

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Restauro e Valorizzazione del Patrimonio**

Tesi di Laurea Magistrale

Metodi di rilievo metrico 3D integrati per l'analisi del patrimonio industriale dismesso. Il caso del Paraboloide di Casale Monferrato.



Relatore

firma del relatore

Prof. Antonia Teresa Spanò

Prof. Filiberto Chiabrando

Candidato

firma del candidato

Daniele Amadio

A.A. 2016/2017

INDICE

<u>1. INTRODUZIONE</u>	5
<u>2. RILIEVO METRICO E DOCUMENTAZIONE DEI BENI CULTURALI</u>	7
2.1 <u>L'importanza della documentazione dei beni culturali</u>	8
2.2 <u>Il rilievo metrico</u>	9
Il progetto di rilievo	9
<u>3. METODI TRADIZIONALI ED INNOVATIVI DI RILIEVO</u>	10
3.1 <u>Le applicazioni della topografia</u>	11
Gli strumenti topografici	11
3.2 <u>La fotogrammetria</u>	14
Fotogrammetria digitale	14
Fase di acquisizione	15
Metodologie applicative	15
Fotogrammetria terrestre	15
Fotogrammetria aerea	15
L'apporto della tecnologia UAV	16
Pianificazione del volo	18
Elaborazione della nuvola di punti	19
Elaborati fotogrammetrici	19
3.3 <u>I sistemi LiDAR</u>	20
Fase di acquisizione	21
Tipologie di laser scanner	22
Elaborazione della nuvola di punti	23
3.4 <u>Altre tecniche di acquisizione</u>	24
Tecnologia SLAM	24
3.5 <u>Trattamento delle nuvole di punti</u>	25
3.6 <u>Il GIS come strumento di analisi</u>	26
Utilizzi a scala territoriale	26
Utilizzi su singoli edifici o porzioni di essi	27
3.7 <u>Applicazioni della modellazione digitale</u>	28
<u>4. CASO STUDIO:</u>	
<u>IL PARABOLOIDE DI CASALE MONFERRATO</u>	29
4.1 <u>L'evoluzione delle industrie locali</u>	30
4.2 <u>Italcementi, la Società che ha modellato Casale Monferrato</u>	32
Impatti economici indiretti	32
4.3 <u>Risvolti sociali, economici e storici</u>	33
4.4 <u>Le potenzialità al giorno d'oggi</u>	34
Gli edifici industriali oggi	34
Verso una nuova valorizzazione	34
Obiettivi per una tutela consapevole	34
4.5 <u>Il paraboloide di Casale Monferrato</u>	35
Caratteristiche e funzionamento del deposito di clinker	45
4.6 <u>Costruzioni simili</u>	48

<u>5. APPLICAZIONE DELLE TECNICHE E RESTITUZIONE</u>	50
5.1 <u>Rilievo topografico</u>	51
Metodologia di acquisizione	51
Strumenti utilizzati	54
Fase di elaborazione e restituzione	54
5.2 <u>Rilievo LIDAR del piano interrato del paraboloide</u>	55
Metodologia di acquisizione	55
Strumenti utilizzati	55
Fase di elaborazione	56
Restituzione degli elaborati ed osservazioni	59
5.3 <u>Rilievo mediante tecnologia SLAM del piano interrato</u>	66
Metodologia di acquisizione	66
Strumenti utilizzati	66
Fase di elaborazione	67
Restituzione degli elaborati ed osservazioni	67
5.4 <u>Rilievo fotogrammetrico digitale close-range e mediante UAV</u>	69
Metodologia di acquisizione	69
Strumenti utilizzati	69
L'apporto della tecnologia UAV	70
Fase di elaborazione	72
Restituzione degli elaborati ed osservazioni	83
5.5 <u>Sistema GIS</u>	85
Georeferenziazione dell'ortofoto	85
Digital elevation models	89
5.6 <u>Considerazioni riguardo le tecniche impiegate</u>	92
<u>6. ANALISI E DEDUZIONI</u>	93
6.1 <u>Mappatura degli elementi metallici presenti</u>	94
Osservazioni derivanti dall'analisi	103
6.2 <u>Applicazione per l'individuazione e l'analisi dei degradi</u>	104
Degradi riscontrati	108
6.3 <u>DEM del piazzale, particolarità riscontrate</u>	109
6.4 <u>Ricostruzione delle geometrie delle volte</u>	111
6.5 <u>Relazioni tra piano interrato e piano terreno</u>	112
6.6 <u>Analisi dei dislivelli del piano interrato</u>	114
<u>7. CONCLUSIONI</u>	121
<u>8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</u>	124
<u>9. RINGRAZIAMENTI</u>	127

Key Plan estraibile in ultima pagina.



CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo che si pone questa tesi è quello analizzare un bene architettonico, come è il paraboloide di Casale Monferrato, attraverso l'utilizzo di varie tecniche e tecnologie di rilievo architettonico, al fine di ottenerne un'analisi complessiva.

Questa visione d'insieme è fondamentale per poter preservare nel modo corretto un bene e poter eventualmente programmare interventi futuri.

Ma oltre ai dati "oggettivi" derivanti da queste applicazioni e dalle elaborazioni digitali, va sottolineato quanto sia importante saper poi analizzare nel modo corretto queste informazioni, al fine di rintracciare tutti quei dettagli che porteranno a teorie riguardanti lo stato di conservazione, l'evoluzione storica, le tecniche di costruzione e così via.

Il caso studio è il paraboloide di Casale Monferrato, un edificio di indubbio fascino architettonico e storico, che racconta di un'epoca nella quale Casale Monferrato e le zone circostanti erano fortemente industrializzate nel campo della produzione di calce e cementi ed il paraboloide era utilizzato come deposito di stoccaggio del clinker utilizzato per quei processi industriali.

Del complesso è già stato effettuato un rilievo metrico nell'anno 2012, che è stato integrato con quello qui sviluppato per ottenere un elaborato completo del paraboloide.

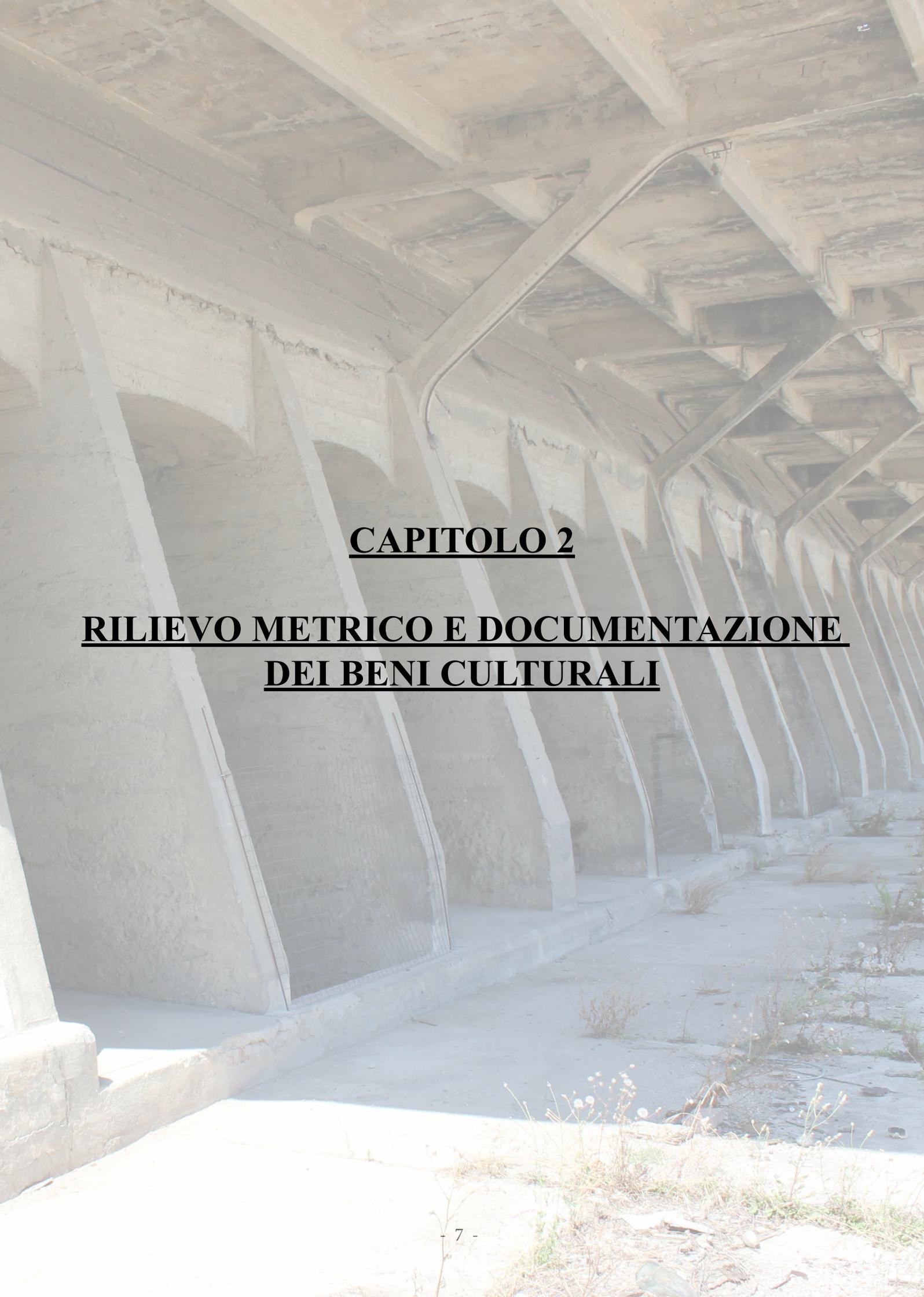
Le tecniche di rilievo che sono state impiegate sono le seguenti:

- metodi topografici
- metodi di fotogrammetria digitale
- metodi LIDAR
- metodi con tecnologia SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)

Ognuna di esse è stata utilizzata nella situazione più opportuna tra quelle che si sono presentate sul campo. Per il rilievo fotogrammetrico inoltre, al fine di acquisire immagini della copertura del paraboloide, sono stati utilizzati sistemi UAV.

Tutti questi dati consentono di creare elaborati digitali attraverso i quali arrivare alle considerazioni finali.

Si intende inoltre dare molta importanza alla comparazione dei differenti metodi di acquisizione per cercare di definire, durante l'analisi delle varie fasi metodologiche, quali siano i migliori campi di applicazione per ognuna di esse in scenari simili a quello trattato in questa tesi ed evidenziarne pregi e difetti, per formulare in questo modo una visione d'insieme delle possibilità offerte al giorno d'oggi.



CAPITOLO 2

**RILIEVO METRICO E DOCUMENTAZIONE
DEI BENI CULTURALI**

2. IL RILIEVO METRICO E LA DOCUMENTAZIONE DEI BENI CULTURALI

2.1 L'importanza della documentazione dei beni culturali

Sono beni culturali tutte le cose identificabili come testimonianze aventi valore di civiltà.¹ Lo scopo primario della documentazione è sicuramente produrre una testimonianza storica delle condizioni del bene culturale al momento del rilievo, in quanto sono tutti continuamente soggetti a fattori di rischio, che potrebbero arrecare danni o comunque comprometterne le condizioni e le caratteristiche. Ma effettuare un rilievo completo e ben strutturato al fine di produrre una documentazione esaustiva di un bene, è altresì fondamentale per poter sviluppare un adeguato piano di tutela ed eventuale valorizzazione. Avere a disposizione un'analisi approfondita delle varie parti che lo compongono e dei suoi vari aspetti, rende le successive decisioni di intervento più consapevoli ed ottimizzate.

