attenta di quanto non le è stato riservato in passato. Sarà necessario ripristinare lo strato di copriferro, dopo che il trattamento di passivazione delle armature sia stato reintegrato ove necessario. Una volta reintegrata la struttura, sarà opportuno proteggerla con un trattamento impermeabilizzante. Infine, sarà opportuno non sottovalutare l'aspetto dell'umidità interna, per non favorire il fenomeno della corrosione dell'armatura metallica, prevedendo un sistema di monitoraggio interno di temperatura e umidità.

¹ Vittorio Marchis, *Concrete memories*, in Atti & Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti di Torino, *Marne, cave, cementifici nel Monferrato casalese*, Aprile 2011.

² <https://hiab.ilcemento.it>, consultato il 14/04/2022.

³ Antonia Spanò, Giacomo Pratrucchio, Stefano Perri, *Report del rilievo metrico integrato da laser scanning ed elaborazioni fotogrammetriche da UAV (Unmanned Aerial Vehicle) dell'arco di Morano sul Po*, Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino, 2019.

⁴ Ivi, p. 18.

⁵ UNI EN 12504-4:2005 *Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici*.

⁶ UNI EN 12504-2:2012 *Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico*.

⁷ RILEM NDT 4 *Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods*, Compendium of RILEM Technical Recommendations, E&FN Spon, London, 1993.

⁸ UNI EN 14630:2007 *Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina*.

⁹ ASTM C876-15 *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*.