

**Paper n° 6****Georadar e il Castello Sforzesco: Alla Scoperta dei Segreti del Sottosuolo**

Ing. Maurizio Porcu

<sup>1</sup> Codevintec Italiana srl**1. Introduzione storica sul Castello Sforzesco**

Il Castello Sforzesco di Milano (fig.1) è uno dei simboli più emblematici della città e della sua storia rinascimentale. Costruito nel XV secolo su una precedente fortificazione viscontea, fu trasformato in una delle corti più raffinate d'Europa da Ludovico il Moro, mecenate di artisti e intellettuali del calibro di Leonardo da Vinci e Donato Bramante. Il castello non era solo una residenza nobiliare, ma un centro politico, militare e culturale strategico. Nel tempo, ha subito numerose trasformazioni architettoniche, ma il suo fascino è rimasto intatto, alimentato anche da leggende e racconti popolari che ne hanno accompagnato la storia, come quella di un presunto passaggio segreto che lo collegherebbe alla basilica di Santa Maria delle Grazie, luogo dove giace la tomba della amata moglie Beatrice d'Este.

**Figura 1. Visione aerea del Castello Sforzesco di Milano**

## 2. Introduzione sulla tecnica georadar

Il georadar (Ground Penetrating Radar, GPR) è una tecnica geofisica non invasiva sempre più utilizzata per la mappatura del sottosuolo anche in ambiti urbani. Basato sull'emissione e la ricezione di onde elettromagnetiche a diversa frequenza, il georadar consente di individuare variazioni nei materiali sottostanti, fornendo immagini dettagliate di oggetti, sottoservizi, strutture, anomalie e cavità presenti sotto la superficie. Nel contesto della mappatura urbana, il georadar è impiegato per individuare sottoservizi come tubazioni, cavi e condotte, ma trova anche un'applicazione fondamentale nello studio di siti storici e archeologici, dove l'integrità del contesto impone tecniche non distruttive. L'elevata risoluzione e la possibilità di integrare i dati con altre fonti o tecniche di indagine rendono il georadar uno strumento estremamente efficace per indagini conoscitive preliminari e studi più approfonditi utili anche in fase di progettazione di nuovi sottoservizi.

## 3. Conoscenza ed esistenza dei camminamenti interrati del Castello Sforzesco

La presenza di camminamenti sotterranei del Castello Sforzesco è nota, alcuni di essi sono anche visitabili. Il camminamento più noto e conosciuto è la galleria di controscarpa che percorre tutto il perimetro del fossato del Castello Sforzesco. Era usata come galleria di difesa in caso presenza del nemico nel fossato. L'attacco sarebbe stato contrastato sia dal lato delle postazioni del Castello che dal lato delle finestre della galleria di controscarpa. L'unica testimonianza scritta di queste gallerie proviene dai disegni di Leonardo da Vinci (fig.2 e fig. 3) che ha riprodotto la sezione del Castello Sforzesco, con i due fossati (uno oggi non più visibile) e le gallerie interrate, oltre alla cinta muraria denominata Ghirlanda, anch'essa non più visibile perché demolita quasi del tutto. Restano riconoscibili solo alcuni ruderi e resti della Ghirlanda.

Alcune di queste gallerie, funzionali alla difesa militare, consentivano le sortite in movimenti rapidi senza essere visibili all'esterno o per scopi di collegamento tra ambienti strategici della struttura. In particolare, la leggenda del tunnel che unirebbe il Castello a Santa Maria delle Grazie — dove si trova l'Ultima Cena di Leonardo e dove era sepolta Beatrice d'Este — ha affascinato studiosi e cittadini per secoli. Molte aree del sottosuolo del Castello restano ancora oggi inesplorate.

Alcune delle gallerie che compaiono nei disegni di Leonardo da Vinci sono tutt'ora ignote.