La documentazione intesa in senso moderno si può far risalire al 1931 quando venne stipulata la Carta di Atene in occasione del I Congresso Internazionale degli Architetti e Tecnici dei Monumenti Storici, che mira alla creazione di archivi e raccolte che racchiudano le documentazioni dei beni censiti, complete di note esplicative e relative fotografie.² Si sono poi succeduti tutta una serie di trattati e carte che hanno condotto alla situazione attuale. Da citare è sicuramente la Dichiarazione di Sofia (1996) elaborata da esperti provenienti da tutto il mondo, che affronta differenti tematiche: il fine del rilievo, le figure professionali interessate, le metodologie operative, i contenuti da sviluppare e la relativa restituzione e gestione.

Successivamente, datato 2009, è importante citare il Metric Survey, una pubblicazione inglese che tenta una volta in più a definire degli standard riguardo il rilievo metrico e le sue varie parti (contratti di lavoro, precisioni, formati di restituzione del rilievo, indicazioni per rilievo image based, su edifici, topografico, raccolta ed archiviazione dei dati, ecc.).³

¹ *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, D.L.22 gennaio 2004 n.42, articolo 2.

² *Carta di Atene*, parte VIII, 1931.

³ J. BEDFORD, B.BLAKE, P. BRYAN, *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, English Heritage*, 2009.

2.2 Il rilievo metrico

Il rilievo metrico architettonico ha come fine la definizione di forma e dimensione di oggetti. Esistono sostanzialmente due metodologie di rilievo metrico:

- Topografico

Gli strumenti utilizzati oggi sono principalmente le stazioni totali e sistemi GNSS. È fondamentale per la misurazione di andamenti del terreno e per creare reti topografiche d'appoggio per rilievi di dettaglio ed unire questi ultimi alla rete globale mediante punti fiduciali ed identificazione delle coordinate con sistemi GPS/GNSS.

- Indiretto

Vengono utilizzate tecniche fotogrammetriche, laser scanner ed altre soluzioni. Si effettuano acquisizioni d'insieme dell'oggetto e successivamente verranno estratte le informazioni che interessano.

L'integrazione di metodi fotogrammetrici (che consentono di creare modelli tridimensionali partendo da fotografie), laser scanning (che prevedono l'acquisizione di ingenti nuvole di punti) e di altro tipo (per esempio la tecnologia SLAM che consente un'acquisizione continua ed in movimento di nuvole di punti) ha portato ad un nuovo approccio di rilevazione, detto metrico-numerico, in quanto caratterizzato da coordinate spaziali derivante da sistemi utilizzati in origine per altri ambiti (per esempio la creazione di cartografie) ma che nell'ambiente architettonico presentano notevoli vantaggi, soprattutto per la loro completezza. Prevedono acquisizioni di molte informazioni per poi estrarre in un secondo momento quelle desiderate (da un rilievo effettuato con le giuste attenzioni è possibile estrarre tipi diversi di rappresentazione di dati, come planimetrie, sezioni, modelli tridimensionali, spaccati assonometrici, ecc.), ed offrono la possibilità di tematizzare gli oggetti del rilievo tramite successive elaborazioni.

2.2.1 Il progetto di rilievo

Durante l'applicazione di queste tecniche, si è rivelato fondamentale seguire un preciso ordine metodologico, al fine di evitare imprecisioni o lacune nei dati.

Per il presente progetto di rilievo si è operato come segue:

- recupero dei dati esistenti e fasi preparatorie
- acquisizione dei dati
- elaborazione dei dati
- creazione degli elaborati
- analisi delle informazioni ottenute¹

¹ J. BEDFORD, B. BLAKE, P. BRYAN, *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, English Heritage, 2009.*

CAPITOLO 3

METODI TRADIZIONALI ED INNOVATIVI DI RILIEVO



3. METODI TRADIZIONALI ED INNOVATIVI DI RILIEVO

3.1 Le applicazioni della topografia

Il fine della topografia è quello di ottenere un'elaborazione grafica del territorio, edifici o altro, attraverso la misurazione delle coordinate di punti.

Nella pratica del rilievo, trova applicazione nello stabilire la posizione di una serie di vertici dai quali poi impostare tutte le misurazioni successive e per collegare esse al sistema di riferimento globale.

3.1.1 Gli strumenti topografici

a) Stazione totale

Si tratta di uno strumento topografico per la misurazione di distanze ed angoli.

La misurazione della distanza avviene attraverso un impulso elettromagnetico, del quale viene calcolato il tempo di volo necessario a colpire il punto da rilevare, essere riflesso e ritornare allo strumento, nonché la differenza di fase della sua onda elettromagnetica al momento della captazione dopo la riflessione. Gli angoli sono invece calcolati in modo digitale all'interno dello strumento stesso.

La stazione totale viene utilizzata principalmente in due modalità. La prima permette di misurare tramite riflessione da uno strumento apposito (prisma) posto sul punto d'interesse, la seconda invece consente la misurazione tramite riflessione direttamente sull'oggetto da rilevare, bisognerà quindi prestare attenzione alla superficie d'interesse, che non deve presentare irregolarità o parti riflettenti rilevanti.

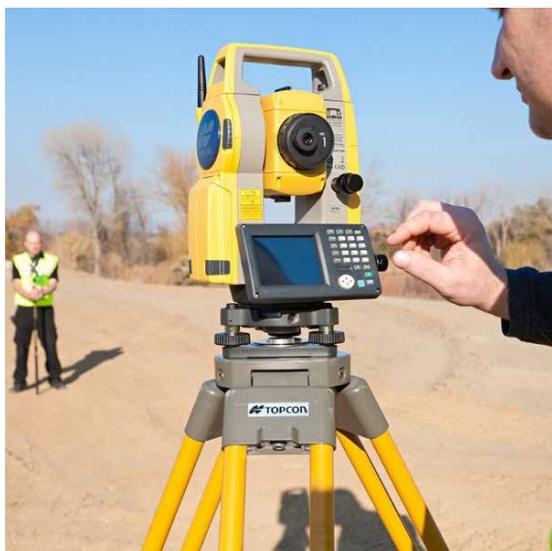


Figura 1 - Esempio di stazione totale.¹



Figura 2 - Miniprisma e palina pieghevole.

¹ http://www.edilportale.com/prodotti/topcon/stazione-totale-windows-ce/topcon-os_63806.html

b) *GNSS*

Il sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) prevede l'utilizzo di satelliti orbitali atmosferici per determinare la posizione di punti attraverso l'impiego di un ricevitore, che è composto solitamente da un corpo compatto da porre su di una palina o su un treppiede e da un pad di controllo separato attraverso il quale si possono programmare le impostazioni ed avviare le misurazioni.

I satelliti ai quali si appoggia il sistema di misurazione si muovono secondo orbite fisse, a 20.000 km di altitudine. Esistono diverse costellazioni, suddivise in base alla nazione costruttrice: GPS (global position system, statunitense), GLONASS (russo), Galileo (europeo), Beidou (cinese) ed altre in fase di completamento. A seconda dello strumento GNSS ci si può collegare a differenti costellazioni di satelliti, i più impiegati sono GPS e GLONASS.

Operazioni di misurazione GNSS

Durante la fase di acquisizione delle coordinate bisogna prestare particolare attenzione che lo strumento sia in grado di ricevere i segnali trasmessi dai satelliti e quindi è necessario garantire una certa visibilità della volta celeste. Le orbite, almeno per quanto riguarda la costellazione GPS composta da 24 satelliti, sono calcolate in modo che da ogni punto della superficie terrestre siano visibili almeno quattro satelliti, al fine di poter effettuare i relativi calcoli delle coordinate. Questi calcoli di posizione si basano sulla misurazione del tempo impiegato dal segnale elettromagnetico prodotto dal satellite per raggiungere l'antenna del ricevitore. Ogni satellite infatti dispone di un orologio ad altissima precisione, sincronizzato con quello degli altri satelliti e con quelli dei ricevitori secondo il sistema di misurazione del tempo UTC (Universal Time Coordination).

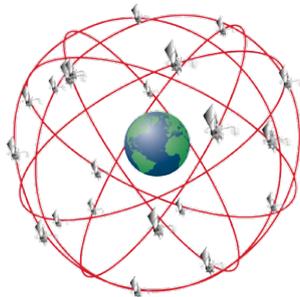


Figura 3 - Costellazione di satelliti.¹

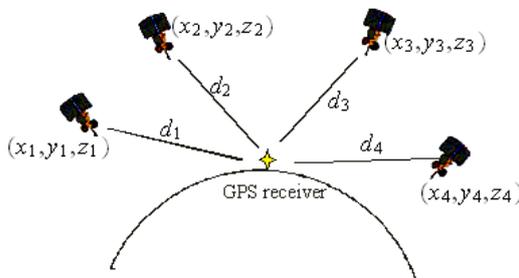


Figura 4 - Visibilità dei satelliti.²



Figura 5 - Esempio di ricevitore GNSS.

¹ <https://it.mathworks.com/matlabcentral/mlc-downloads/downloads/submissions/60683/versions/1/screenshot.png>

² <http://www.math.tamu.edu/~dallen/physics/gps/gps.htm>

Il sistema di acquisizione GNSS può essere effettuato in due differenti modalità: statico o RTK. L'acquisizione delle coordinate dei punti d'interesse può essere effettuata in due differenti modalità con metodo differenziale, ossia attraverso la misurazione reciproca di due punti per ottenere una precisione maggiore.

Lo strumento può essere posizionato su un treppiede per la misurazione delle coordinate di un punto particolare (attuando letture molto prolungate, anche di un'ora) oppure può essere configurato in RTK (rilievo cinematico in tempo reale), che si compone di un ricevitore fisso posizionato su un treppiede e stazionato su di un punto noto ed un altro ricevitore mobile (rover). Tra i due è necessaria una comunicazione e la visibilità di almeno 5 satelliti comuni. Durante le misurazioni vengono registrati i punti misurati dal rover, che è posizionato su di una palina utilizzata manualmente dall'operatore, ai quali verrà trasmessa la correzione di coordinate dalla stazione GNSS di base. E' importante che il collegamento tra i due strumenti non venga mai perso e, in caso di sua assenza, deve essere ristabilito prima di poter misurare nuovamente.

Una particolare tipologia di rilievo RTK è denominata rilievo cinematico, nella quale lo strumento, in movimento su di un veicolo oppure trasportato da un operatore a piedi, acquisisce una serie ravvicinata di punti lungo il percorso da rilevare, rendendo il processo praticamente continuo. Trova utilità per esempio per la mappatura di strade e tracciati di condutture di grossi impianti.