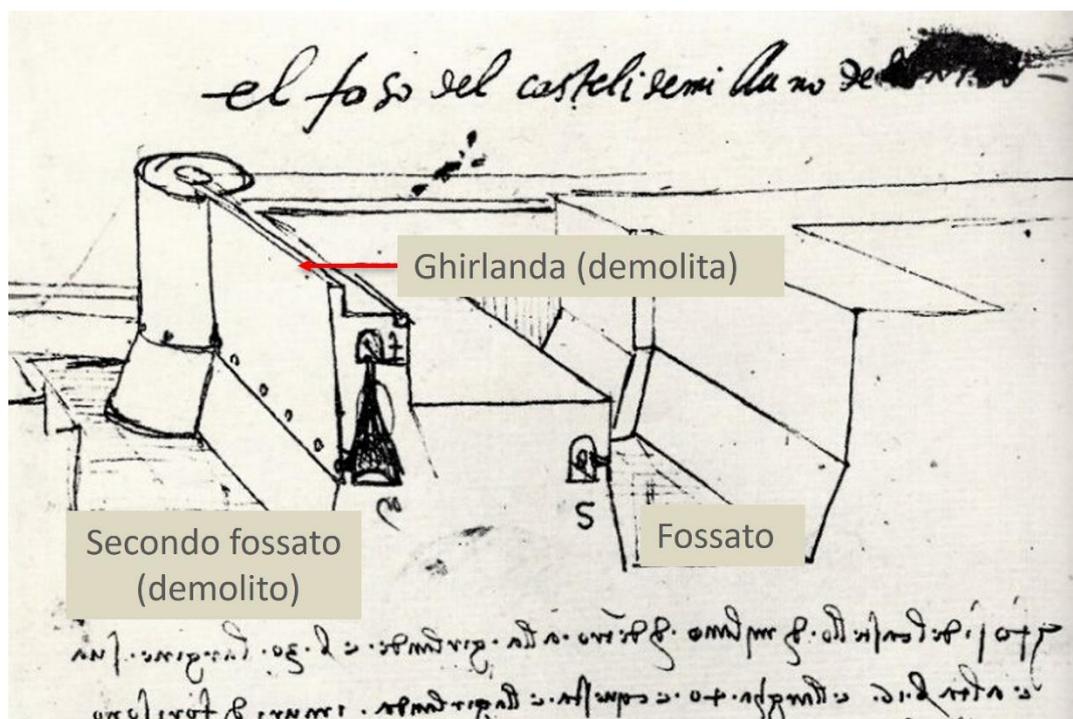


Figura 2. Disegno di Leonardo da Vinci raffigurante il Castello Sforzesco in sezione con i due fossati e alcune gallerie sotterranee.