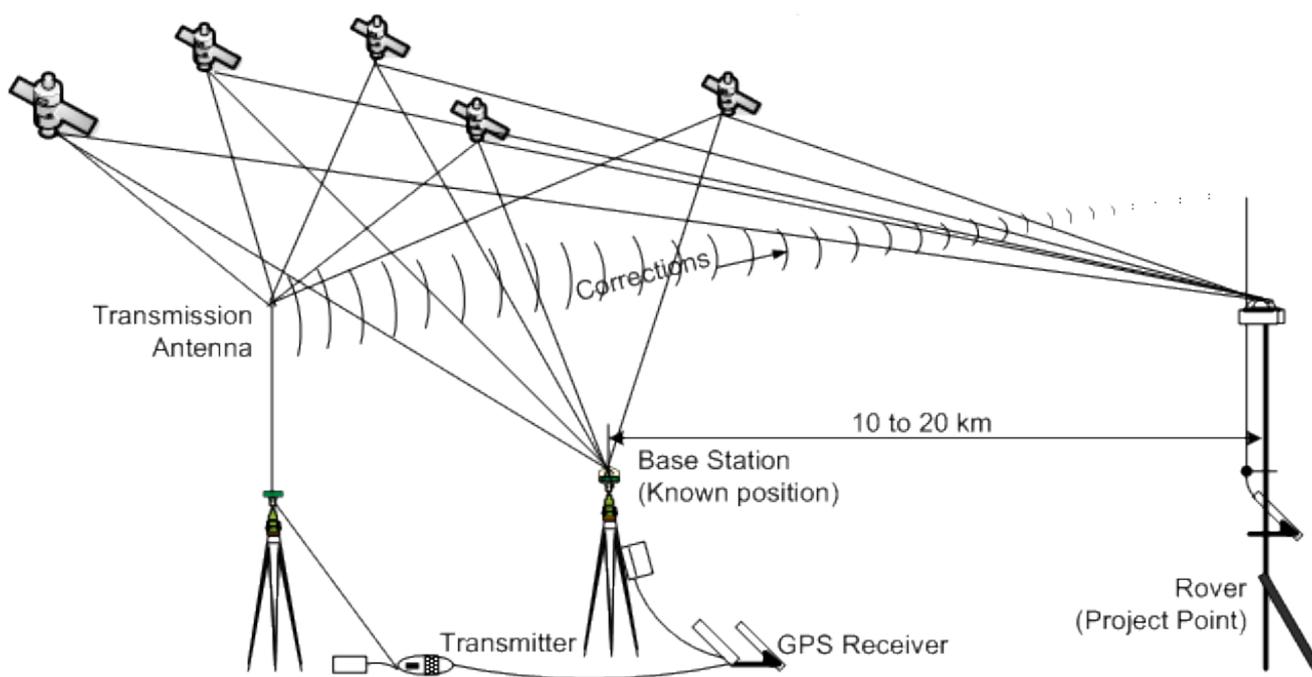


Figura 6 - Funzionamento del sistema RTK.¹

¹ http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_13/B_13_10RTK.htm

3.2 La fotogrammetria

È possibile applicare i processi fotogrammetrici a qualsiasi tipo di oggetto fisico, di piccole o grandi dimensioni, che sia un elemento architettonico oppure una porzione di suolo. Il principale punto di forza sta nel rilevare un gran numero di informazioni in maniera completa ed esaustiva semplicemente effettuando catture di fotogrammi.

3.2.1 Fotogrammetria digitale

Se nei tempi passati la fotogrammetria era effettuata mediante l'utilizzo di camere tradizionali non digitali e gli elaborati erano gestiti manualmente, l'avvento dell'informatica e delle nuove tecnologie hanno cambiato il modo di lavorare. Si sfruttano al massimo infatti le potenzialità dei computers, delle fotocamere digitali e di altre nuove invenzioni che bene si prestano a questo scopo.

Nella fotogrammetria digitale vengono utilizzati solo fotogrammi digitali ed il processo di restituzione è svolto completamente mediante software. Questi applicativi nascono dall'unione delle vecchie tecniche fotogrammetriche con quelle moderne ed informatizzate della computer vision.

L'immagine digitale è formata da pixels, ognuno dei quali possiede una determinata posizione e determinate caratteristiche univoche e invariabili nel tempo. Quindi queste caratteristiche di ogni punto che forma l'immagine sono definite dalla corrispondenza tra il pixel e la sua coordinata, che sono rappresentabili entrambi come matrici numeriche.

Identificazione della posizione dell'immagine nello spazio

Ogni fotogramma che verrà utilizzato è stato catturato da un punto ben preciso nello spazio reale, la localizzazione di questo punto è fondamentale per l'attuazione dei processi fotogrammetrici.

Ci si basa sul fatto che la camera da presa possedesse il suo orientamento interno, ossia l'insieme di tutti quei parametri utili a definirne la geometria propria. Prende invece il nome di orientamento esterno l'insieme dei parametri che definiscono l'assetto spaziale della camera da presa, riferiti ad un sistema di coordinate prestabilito, che viene definito da 6 parametri: 3 che rappresentano le possibili rotazioni e 3 che rappresentano le possibili traslazioni nello spazio. Per poter ricostruire lo spazio reale attraverso queste tecniche erano necessari almeno due fotogrammi, quindi 12 parametri.¹

Oggigiorno queste operazioni sono effettuate dal software durante la fase di allineamento, elaborando algoritmi basati sulla computer vision.² Questa tecnica prende il nome di "Structure for motion" o SfM e prevede l'identificazione di punti caratteristici (tie-points) in modo automatico in base a contrasti radiometrici, definendo così dei pixel in maniera univoca, assegnando ad ognuno di essi un descrittore. Questo servirà nel successivo passaggio denominato feature matching, nel quale i punti con descrittori simili tra loro presenti su fotogrammi differenti vengono allineati e successivamente triangolati per definirne la posizione (bundle adjustment).³

¹ K. Kraus, *Fotogrammetria, volume 1, Teoria e applicazioni*, Levrotto e Bella, 1998.

² D. G. Lowe, *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*, International journal of computer vision, 60, 2, pagine 91 -110.

³ A. Spanò, *Slide del corso di Fotogrammetria*, a.a. 2016-2017

3.2.2 Fase di acquisizione

Durante la fase di acquisizione le immagini devono essere riprese da differenti angolazioni: nadirali ed oblique. Queste ultime servono a documentare zone non visibili dalle prime ed a sviluppare con un livello di dettaglio maggiore il modello tridimensionale.

Per effettuare al meglio questa operazione, è sempre necessario elaborare a priori un progetto di presa, per garantire un ricoprimento d'acquisizione completo ed ottimale delle aree d'interesse. Altra cosa da tenere a mente è mantenere sempre la ghiera della messa a fuoco nella stessa posizione tra un'acquisizione e l'altra per ottenere un'uniformità maggiore di informazioni. Le varie fotografie presentano una sovrapposizione minima del 60% l'una con l'altra per permettere successivamente una buona individuazione dei punti omologhi da parte del software.

3.2.3 Metodologie applicative

a) *Fotogrammetria terrestre (Close Range Photogrammetry)*

Trova applicazione per l'analisi di oggetti più vicini rispetto alla fotogrammetria aerea ed ha svariati utilizzi in ambito architettonico ed ingegneristico.

I tempi rapidi di rilevamento risultano molto utili se si opera in zone difficilmente accessibili o con accesso limitato nel tempo. Altre applicazioni specialistiche possono riguardare analisi statiche strutturali, storiche, archeologiche o l'osservazione di piccoli oggetti che necessitano un ingrandimento.

Viene effettuata mediante apparecchiature video-fotografiche posizionate su supporti stabili oppure in alcuni casi direttamente in modo manuale dall'operatore.

b) *Fotogrammetria aerea*

È un branca della fotogrammetria applicata per la rilevazione del territorio a scala ampia e la restituzione di cartografie oppure per grandi oggetti architettonici. Le acquisizioni di immagini vengono effettuate attraverso l'utilizzo di mezzi e piattaforme aeree, in passato palloni aerostatici o mongolfiere, recentemente mediante aerei, elicotteri e droni UAV. Oggigiorno è prodotta in formato digitale (cartografia numerica, ossia composta da dati informatici sotto differenti forme, come immagini raster nelle quali ad ogni pixel è associata una caratteristica, per esempio l'altimetria) e gestita tramite GIS (geographic information system, un sistema di organizzazione e gestione di dati in formato digitale).

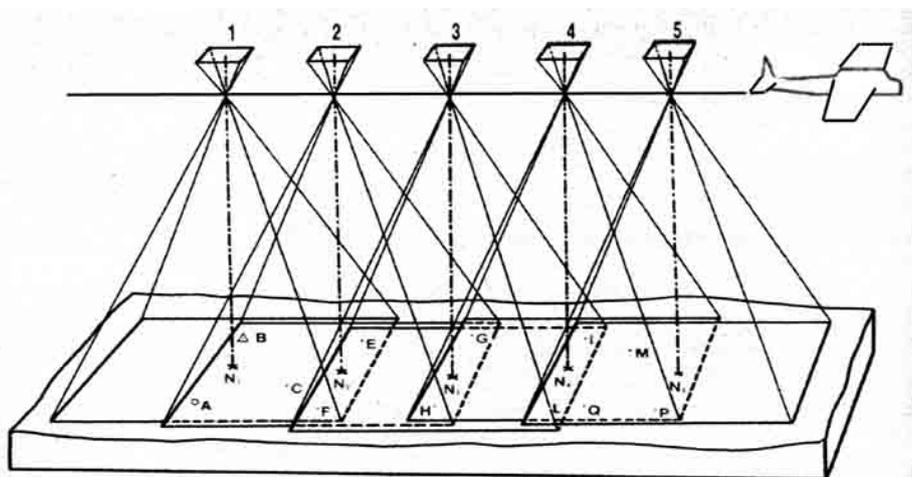


Figura 7 - Schema di volo con in evidenza la sovrapposizioni tra fotogrammi.¹

¹ http://www.rilievoarcheologico.it/manuale_rilievo8_000022.htm

3.2.4 L'apporto della tecnologia UAV

Gli UAV (aeromobili a pilotaggio remoto comunemente chiamati droni) offrono nuove opportunità per il rilievo. Danno infatti la possibilità di osservare parti di oggetti difficilmente raggiungibili con mezzi convenzionali, prefigurandosi come sistema per spostare e collocare lo strumento di rilevazione in punti altrimenti inaccessibili. I primi tentativi di effettuare riprese dall'alto furono effettuati mediante l'installazione di un apparecchio fotografico su aquiloni, palloni aerostatici dirigibili ed in una particolare occasione su piccioni addestrati. In tempi più recenti, queste soluzioni, che avevano il grosso difetto di essere poco maneggevoli e controllabili, sono state sostituite da mini elicotteri o aerei ad ala fissa a scala ridotta. Oggigiorno hanno ormai trovato ampia diffusione le evoluzioni dei vecchi mini aerei ad ala fissa ed un nuovo tipo di velivoli con rotori multipli paralleli al suolo, che possono essere quadri/esa/octa-cotteri, a seconda del numero di rotori.