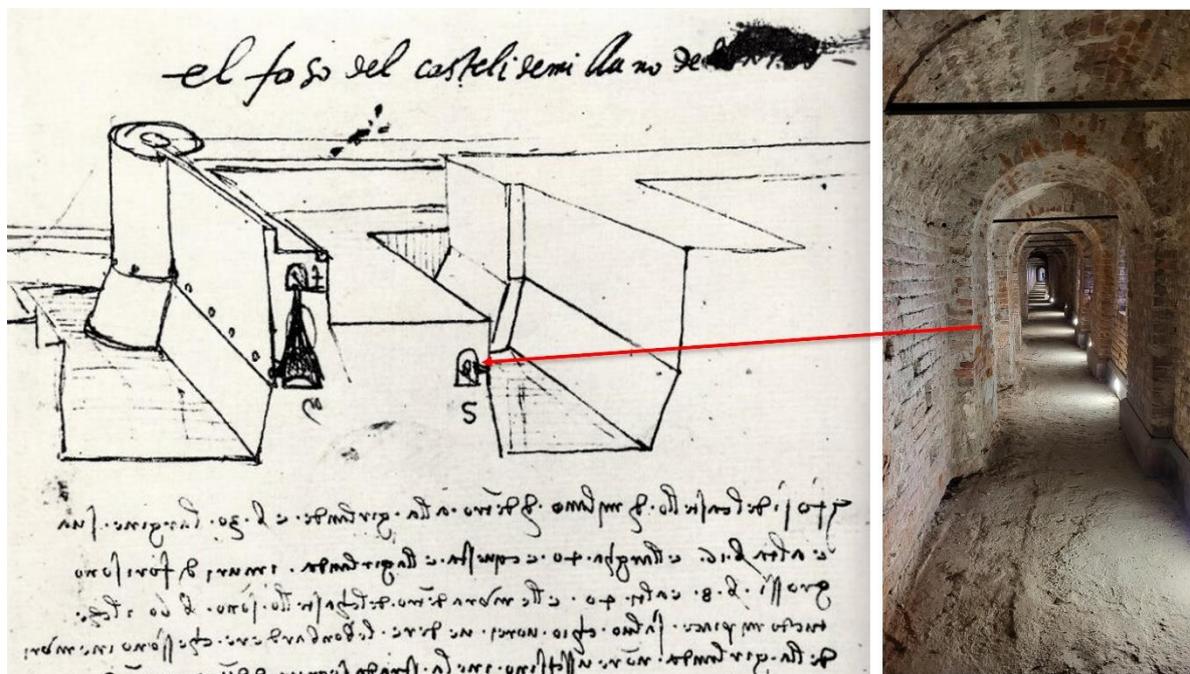


Figura 3. Corrispondenza tra la galleria di controscarpa nel disegno di Leonardo da Vinci e una fotografia della stessa.

#### 4. Indagini georadar

Sono state effettuate delle campagne di indagine georadar in collaborazione con il Politecnico di Milano e il Castello Sforzesco. I rilievi georadar sono stati condotti utilizzando i sistemi GSSI UtilityScan con antenna 350 MHz HS (fig.4) e 200 MHz HS (fig. 5), GSSI Flex NX (fig.6) e il sistema Kontur ad array con 20 canali 200 MHz - 3 GHz (fig. 7). Questo sistema è stato utilizzato a traino da autoveicolo con posizionamento GNSS.

Tutti i dati acquisiti sono stati poi processati e georiferiti.

I georadar GSSI sono stati utilizzati nelle aree sotterranee e in alcuni punti esterni dove era necessario indagare in spazi molto ristretti. Il sistema Kontur ha consentito di coprire le vaste aree esterne con minor tempo di rilievo e ottenendo una copertura completa. Attraverso rilievi ad alta risoluzione sono state individuate numerose anomalie e strutture sotterranee. I dati raccolti, integrati con fonti storiche, rilievi Lidar e disegni d'epoca, hanno consentito di individuare la presenza di tracciati sotterranei coerenti con l'incrocio di altre informazioni. Sebbene molte di queste strutture non siano ancora accessibili fisicamente, le evidenze emerse aprono prospettive affascinanti su un patrimonio celato nel sottosuolo urbano, e confermano l'efficacia del georadar come strumento preliminare di indagine in contesti storici complessi.

Le indagini sono state condotte cercando di estendere il più possibile l'area di indagine andando alla ricerca di passaggi interrati di gallerie, strutture riconducibili a rivellini o torri di difesa.



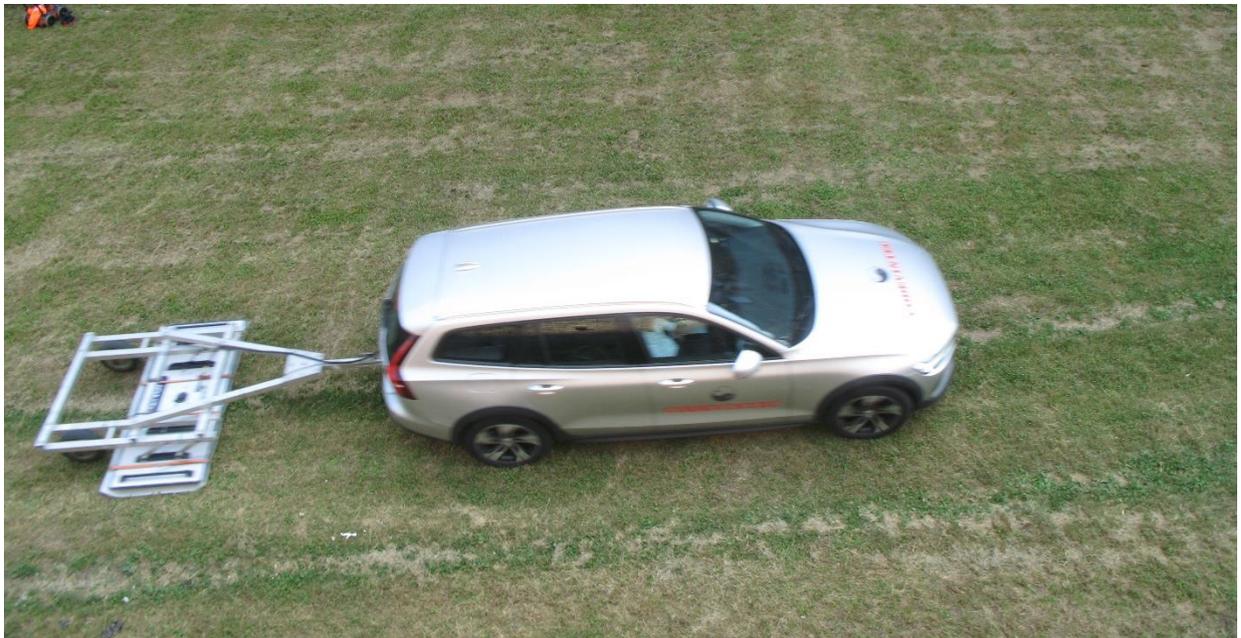
**Figura 4. Rilievo georadar nella galleria di controscarpa con il sistema GSSI UtilityScan 350 MHz HS**