I velivoli ad ala fissa presentano la struttura tipica di un aeroplano standard, sono in materiale leggero e solitamente vengono utilizzati per voli a quota più alta. All'interno del corpo centrale è posizionata una camera da presa che cattura immagini in sequenza durante il volo, mentre il velivolo è in movimento. Necessitano però di una porzione relativamente piana di terreno dove poter atterrare.



Figura 8 - Esempio di drone ad ala fissa, modello eBee SenseFly.¹

I droni con rotori invece, sono composti da un corpo centrale al quale è collegato lo strumento di cattura video e 4/6/8 bracci al termine dei quali è posizionato un rotore a pale. La differenza principale rispetto agli UAV ad ala fissa è la possibilità di effettuare voli stazionari ed avere un controllo maggiore. Generalmente però volano a quote inferiori per problemi di stabilità. La facilità con la quale ora è possibile analizzare e documentare porzioni di edifici (in questo caso specifico), li rende strumenti ideali per questi scopi.

¹ <http://www.modelairplanenews.com/ebec-12000-foamie/>



Figura 9 - Drone quadricottero, modello DJI Inspire 2.¹



Figura 10 - Drone esacottero, modello Yuneec Typhoon H.¹

Il volo può essere effettuato in modalità automatica o manuale.

- Volo automatico

il limite principale in questa modalità è l'impossibilità da parte dell'operatore di muovere la camera presente sul drone, sarà quindi indispensabile una buona programmazione del volo. Questa modalità si presta bene per effettuare voli nadirali o obliqui lungo rotte prestabilite. Tramite il software dedicato, delimitando l'area di interesse, il ricoprimento e la quota desiderata, il drone effettua delle strisciate ed acquisisce le immagini dalla posizione voluta. Molto importante è, ovviamente, impostare una quota di volo in modo da non colpire ostacoli quali possono essere edifici o alberi.

- Volo manuale

in questa modalità il drone viene pilotato direttamente ed in tempo reale dall'operatore. Il vantaggio principale è di avere maggiore controllo sull'UAV al fine di poter volare vicino ad ostacoli quali edifici o alberi.

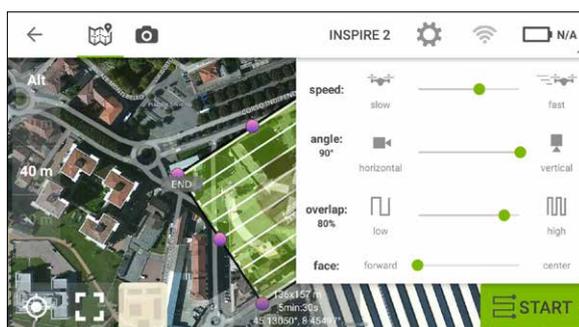


Figura 11 - Programmazione del volo automatico, Software PiX4D.



Figura 12 - Programmazione del volo automatico, piano di volo. Software PiX4D.

¹ <https://store.dji.com/product/inspire-1-v2>

² <http://www.dronepoint.com/negozi/droni-pronti-al-volo/yuneec-typhoon-h-professional-real-sense-esacottero-pronto-al-volo>

Pianificazione del volo

Il GSD rappresenta il ricoprimento a terra di un pixel. Ovviamente, tanto più il pixel è grande, tanto minore sarà la definizione dell'immagine e viceversa. Durante le fasi di pianificazione bisogna appunto definire il GSD e l'altezza di volo (h) corrispondente, la scala del fotogramma è data da f/h .

Il GSD si calcola nel modo seguente:

$$\text{GSD} = (sxh)/(fxn)$$

dove:

s = lunghezza del sensore della camera (specifica delle camera)

h = distanza di presa (dipende dalla quota di volo)

f = distanza della focale (dipende dall'obiettivo)

n = numero di pixel

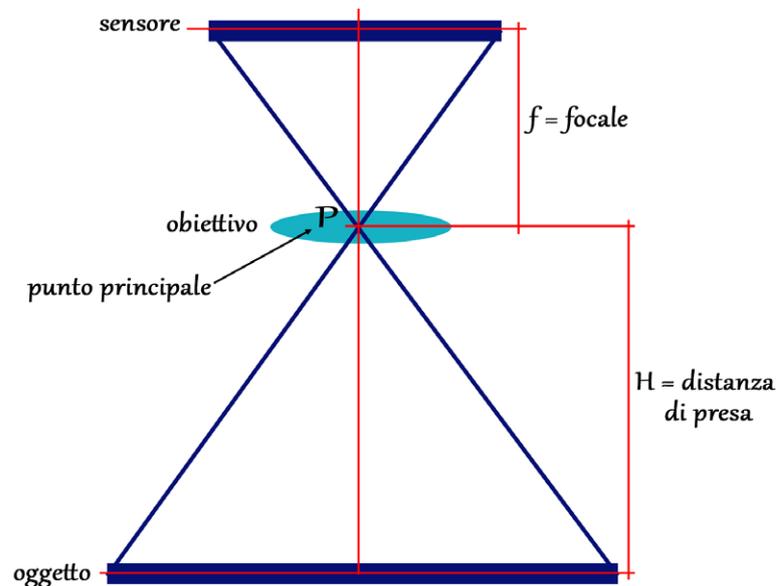


Figura 13 Schema degli elementi per il calcolo del GSD.¹

Durante la fase di acquisizione mediante UAV si è reso necessario porre attenzione a:

- creare un piano di volo composto da più strisciate che devono creare tra loro una maglia ortogonale con una buona sovrapposizione
- per la ripresa delle facciate attraverso voli fotogrammetrici, oltre alle immagini nadirali, sono necessarie riprese con camera inclinata a 45° e viste oblique.

¹ <http://www.3deffe.com/gsd-ground-sample-distance/>

3.2.5 Elaborazione della nuvola di punti

In una prima fase, vengono calcolati e individuati automaticamente dei punti caratteristici, chiamati tie-points. L'algoritmo applicato per la ricerca di punti omologhi

Ad ogni punto che è stato individuato viene assegnato un descrittore, che durante la fase successiva denominata di feature matching, serviranno a rendere possibile da parte del software l'identificazione di pixels simili tra loro, che verranno poi allineati e successivamente infittiti, durante il procedimento di bundle adjustment (di triangolazione). Se nella fotogrammetria tradizionale venivano utilizzate equazioni di collinearità per stimare, attraverso triangolazioni, la posizione dei punti oggetto del rilievo e presenti in due o più fotogrammi utilizzati, nella fotogrammetria digitale si fa ricorso alle regole della geometria epipolare, che mette in relazione i punti caratteristici (tie points), la posizione del punto nello spazio ed il centro di presa del fotogramma. Si crea così una rete di intersezioni che darà origine ad un modello denso di punti.

La geometria epipolare prevede che esista una condizione secondo la quale i fotogrammi che si trovano sullo stesso piano ed i punti omologhi presenti in essi possano essere ricercati lungo delle linee chiamate appunto linee epipolari.

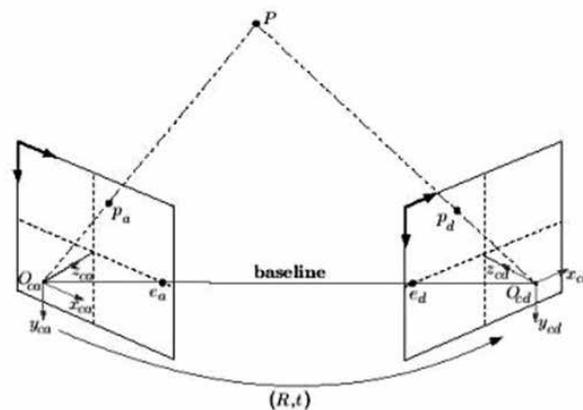


Figura 14 - Rappresentazione del concetto base della geometria epipolare.¹

3.2.6 Elaborati fotogrammetrici

Con i processi di elaborazione fotogrammetrica si ottengono differenti tipologie di elaborati (grafici o numerici) per mettere in risalto diversi aspetti dell'oggetto del rilievo, generalmente si tratta di cartografie di varia scala e differientemente tematizzate e modelli tridimensionali virtuali che possono poi avere fini svariati, come l'estrapolazione di misure di dettaglio per elaborati bidimensionali. Esempi di elaborati derivanti da rilievo fotogrammetrico sono:

- L'*ORTOFOTO* è una rappresentazione dell'area di interesse ottenuta mediante un raddrizzamento differenziale che viene così a creare una veduta nadirale con buona approssimazione dell'errore tra posizione reale dell'oggetto e posizione proiettata.

- Il *DEM* (digital elevatio model) è costituito da un'immagine raster e ad ogni punto che la com-

¹ <http://slideplayer.com.br/slide/4074428/12/images/26/Correspond%C3%A0ncia+de+imagens+2D.jpg>

pone è associato un valore altimetrico. Sostanzialmente si tratta di una matrice raster.

- Il *DTM* (digital terrain model) è una rappresentazione numerica tridimensionale del terreno, formata da un insieme di punti ognuno caratterizzato dalle proprie coordinate spaziali rispetto al sistema di riferimento prescelto. Solitamente è di formato vettoriale. Nel *DTM* non sono presenti elementi differenti dal suolo, come ad esempio alberi, edifici ecc.
- Il *DSM* (digital surface model) rappresenta invece ogni superficie rilevata dall'alto attribuendo ad ogni punto dell'immagine una quota altimetrica. Comprende tutti gli oggetti presenti sul suolo, compresi edifici, alberi, vetture, ecc.

3.3 I sistemi LIDAR

La tecnologia LIDAR (Light Detection And Ranging) è entrata a far parte delle tecniche di rilevamento dei beni culturali date le sue particolari caratteristiche e potenzialità.

Lo strumento utilizzato per effettuare questo tipo di acquisizioni prende il nome di laser scanner, che consente di rilevare un grande numero di punti per mezzo di impulsi laser nello spazio tridimensionale.

Questi costituiranno quindi una nuvola di punti ed ognuno di essi sarà caratterizzato da una terna di coordinate (x, y, z).

Al contrario dei metodi tradizionali che prevedono una prima fase di interpretazione e successivamente quella di misurazione, la tecnologia laser scanner comporta una prima fase di acquisizione di una grande mole di dati che successivamente verranno trattati ed interpretati.

Il principio di funzionamento deriva dalle misurazioni tramite onde elettromagnetiche presenti per esempio anche nelle stazioni totali.

Il laser è un fascio monocromatico di radiazioni elettromagnetiche, ossia un'onda luminosa che:

- è composto da una sola frequenza di luce
- è in grado di propagarsi con elevata direzionalità a grande distanza
- deve essere costituito da onde della stessa frequenza e fase

Le onde che compongono il raggio laser non risultano essere perfettamente parallele tra loro e presentano quindi una certa divergenza che più è alta e meno precisa sarà la misura effettuata.

Durante la pianificazione della sessione di rilievo con questo tipo di strumenti è necessario tenere a mente i limiti di autonomia dello strumento, i tempi necessari ad ottenere un'acquisizione e la massima distanza alla quale riesce a rilevare dei punti (dovuta alla perdita di energia dell'onda elettromagnetica)

Quando lo strumento è in posizione è possibile selezionare la risoluzione desiderata per l'acquisizione. Va sottolineato che lo strumento rileva, oltre alla nuvola di punti, anche un'immagine fotografica da associare ad essa.