**Figura 5. Rilievo georadar nel fossato con il sistema GSSI 200 MHz HS**



**Figura 6. Rilievo georadar nella galleria di controscarpa con il sistema GSSI Flex NX**



**Figura 7. Rilievo georadar nelle aree adiacenti il Castello Sforzesco con il sistema Kontur**

## 5. Risultati ottenuti

In fig. 8 è riportata tutta l'area interessata dalle indagini georadar con il sistema Kontur.

Le indagini georadar hanno restituito risultati estremamente interessanti, rivelando la presenza di numerose anomalie identificabili come strutture sotterranee. In particolare, sono stati rilevate anomalie che suggeriscono l'esistenza di ulteriori tunnel, con geometrie regolari e orientamenti coerenti con quelli già noti. Alcune di queste evidenze si sviluppano parallelamente alla galleria di controscarpa, suggerendo la possibile esistenza di percorsi sotterranei ancora non esplorati o documentati.

Un elemento particolarmente significativo è emerso proprio durante l'analisi e il rilievo della galleria di controscarpa: ripercorrendola, sono state individuate diverse tamponature murarie. In corrispondenza di queste chiusure, i dati georadar acquisiti mostrano chiaramente la prosecuzione di camminamenti oltre la muratura, evidenziando che i tunnel continuano oltre le strutture oggi visibili.

In un caso in particolare, la tamponatura non completa ha lasciato la possibilità di fotografare cosa ci fosse oltre: è visibile un corridoio il cui passaggio è poi occluso da un cedimento del terreno (Fig 9.). Lo stesso passaggio è stato rilevato dal georadar. (Fig 10.)

Questi riscontri, derivanti dalla correlazione tra dati radar e osservazioni dirette in situ, rafforzano l'ipotesi dell'esistenza di una rete sotterranea più estesa e complessa rispetto a quella finora conosciuta coerente con gli ulteriori passaggi che compaiono nei disegni di Leonardo da Vinci.

In fig. 11 e fig. 12 sono riportate altre immagini radar in corrispondenza di anomalie di interesse. La fig. 11 mostra la vista tridimensionale della galleria di controscarpa rilevata dal lato del parco Sempione. In tutte e tre le sezioni è possibile vedere la forte riflessione dovuta al passaggio dell'onda nella cavità del tunnel stesso. Questo dato mostra come viene vista la galleria nota e consente di valutare le stesse riflessioni, anche in termini di quota e geometria, che ci sono state in ambienti ad oggi ignoti. In fig. 12 si può vedere il dato planimetrico dove compare sia la galleria di controscarpa che una galleria parallela e adiacente ancora ignota, posto alla stessa quota della galleria di controscarpa.

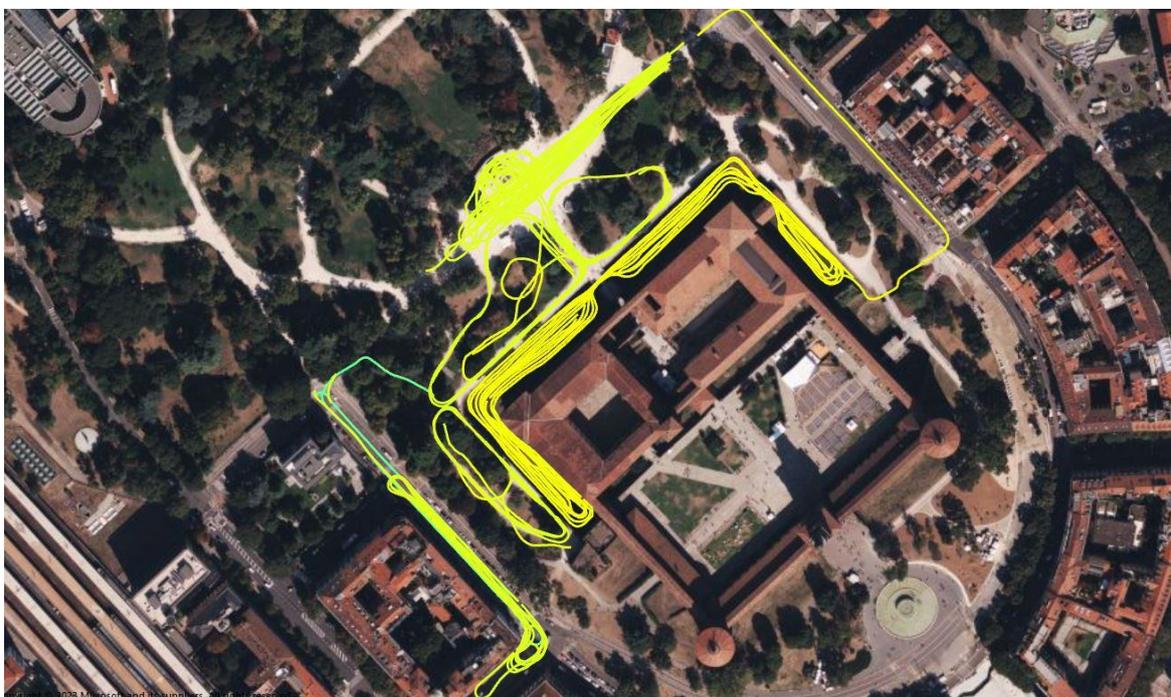
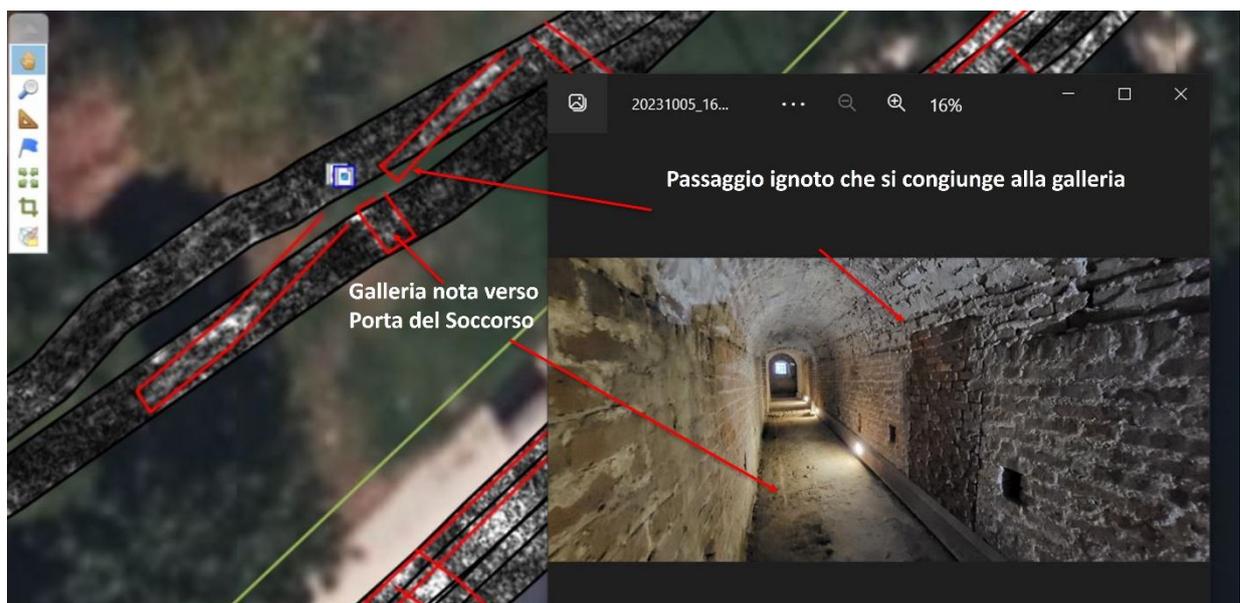