Un altro fattore tenuto in considerazione durante il rilievo è che quando il raggio laser colpisce una superficie, viene in parte riflesso, assorbito e trasmesso. La riflessione può essere speculare o diffusa, a seconda della rugosità del materiale sul quale la radiazione impatta. Quindi bisogna sempre tenere in considerazione il materiale sul quale viene effettuata la misurazione, per evitare riflessioni indesiderate che potrebbero compromettere l'acquisizione.

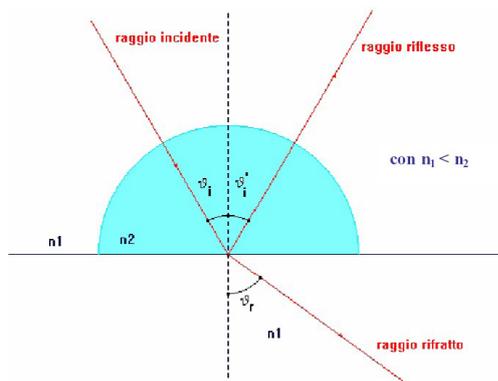


Figura 15 - Comportamento di riflessione, rifrazione ed assorbimento di un'onda elettromagnetica.¹

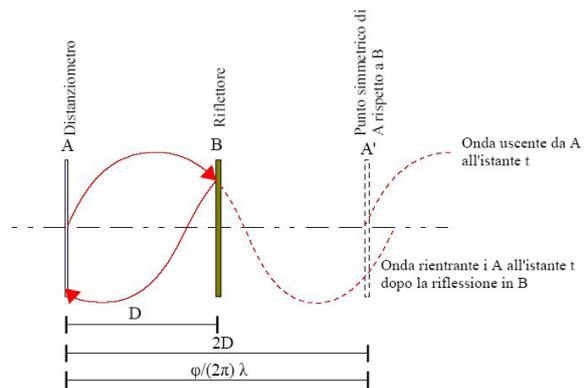


Figura 16 - Schema di riflessione di un'onda elettromagnetica.²

3.3.1 Fase di acquisizione

I laser-scanner sono sprovvisti di cannocchiale, quindi non si può collimare su un preciso punto, ma si rileveranno aree più o meno ampie dell'oggetto in esame. Le misure acquisite dallo scanner laser sono riferite al centro dello strumento e definite da coordinate polari. L'operatore può definire la direzione della scansione, l'area da rilevare e soprattutto la densità dei punti da rilevare, che coincide con l'ampiezza del passo della scansione. Come per gli altri metodi sono necessarie solitamente più scansioni effettuate da punti diversi per ottenere la copertura totale dell'oggetto. Se in scansioni diverse sono presenti almeno tre oggetti da usare come riferimento, è possibile portarle tutte allo stesso sistema di riferimento. Questi oggetti possono essere naturali o posizionati dall'operatore, come ad esempio marker cartacei. I punti di riferimento possono inoltre essere georeferiti per via topografica.

Una volta messo in stazione lo strumento ed effettuata la scansione, si ottiene un modello digitale dell'oggetto preso in esame, consistente in una nuvola di punti. Ogni punto acquisito sarà caratterizzato dalle sue coordinate cartesiane (x, y, z) e dall'intensità del segnale di ritorno, che ne definisce la risposta radiometrica (valore di riflettività).

È fondamentale progettare una buona rete di inquadramento e posizionare o individuare i punti che verranno utilizzati come riferimenti.

La precisione dell'acquisizione è data dalla somma di diversi fattori:

- errore nel calcolo del tempo di volo
- errore meccanico angolare
- errore di calibrazione
- errore di incidenza del raggio

Per minimizzare l'errore e distribuirlo sulle varie acquisizioni, bisogna ricorrere all'overlapping, ossia un sovracampionamento dell'oggetto rilevato in modo che stessi punti siano visibili più volte su acquisizioni differenti. Sostanzialmente, scansioni adiacenti devono avere una buona superficie di sovrapposizione reciproca. Nelle acquisizioni effettuate per il rilievo dell'oggetto di questa tesi, l'overlapping è garantito e sempre superiore al 40% (si consiglia maggiore del 30%).

<http://server1.fisica.unige.it/~tuccio/SSIS/Programma2008.html>

https://it.wikipedia.org/wiki/Laser_scanner#/media/File:Distanziometro_differenza_di_fase.jpg

3.3.2 Tipologie di laser scanner

Gli scanner laser, in base alle loro caratteristiche, si differenziano in:

- *Distanziometrici* (range scanner): hanno un principio di funzionamento simile alle stazioni totali ossia mediante l'identificazione di una distanza e di due angoli. Misurando lo sfasamento dell'onda di ritorno o il tempo di volo dell'onda stessa è possibile calcolare l'esatta distanza dal punto rilevato.
- *Triangolatori*: hanno un principio di funzionamento simile ai metodi fotogrammetrici, ossia la posizione di ogni punto viene calcolata mediante l'intersezione di rette di direzione nota passanti per il punto stesso ma con origine in differenti scansioni.

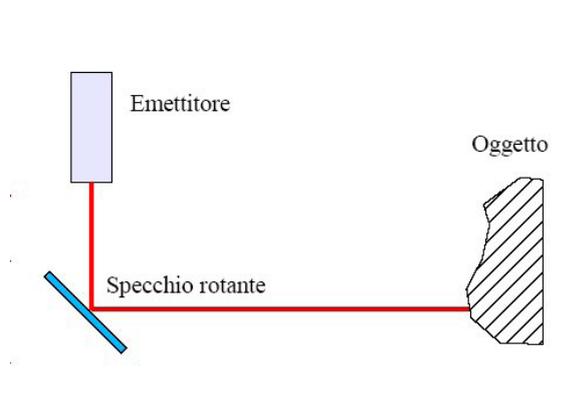


Figura 17 - Funzionamento di un laser scanner distanziometrico.¹

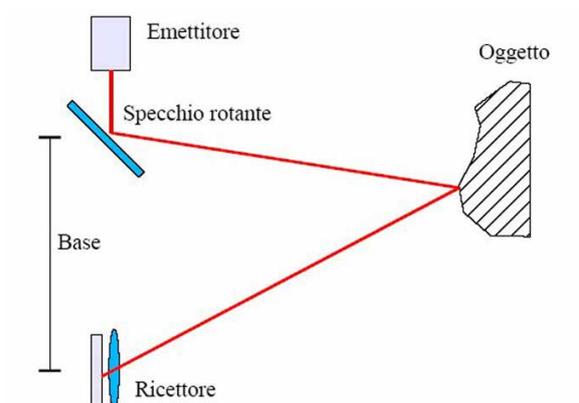


Figura 18 - Funzionamento di un laser scanner triangolatore.²

In base al numero di camere

- *Scanner a camera singola*: il raggio laser viene generato dall'emettitore, colpisce uno specchio rotante e si riflette sul punto da rilevare
- *Scanner a due camere*: l'emettitore si trova tra due camere. Questo sistema è utilizzato principalmente per brevi distanze ed offre una precisione sub-millimetrica.

In base alla portata, intesa come distanza rilevabile

- Laser scanner a *piccola portata*: portata < 1m, precisione < mm, metodologia di calcolo: triangolazione.
- Laser scanner a *media portata*: portata 1m – 50m, 2mm < precisione < 6mm, metodologia di calcolo: triangolazione e differenza di fase.
- Laser scanner a *lunga portata*: portata 50m – 800m, precisione \approx cm, metodologia di calcolo: tempo di volo.

¹ https://it.wikipedia.org/wiki/File:Principio_Laser_scanner_distanziometrici.jpg

² <http://www.3dtarget.it/eu/it/laser-scanner/tecnologia-laser-scanner.html>

In base al metodo di utilizzo:

- *Laser scanner fissi*: vengono posizionati su di un treppiede o comunque su un supporto e rimangono fermi nello stesso punto per tutta la durata della scansione.
- *Laser scanner mobili*: non prevedono una posizione fissa ma vengono ruotati intorno all'oggetto da rilevare per un ricoprimento totale.



Figura 19 - *Laser scanner fisso, modello Focus 3D Faro.*¹



Figura 20 - *Laser scanner mobile, modello Freestyle Faro.*²



Figura 21 - *Laser scanner mobile, modello Handyscan 3D Creafom.*¹

3.3.3 Elaborazione della nuvola di punti

L'acquisizione tramite laser scanner produce immediatamente una nuvola di punti, con la precisione e la densità prestabilita. Effettuando più scansioni nello stesso spazio, si rende necessario allinearle tra di loro, operazione che può essere effettuata con differenti metodi, descritti nel capitolo dedicato all'elaborazione delle nuvole di punti LIDAR.

¹ <http://riviste.tecnichenuove.com/nautechworld/2014/01/07/laser-scanner-focus/>

² <http://surveyequipment.com/faro-scanner-freestyle-3d/>

³ <http://www.aetlabs.com/wp-content/uploads/2015/10/Creafom-Handy-Scan1.png>

3.4 Altre tecniche di acquisizione

3.4.1 Tecnologia SLAM

Questa nuova tecnologia di rilievo ed acquisizione consente la creazione di una nuvola di punti tridimensionale, come con gli strumenti precedenti, paragonabile con quella generata da un laser scanner fisso ma con una qualità inferiore. Questo strumento può essere impiegato sia all'esterno che all'interno di locali chiusi e viene condotto manualmente attraverso gli ambienti oggetto d'indagine.

Lo strumento è costituito da uno scanner 2D e da un misuratore inerziale (IMU) capace di calcolare la posizione dello strumento stesso durante il movimento. Eseguendo in sostanza una scansione continua¹.

La tecnologia SLAM si basa sull'unione di questo misuratore inerziale, grazie al quale saranno note le coordinate della traiettoria fatta percorrere dallo strumento che sarà quindi in grado di collocare i punti scansionati nello spazio digitale creando una nuvola globale tridimensionale ("metodo LIDAR"), e di un software interno che effettua delle correzioni sulla traiettoria di acquisizione grazie al riconoscimento di punti caratteristici presenti nello spazio reale rilevato ("metodo fotogrammetrico").

L'impiego di questo sistema, a fronte di un minore dettaglio, consente un'acquisizione più rapida e di facile attuazione.