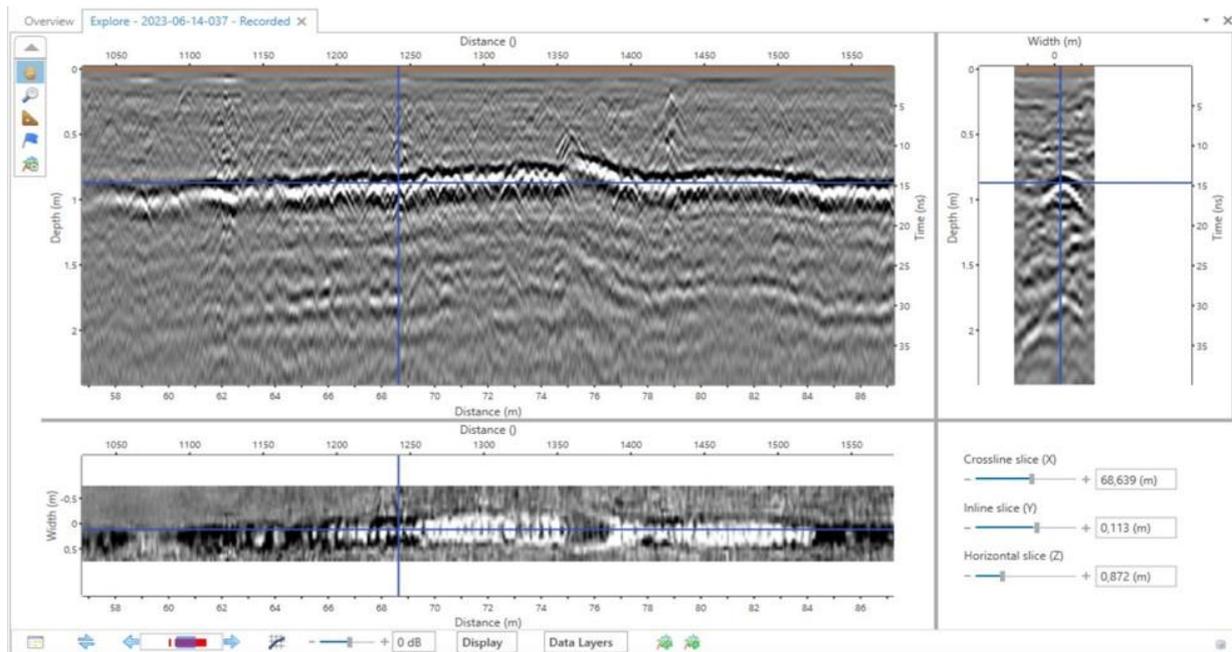
Figura 8. In giallo le aree interessate dalla mappatura estensiva degli ambienti del Castello Sforzesco.



**Figura 9. Tunnel parzialmente occluso da frana. L'immagine è stata scattata attraverso una piccola feritoia della tamponatura della galleria principale.**