Figura 22 - Strumento basato su tecnologia SLAM modello GeoSlam Zeb REVO.²



Figura 23 - Impiego del modello GeoSlam Zeb REVO.³

¹ BROCCINI, D.; CHIABRANDO, FILIBERTO; COLUCCI, ELISABETTA; SAMMARTANO, GIULIA; SPANO', ANTONIA TERESA; TEPPATI LOSE', LORENZO, VILLA, ALICE, *The geomatics contribution for the valorisation project in the rocca of san silvestro landscape*, in: International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2017, VOL. XLII-5/W1, PP. 495-502, par. 3.4

² http://www.norsecraftgeo.se/produkter/produktgrupper/capture_reality/capture_reality_zeb-revo.html

³ <https://www.equipmentworld.com/geoslam-allows-you-to-scan-buildings-rooms-and-interior-spaces-as-fast-as-you-can-walk-them/>

3.5 Trattamento delle nuvole di punti

Una volta effettuate le scansioni, le nuvole di punti devono essere trattate ed elaborate attraverso una serie di passaggi:

- ricerca dei marker e dei punti naturali utilizzati
- eventuale seconda elaborazione di allineamento
- georeferenziazione
- pulizia e filtraggio di ogni singola scansione
- creazione di mesh ed eventuale suddivisione per elaborazioni
- texturizzazione

La fase di pulizia e filtraggio delle nuvole sono necessarie per eliminare quei punti che per varie ragioni rappresenterebbero un problema per le successive elaborazioni. Generalmente, vengono eliminati quei punti che non fanno parte delle geometrie da analizzare, per esempio edifici od oggetti sullo sfondo.

Nelle nuvole di punti elaborate in questa tesi è stato necessario eliminare le parti rilevate degli edifici circostanti il paraboloide ed in alcuni casi i punti che descrivevano le geometrie di vegetazione infestante.

Durante la fase di generazione della mesh, essa potrà essere di due differenti tipologie: di tipo triangolare (composta cioè da un numero più o meno elevato di superfici triangolari derivanti dall'unione dei punti della nuvola) oppure può essere composta da superfici NURBS (ossia definite non da unione di punti ma da equazioni).

In tutte le elaborazioni del paraboloide sono state sempre utilizzate mesh triangolari.

Per quanto riguarda la fase di texturizzazione, essa può avvenire in due modalità differenti:

- Per punti omologhi

si effettua associando a determinati punti della mesh tridimensionale i corrispettivi punti presenti nel file raster. La restante parte dell'immagine verrà quindi "spalmata" in base agli abbinamenti effettuati.

- Automatica

viene eseguita in automatico dal software di calcolo fotogrammetrico il quale, avendo creato la nuvola di punti e la relativa mesh estrapolando i dai fotogrammi, associa in modo diretto ogni punto presente al pixel corrispondente e crea così la texture.

3.6 Il GIS come strumento di analisi

Con l'acronimo GIS (Geographical Information System) si intende un complesso di elementi informatici e non (hardware, software, acquisizioni di dati, operatori qualificati) che uniti hanno il fine di raccogliere, catalogare, archiviare e gestire dati territoriali a qualsiasi livello di dettaglio.

Si tratta quindi di un sistema digitale che rappresenta la realtà ed i fenomeni d'interesse ad un livello superiore della classica cartografia, in quanto consente di integrare informazioni tematiche e multidimensionali di ogni genere, offrendo inoltre un metodo di archiviazione tramite database, rappresentazione, analisi che consente una successiva estrazione dei dati inseriti.

Per quanto riguarda le applicazioni che può avere nel campo dell'architettura e del rilievo metrico, in un progetto GIS possono essere rappresentati e caratterizzati i vari componenti di aree urbane, (per esempio gli edifici, gli assi viari, le aree verdi, ecc.) ma anche le altimetrie o fenomeni a scala territoriale (per esempio confini politici, ecc.).

Un dettaglio fondamentale, soprattutto per i lavori di rilievo e restituzione come quello affrontato in questa tesi, è che tutti i dati di un modello GIS sono georeferiti, ossia hanno una posizione univoca nello spazio. Questa caratteristica, oltre a fornire le esatte coordinate dei punti d'interesse, unita al fatto di trattarsi di files virtuali e quindi facilmente trasferibili e complementari, offre la possibilità di integrare costantemente lavori sviluppati da team diversi, in luoghi diversi e soprattutto in tempi diversi.

I dati inseriti in un sistema GIS sono generalmente in formato vettoriale o raster.

Queste operazioni di analisi che vengono svolte a scala territoriale, trovano applicazione anche nel rilievo di architetture e beni, in quanto i dati sono strutturati nello stesso modo.

Infatti è anche possibile sviluppare DEM e DSM locali.

Per georeferire qualsiasi elemento, è indispensabile aver preimpostato un sistema di riferimento da utilizzare, che ovviamente dovrà coincidere con quello delle coordinate da inserire.

La modalità internazionale di misurazione cartografica si basa dal 1950 sul sistema UTM (Universal Transvers Mercator), che è elaborato rispetto alla proiezione trasversale di Mercatore.

3.6.1 Utilizzi a scala territoriale

Esistono diversi tipi di cartografie, ma si possono distinguere generalmente in due filoni: carte tecniche e carte tematiche

Un progetto GIS può trovare applicazione in entrambi i contesti.

È possibile infatti elaborare ambienti virtuali per georeferire cartografie attuali o storiche, per fini tecnici o di ricerca (per esempio osservare l'evoluzione urbana di un determinato contesto), per visualizzare elementi tridimensionali legati al territorio (si pensi a carte tecniche che mostrano l'andamento altimetrico di una porzione di territorio).

Ma è anche possibile estrarre carte tematiche che rappresentano alcuni fenomeni, creare database e catalogare informazioni, effettuare analisi sul territorio (ad esempio analisi demografiche, della presenza di risorse, fenomeni d'interesse), creare simulazioni (ricerca del miglior itinerario per uno spostamento, ottimizzazione di flussi, eccetera).

¹ LUIGI SCARPA, *Lo spazio geografico nei GIS, Sistemi Informativi Geografici: concetti, tecnologie ed applicazioni*, CUEN, Napoli, 2001

In questo ambito è anche possibile l'individuazione di soluzioni dopo aver inserito i loro fattori determinanti (per esempio per la definizione della collocazione di una nuova stazione ferroviaria, a fronte dell'inserimento di fattori quali densità demografica, vie di comunicazione, trasporti pubblici, eccetera. Con l'analisi incrociata di questi fattori si potrà trarre la soluzione migliore). A livello territoriale è inoltre possibile effettuare simulazioni di vario genere, basando le loro elaborazioni sui dati archiviati manualmente sul software, per esempio espansioni urbane o stime dell'aumento del numero di abitanti in una determinata area.

3.6.2 Utilizzi su singoli edifici o porzioni di essi

La creazione di sistemi GIS può trovare anche applicazioni di altro tipo, per esempio su singoli edifici può essere utilizzata per mappare determinati fenomeni ed il loro ripetersi, oppure per visualizzare sovrapposizioni architettoniche appartenenti a periodi differenti.

Più avanti si vedrà come questa tecnologia trovi un'utile applicazione nell'analisi del paraboloide e di ciò che resta degli impianti industriali nel piano interrato.

La struttura dei dati non varia in base alla scala di analisi e ciò permette l'uso di questi sistemi anche per zone ridotte, offrendo la possibilità di generare ortofoto o DEM dove necessario.

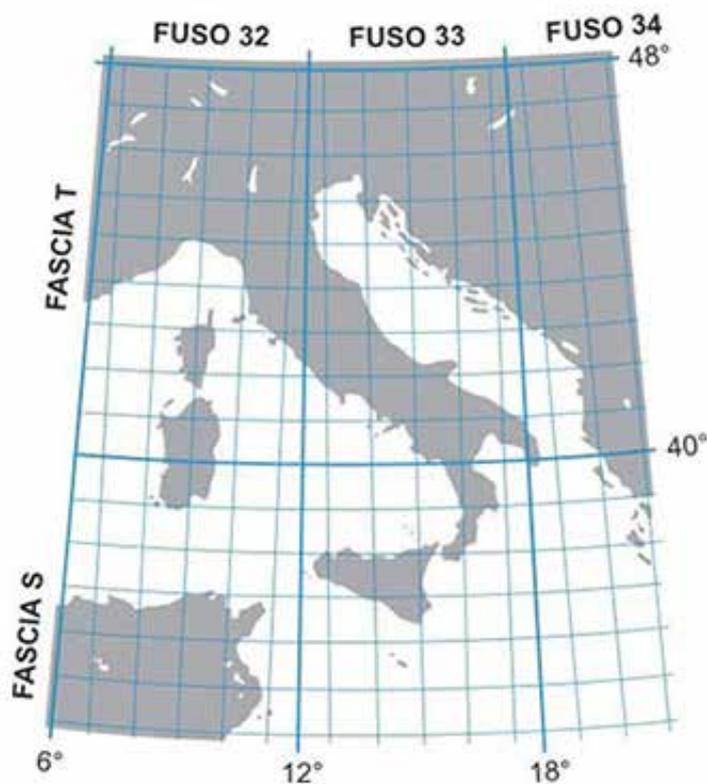


Figura 24 - Inquadramento del territorio nazionale nel sistema UTM.²

¹ LUIGI SCARPA, *Lo spazio geografico nei GIS, Sistemi Informativi Geografici: concetti, tecnologie ed applicazioni*, CUEN, Napoli, 2001, pagine

² <http://www.openoikos.com/blog/le-basi-di-qgis-i-sistemi-di-riferimento-piu-usati-in-italia/>

3.7 Applicazioni della modellazione digitale

Da sempre nell'ambito dell'architettura, per dare maggiore forza alle rappresentazioni bidimensionali si ricorre alla creazione di modelli tridimensionali. Si possono ovviamente identificare molti ambiti d'applicazione diversi per quanto riguarda la modellazione digitale, ma riguardo a quelli che interessano specificatamente il rilievo metrico e la presente tesi se ne possono indicare due:

- Rappresentazione delle geometrie rilevate con sistemi tradizionali

La modellazione viene effettuata dopo il rilievo, utilizzando le geometrie acquisite.

Il modello tridimensionale deriva cioè dalle misurazioni effettuate ed ha generalmente scopo illustrativo.

- Modello tridimensionale da nuvola di punti

In questo caso il modello tridimensionale deriva generalmente da acquisizioni indirette (LIDAR o fotogrammetriche) e successivamente verranno estratte da esso delle informazioni.

Va sottolineato come il primo passaggio sia la creazione del modello, principalmente da una nuvola di punti, e successivamente grazie ad esso verranno creati, per esempio, elaborati bidimensionali quali sezioni, prospetti, ecc.

Una volta ottenuto un modello tridimensionale, un passo successivo è l'applicazione di una texture, ossia di un'immagine che presenta un motivo con differenze cromatiche ed in alcuni casi di forma. Nell'ambito del rilievo metrico vengono usualmente utilizzati degli scatti fotografici dell'oggetto al fine di restituirne tutti i dettagli riguardanti le variazioni cromatiche ed i motivi presenti.



CAPITOLO 4

CASO STUDIO:

**IL PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO**

4. CASO STUDIO: **IL PARABOLOIDE DI CASALE MONFERRATO**

4.1 L'evoluzione dell'industria locale

La zona del Monferrato Casalese era già nota dal II secolo d.C. per la produzione di calce aerea “forte”, in quanto caratterizzata da una buona presenza di rocce ricche di argilla che se usate per la produzione di calce, ne garantiscono particolare resistenza. L'attività di estrazione e produzione è continuativa nel tempo e va citato il documento “Ufficio della Provvisione della Città di Casale Monferrato e del suo Territorio” (1836) che si attesta come primo tentativo di regolamentazione della produzione e della vendita di materiali da costruzione. Le calce monferrine trovarono varie applicazioni, dalla realizzazione delle fortificazioni napoleoniche alle ferrovie del Regno di Sardegna.¹

Nel 1846/1847 Giuseppe Signorile promosse ricerche finalizzate all'individuazione di nuove cave nella zona del Monferrato per la produzione di calce idraulica, la principale sarà quella di Ozzano.

Data la richiesta sempre maggiore di leganti, per affrontare la concorrenza dei produttori di Grenoble e Bergamo, nel 1870 nasce la S.n.c. “Società di Casale Monferrato per la cottura della calce idraulica” che riunisce i maggiori produttori locali e consente la creazione di un impianto centrale vicino alla ferrovia dotato di tre forni Hoffmann¹, introdotti nella lavorazione da Giuseppe Cerrano, uno dei principali soci.

A Scanzo (Bergamo) nel 1864 si attuarono i primi tentativi volti alla produzione di cemento portland, ad opera della “Società Bergamasca per la fabbricazione del cemento e della calce idraulica”, che sfoceranno poi nell'istituzione della “Società Italiana dei Cementi e delle calce idrauliche” nel 1873, che si occuperà appunto della produzione in larga scala di cemento portland, ma causa degli ingenti costi, fallirà solamente tre anni dopo.

A differenza dell'esperienza bergamasca, a Casale Monferrato, data la ricchezza di marne ideali alla produzione di portland, quest'industria prende particolarmente piede e la città diventa presto famosa per il suo cemento. Dopo varie ricerche, soprattutto svolte da Giuseppe Cerrano (le prime delle quali presso il giardino della sua abitazione dove aveva costruito un piccolo forno) in Italia e a Grenoble, la società monferrina cambiò nome in “Società Anonima Fabbrica Calce e Cementi” ed ampliò la produzione, arrivando a possedere 7 forni Hoffmann e 14 verticali, dislocati tra Casale, San Giorgio Monferrato ed Ozzano.¹

Dal 1876 la produzione di cemento portland divenne costante. Anche la Società Bergamasca acquistò un terreno sito ad Ozzano per realizzarvi una cava.

La Società Anonima subì diversi assestamenti a livello societario e successivamente insediò nuovi stabilimenti a Civitavecchia nel 1896 ed a Venezia nel 1902, iniziando ad utilizzare forni rotanti.

Nel XX secolo l'industria del cemento prese ancor più piede nel casalese grazie a molti imprenditori del settore, tra i quali vanno ricordati Giuseppe Fenoglio, Ottavio Marchino (socio di Giovanni Agnelli) ed i fratelli Antonio e Pietro Buzzi.¹

Nel 1917 la “Società Italiana Cementi di Bergamo” e la “Società Anonima Fabbrica Calce e Cementi” si unirono, dando vita alla “Società Italiana e Società Anonima Fabbriche Riunite Cemento e Calce”, che diverrà poi la Italcementi.

Si passa poi alla produzione di derivati del cemento, come il cemento-amianto, realizzato dalla Eternit, azienda casalese fondata nel 1906 e dalla “Società Cementifera Italiana-Fibronit” fon-

data nel 1929.

Va sottolineata anche la cruciale importanza che ha avuto, a partire dalla fine del XIX secolo, lo sviluppo della rete ferroviaria. Le industrie cementifere del casalese hanno così ottenuto un metodo comodo e veloce per lo spostamento dei materiali da lavorazione e dei prodotti finiti. Nel contempo, anche i vari paesi della zona, nei quali anche si è manifestato il fenomeno di conversione della popolazione da braccianti agricoli ad operai degli stabilimenti cementizi, hanno giovato della situazione, sviluppandosi e creando nuove possibilità. Per i trasporti delle marne e del materiale d'estrazione prelevato nelle vicinanze degli stabilimenti, vennero creati impianti ad hoc inizialmente utilizzando carri e, successivamente, adottando sistemi su rotaia oppure con teleferica.

Col passare degli anni però i giacimenti per la produzione di portland cominciarono ad esaurirsi e vennero previsti costosi sterri. Successivamente vari fattori, tra i quali l'evoluzione tecnologica, la specializzazione e differenziazione dei cementi, l'abbandono dei sistemi tradizionali di produzione l'introduzione di nuove tecnologie segnarono l'inizio di una produzione industriale ancor più su larga scala e industrialmente avanzata.

Se il numero dei cementifici nella zona di Casale Monferrato agli inizi del '900 ammontava a ventidue, oggi le attività rimaste in loco sono solamente quattro. Gran parte la lavorazione cessò intorno agli anni '70, è tuttora in corso nelle zone limitrofe di Morano sul Po, Ozzano e Trino.¹



Figura 1 - Cementificio di Ozzano Monferrato.³

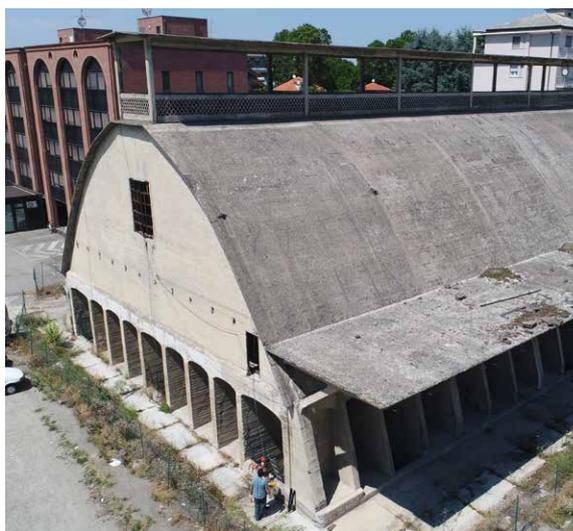


Figura 2 - Il paraboloide di Casale Monferrato.

¹ BRUNO ROSSI, GIAN MARIO ROSSINO, *Appunti di storia dell'industria dei leganti nel Monferrato*, Associazione "Il Cemento", Casale Monferrato, 2010.

² GUARDAMEGNA LAURA, *Casale Monferrato, i cementifici*, collana: Beni culturali in provincia di Alessandria, Edizioni dell'Orso, Alessandria, 1988.

³ <http://mapio.net/pic/p-62387039/>

4.2 Italcementi, la Società che ha modellato Casale Monferrato

La società Italcementi si può affermare che derivi dalla Ditta Fratelli Pesenti di Alzano Maggiore, che nel 1906 ha effettuato una fusione con la Società Italiana Cementi con sede a Bergamo (fondata nel 1864) e successivamente, nel 1917 con la Società Anonima di Casale Monferrato. Prendeva allora il nome di Società Italiana e Società Anonima Fabbriche Riunite Cemento e Calce, con sede amministrativa presso la città di Milano. Verrà poi chiamata Italcementi.¹

Nel periodo precedente a queste fusioni, il mercato del cemento e delle calce italiano era diviso tra le sopracitate Società Anonima di Casale e Società Italiana. Ciò ha permesso alla famiglia Pesenti di sviluppare al meglio l'impresa di famiglia ed ottenere infine la poltrona di Presidente della Società Italiana e Società Anonima Fabbriche Riunite Cemento e Calce con Cesare Parenti, dall'anno della fondazione. Altro fattore cruciale del successo e della rapida crescita è stata la perseveranza nella costante ricerca di nuovi materiali, tecniche produttive e tecnologie da applicare.²

Dal 1917 in poi, la Società effettuò numerosi investimenti in macchinari ed infrastrutture anche nella zona di Casale Monferrato.

Venne infatti eretto il paraboloido oggetto di questa tesi, che costituiva un deposito di clinker e venne implementato con l'inserimento di un forno rotante lo stabilimento ex Robatti.

Con il passare degli anni, per le cause descritte in precedenza, gli stabilimenti casalesi vennero gradualmente abbandonati. Un nuovo stabilimento nacque a Borgo San Dalmazzo mentre quelli dismessi rimasero abbandonati per poi lungo tempo. Alcuni lo sono tutt'ora, come Casale Monferrato.²

Nel 1925 la Società viene quotata in Borsa ed è composta da 33 stabilimenti di produzione, che la rendono un colosso di livello internazionale. In Italia occupa il 44% del mercato del cemento.¹

Il 1946, quando a guidare la Società è Carlo Pesenti, la Italcementi viene suddivisa in tre parti: Società Calci Idrate d'Italia, Italmobiliare e Sacelit. Ulteriori scorpori, cessioni e nuovi accordi avvennero negli anni '80, per la politica gestionale applicata dal presidente Giampiero Pesenti. Negli anni '90 invece la Compagnia decide di spingersi all'estero, con l'acquisizione della società francese Ciments Français nel 1996. Le possibilità finanziarie crescono in modo esponenziale, ma la parte italiana partecipa ai ricavi per circa un quinto del fatturato totale.

I dipendenti toccano quota 20.000 dislocati in 13 paesi diversi.

Negli anni 2000 il mercato internazionale viene allargato in India, Egitto, Bulgaria, Thailandia, Kazakistan e Cina.

Nel 2016 la Italmobiliare, che rappresenta la parte dominante e decisionale della Compagnia, viene acquistata dalla Heidelberg Cements, che possiede ora il controllo dell'intera Italcementi.¹

4.2.1 Impatti economici indiretti

Data l'ascesa della Società, è stato indispensabile fin da subito garantirsi un buon approvvigionamento di energia e materie prime per le fasi di lavorazione.

Per quanto riguarda l'*energia elettrica*, sin dai primi anni l'Italcementi si è basata soprattutto sulle centrali idroelettriche, anche perchè i loro costi sono relativamente contenuti.

¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Italcementi#cite_ref-amministrazione_1-0

² <http://www.italcementi.it/it>

Con l'espansione sul territorio e l'apertura di sempre più numerosi impianti, si è creata, nel 2001, la società Italgem, specializzata in produzione di energia elettrica e che annovera 14 centrali idroelettriche ed un impianto fotovoltaico principale in Italia, più altre sedi di produzione all'estero¹.

4.3 Risvolti sociali, economici e storici

Il rapido sviluppo dell'innovativa industria dei leganti portò nuovi investitori nella zona, che divenne una delle prime in Italia a sviluppare una cultura ed un assetto industriale così caratterizzante. Questo sviluppo industriale creò ovviamente molti nuovi posti di lavoro e la popolazione monferrina ne giovò, crescendo di numero ed attirando lavoratori anche da altre aree. Ovviamente si trattava di lavori pesanti, nelle cave e nelle fornaci, per la cottura, la macinazione ed il trasferimento della calce e del cemento prodotti. Nasce la figura del cavatore, storica nel territorio locale per perseveranza, duro lavoro e sacrificio. In gran parte questi lavori venivano svolti da contadini che abbandonavano la coltivazione del terreno per dedicarsi a questa nuova attività che si stava rapidamente sviluppando.²

Questa espansione portò ovviamente anche conseguenze negative, come a Coniolo, dove l'attività estrattiva fu effettuata in maniera incontrollata, causando inizialmente uno sviluppo ma poi un repentino abbandono del centro abitato che subì un progressivo ed importante calo demografico e produttivo.³

Generalmente il territorio interessato da queste attività ha subito comunque uno sfruttamento intenso e ne ha risentito presentando oggi aree più o meno vaste che necessitano di una risistemazione e di un nuovo impiego.²



Figura 3 - Stabilimento Italcementi di Rezzato (BS).⁴

¹ https://it.wikipedia.org/wiki/Italcementi#cite_ref-amministrazione_1-0

² BRUNO ROSSI, GIAN MARIO ROSSINO, *Appunti di storia dell'industria dei leganti nel Monferrato*, Associazione "Il Cemento", Casale Monferrato, 2010.