**Figura 10. Corrispondenza tra le strutture rilevate note e ignote (in rosso) e la tamponatura visibile**

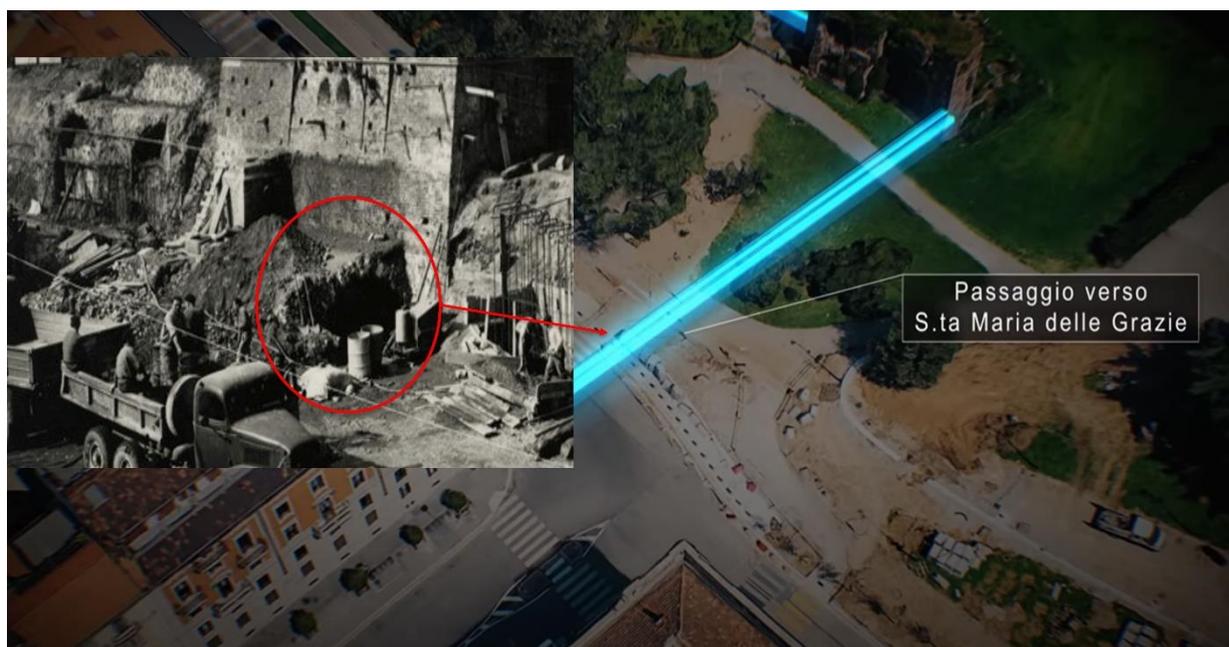


**Figura 11. Radargramma con la vista delle 3 sezioni (longitudinale in alto a sinistra, trasversale in alto a destra, planimetrica in basso).**



**Figura 12. Corrispondenza tra le gallerie note e ancora adesso ignote**

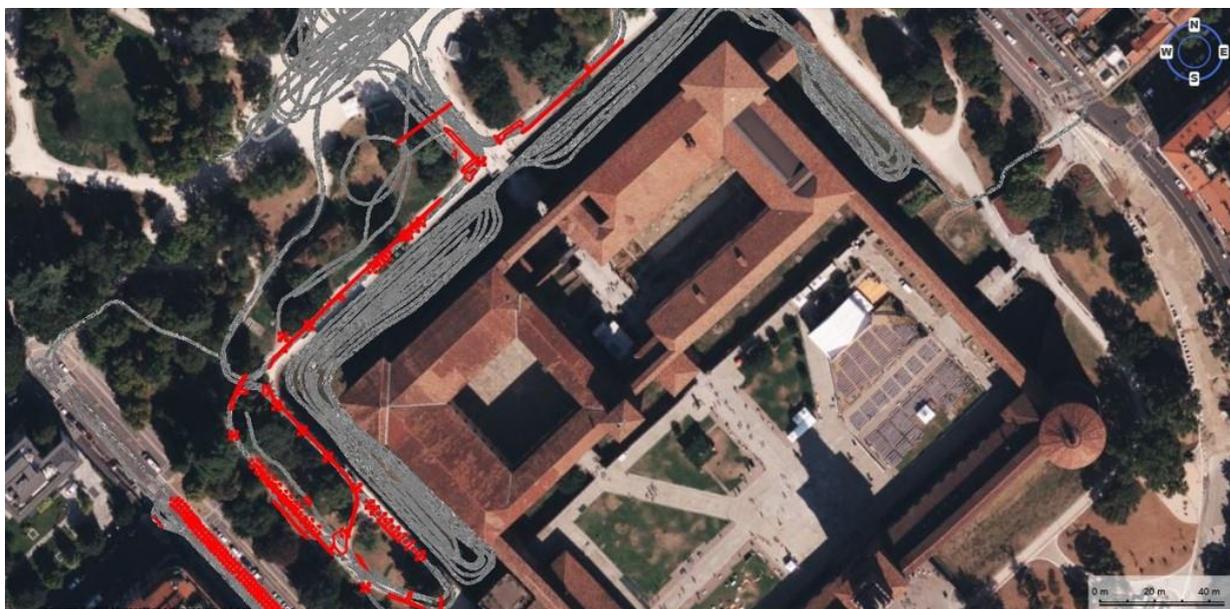
Tra le scoperte più rilevanti figura l'individuazione di un tunnel (Fig.13) che parte dal Rivellino di Santo Spirito e si dirige verso piazza Cadorna, lungo un tracciato che coincide sorprendentemente con il percorso del leggendario passaggio segreto verso Santa Maria delle Grazie. Il tunnel è visibile anche in una fotografia d'epoca, risalente ai lavori per la costruzione della linea M1 della metropolitana, che mostra un'apertura sotterranea nella stessa area e in corrispondenza della stessa zona identificata con il georadar. Le dimensioni, l'orientamento e la posizione del tracciato intercettato dal radar rafforzano l'ipotesi che si tratti effettivamente dell'antico passaggio o parte del collegamento segreto.



**Figura 13. Passaggio sotterraneo che dal rivellino di S. Spirito condurrebbe a S. Maria delle Grazie e fotografia d'epoca. Si vede chiaramente la volta del passaggio messo in luce durante i lavori di costruzione della metropolitana M1.**

## 6. Conclusioni

L'indagine georadar condotta presso il Castello Sforzesco ha portato alla luce una rete sotterranea più articolata di quanto precedentemente conosciuto, rivelando strutture che riaccendono l'interesse verso il patrimonio di elevato valore. L'interazione tra tecnologia avanzata, osservazioni in situ e fonti storiche ha dimostrato come sia possibile riscoprire un patrimonio nascosto nel sottosuolo urbano, con approcci non invasivi e scientificamente solidi. Le evidenze raccolte, inclusa la scoperta del tunnel in direzione di Santa Maria delle Grazie, aprono nuove prospettive per la ricerca storica e archeologica, e pongono le basi per future campagne di studio e, possibilmente, di esplorazione fisica. Il lavoro sottolinea ancora una volta l'efficacia del georadar come strumento veloce, non invasivo e in questo caso indispensabile per la tutela, la valorizzazione e la conoscenza del nostro patrimonio culturale. Nela fig. 14 sono riportate in rosso tutte le evidenze di passaggi sotterranei e strutture sepolte rilevati oltre all'area coperta dall'indagine (in grigio). Sono state rilevati in più punti delle gallerie parallele a quella di controscarpa che relativi corridoi di congiunzione tra esse.



**Figura 13. Corrispondenza tra le strutture rilevate note e ignote (in rosso) e la tamponatura visibile**

Il successo di questa campagna è anche merito della tecnologia impiegata. Il georadar si conferma uno strumento potente e strategico per la mappatura del sottosuolo: una tecnica non invasiva, rapida e precisa, che consente di restituire immagini tridimensionali di quanto si cela sotto i nostri piedi, senza danneggiare il patrimonio esistente. L'alta risoluzione dei dati, unita alla possibilità di coprire ampie aree in tempi ridotti, rende il georadar una risorsa essenziale per indagini preliminari e approfondimenti successivi.

In molti paesi europei — e non solo — il georadar è ampiamente adottato non solo in ambito archeologico, ma per la gestione del territorio, la manutenzione infrastrutturale e la prevenzione del rischio.

In questo caso studio il georadar ha mostrato tutto il suo potenziale e dimostra quanto possa essere preziosa la tecnologia quando viene messa al servizio della conoscenza e della valorizzazione del nostro patrimonio culturale.

Un passo concreto verso una nuova forma di conoscenza del sottosuolo, in questo caso archeologia urbana, dove la ricerca storica si fa esplorazione scientifica, e viceversa.

## 6. REFERENZE

**Beltrami, L.** (1894). *Il Castello di Milano: rilievi e restauri*. Milano: Hoepli.

**Zanchi, A., & Castellano, G.** (2002). *Milano sotterranea: misteri, leggende e storia del sottosuolo milanese*. Milano: Mursia.

**Pedretti, C.** (1973). *Leonardo Architetto*. Firenze: Giunti.

**Daniels, D. J.** (2004). *Ground Penetrating Radar* (2nd ed.). London: IET.

**Conyers, L. B.** (2013). *Ground-Penetrating Radar for Archaeology* (3rd ed.). Lanham: AltaMira Press.

**Goodman, D., & Piro, S.** (2013). *GPR Remote Sensing in Archaeology*. Berlin: Springer.

**Ministero della Cultura – MiC** (2021). *Linee guida per l'utilizzo delle tecnologie non invasive nei beni culturali*.

**Biolo, F.** (2023). *Architectural heritage digitisation through a Levels of Geometric Information-based approach. The case study of the Ghirlanda of the Castello Sforzesco in Milan*.

**Archivio Fotografico ATM** (1964). *Fotografie dei lavori della metropolitana M1 in zona Cadorna*. [Archivio ATM]