³ ANDREA FERRAROTTI, *Dalla Pangea al Monferrato*, (<http://www.monferratopaesaggi.org>).

⁴ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Veduta_fabbrica_Italcementi_Rezzato_20090724.jpg

4.4 Le potenzialità al giorno d'oggi

4.4.1 Gli edifici industriali oggi

Oggi la presenza di edifici e complessi edilizi legati alla produzione di cemento nel territorio di Casale Monferrato è consistente, si tratta di complessi anche di notevoli dimensioni che giacciono in un perenne stato di abbandono. Questo problema non è però localizzato solo nella zona analizzata, ma è diffuso su tutto il territorio nazionale e altre situazioni analoghe come la teleferica di Trieste e lo stabilimento di Scala di Giocca (in Sardegna) appartenevano alla stessa Italcementi.^{1 2}

Molti di questi edifici e complessi corrono costantemente il rischio di essere demoliti perché visti come involucri vuoti ed inespressivi, di un'epoca passata ed in stato di degrado. Osservandoli si può capire l'evoluzione delle tecniche industriali di produzione del cemento, delle tecniche di trasporto dei materiali e della finezza compositiva che sta dietro ad alcune opere. I pionieri delle costruzioni in cemento armato hanno avuto modo di sperimentare il nuovo materiale, ne è un esempio il caso studio qui trattato: il paraboloide di Casale Monferrato, che con la sua presenza nel contesto urbano cittadino si impone ricordando i tempi ormai passati del grande impegno industriale ma che si proietta anche ad essere un elemento chiave della città, con un adeguato piano di restauro e valorizzazione.

4.4.2 Verso una nuova valorizzazione

Proprio per combattere questa errata visione nella zona del Monferrato, il 22 aprile 2006 è stata fondata l'associazione "Il cemento nell'identità del Monferrato casalese", che come fine ha il salvaguardare, riscoprire e conoscere il patrimonio industriale abbandonato legato all'industria del cemento nella zona, ma anche creare situazioni di collaborazione ed interazione tra cittadini, aziende, università e comuni sull'argomento in questione.

Il patrimonio industriale casalese legato all'industria del cemento si presenta sotto differenti forme: strutture in cemento armato (come il paraboloide di Casale), fornaci, manufatti in cemento creati da stampi di grande pregio, vigneti o campi coltivati posizionati su ex cave di marna, testimonianze scritte e cartografie¹.

4.4.3 Obiettivi per una tutela consapevole

L'obiettivo, al giorno d'oggi, deve essere quello di valorizzare questi manufatti, perché testimoniano la storia di un luogo e della sua gente, sono legati ad un passato che ha plasmato la situazione attuale, nel bene e nel male e che hanno la possibilità di partecipare attivamente alla vita della città nel futuro se adeguatamente trattati.

Come vuole essere un esempio questa tesi, la prima operazione è quella di effettuare una mappatura dei siti abbandonati e prevederne uno studio, con varie tecniche, ma al fine di produrre una documentazione sufficiente a testimoniare ogni aspetto con lo scopo di incentrarci successivamente un progetto ragionato di recupero.

Molti di essi, essendo stati concepiti come grandi involucri per racchiudere macchinari ed effettuare operazioni industriali, possiedono una geometria molto ampia, con grandi spazi che bene si prestano a diventare luoghi di pubblica utilità come piazze coperte, musei o biblioteche.

¹ <https://triesteabbandonata.wordpress.com>

² <https://www.sardegnaabbandonata.it/cementificio-di-scala-di-gioca/>

³ <http://www.ilcemento.it/>

La realizzazione di musei che trattino proprio i temi sopra esposti è sicuramente un buono spunto e su questi temi sono state sviluppate molteplici tesi di laurea presso il Politecnico di Torino.¹ Questi ambienti possono creare particolari suggestioni e testimoniare direttamente come si vivano gli ambienti di lavoro nei tempi passati.

4.5 Il paraboloide di Casale Monferrato

Come si è visto, la zona di Casale Monferrato ha visto nascere molte costruzioni legate alla produzione del cemento, tra di esse è presente l'oggetto di questa tesi: il paraboloide di Casale Monferrato. È situato in Via Visconti, nella zona sud della città, e nelle sue immediate vicinanze è presente il Parco della Cittadella. Ad ovest e nord è circondato da edifici residenziali ed il centro cittadino è ad una distanza inferiore di un chilometro.

Descrivendone l'ubicazione, si notano immediatamente le peculiarità e soprattutto le potenzialità che possiede.

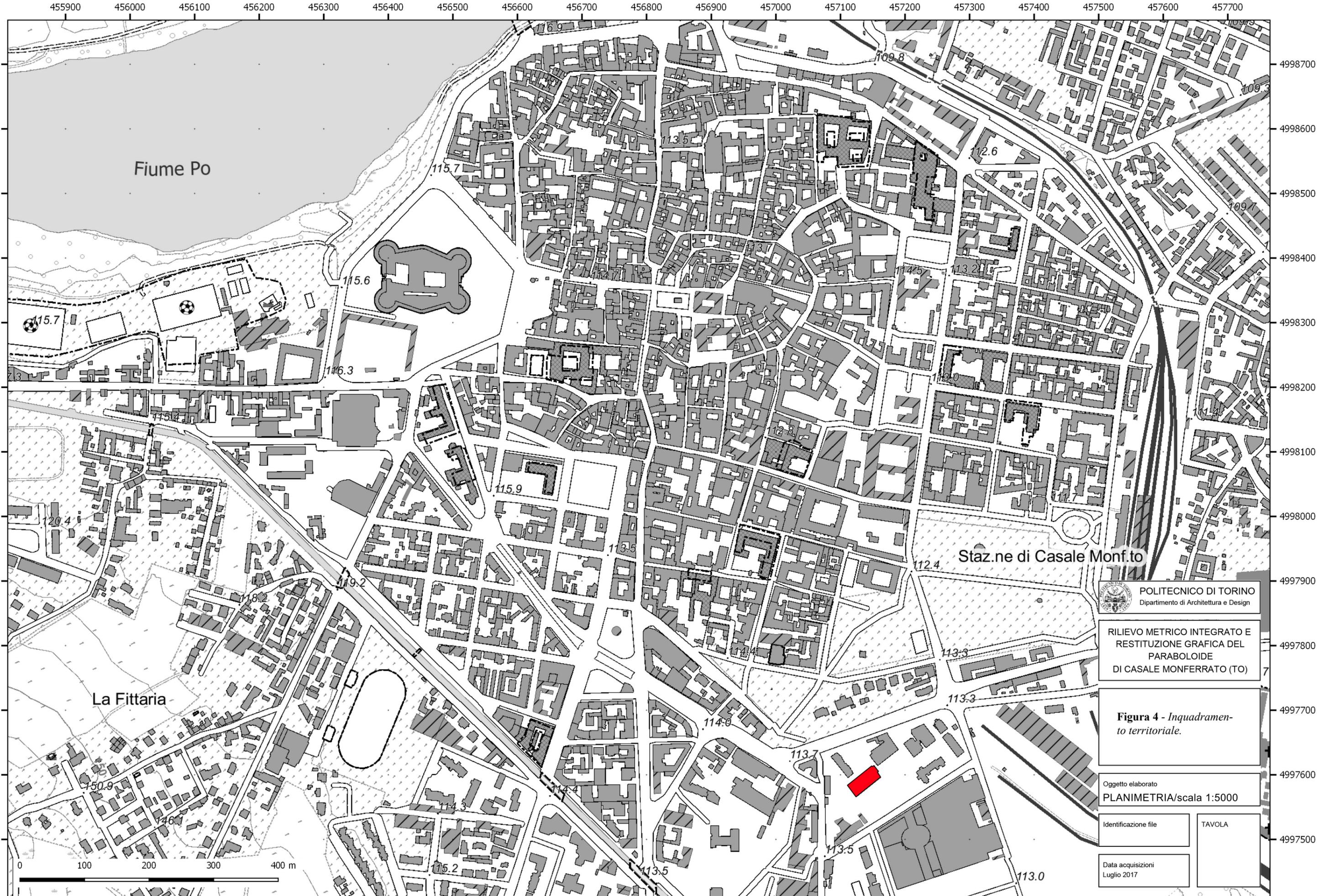
La zona oggi è infatti densamente urbanizzata, circondato da edifici residenziali e di servizio, con facile accesso grazie a due strade limitrofe e confinante con un ampio piazzale utilizzato in parte come parcheggio ed in parte invece senza una destinazione precisa (figure 4 e 5).

La struttura del paraboloide riflette pienamente le capacità del cemento armato e soprattutto per l'epoca nella quale è stato costruito, è servita anche per dimostrare le possibilità offerte dal nuovo materiale. Si potevano raggiungere dimensioni fino ad allora impossibili impiegando pietra o altri materiali più pesanti, sia per quanto riguarda luci libere che per snellezza, con volte molto sottili.¹ Fu così che nacquero le architetture industriali di particolare pregio, che portavano l'edificio di produzione da una struttura solitamente semplice e senza decori, ad opera architettonica particolare e riconoscibile, con particolarità che subito saltano all'occhio.

Inizialmente il faceva parte di un complesso composto da altri due grandi palazzi per uffici ed un basso fabbricato con camini. Il complesso fu edificato negli anni '30 per la ditta Italcementi di Bergamo ed occupava un'area di 6500 metri quadrati. Il progetto fu affidato all'ingegnere Luigi Radici, che faceva parte dell'allora consiglio d'amministrazione della società Italcementi. Venne scelta questa particolare tipologia di edificio in quanto, anche se necessitava di un maggiore investimento nella fase di costruzione, era ottimale sia perchè il deposito del clinker, su una struttura con pareti esterne verticali, avrebbe esercitato una troppo forte pressione (aggravata dall'aumento di volume dovuto all'assorbimento di umidità del materiale stesso), e sia a fini "pubblicitari"², ossia per dimostrare le potenzialità del cemento. La struttura rimase operativa fino al 1948. Negli anni '50 svolse temporaneamente la funzione di deposito di legname e probabilmente vennero inserite le travi ed i pilastri che si possono vedere nel centro del piano terreno. Il paraboloide infine, dopo una lunga fase di abbandono, è stato acquistato dal Comune di Casale Monferrato nel 2006.²

¹ MANUEL RAMELLO, *La riconversione del patrimonio industriale, il caso del territorio casalese nella prospettiva italiana ed europea*, Alinea Editrice, 2013, pagine 188 - 208 primo, pagine 148-157 e 166-169 secondo.

² BRUNO ROSSI, GIAN MARIO ROSSINO, *Appunti di storia dell'industria dei leganti nel Monferrato*, Associazione "Il Cemento", Casale Monferrato, 2010.



 **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Architettura e Design

**RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)**

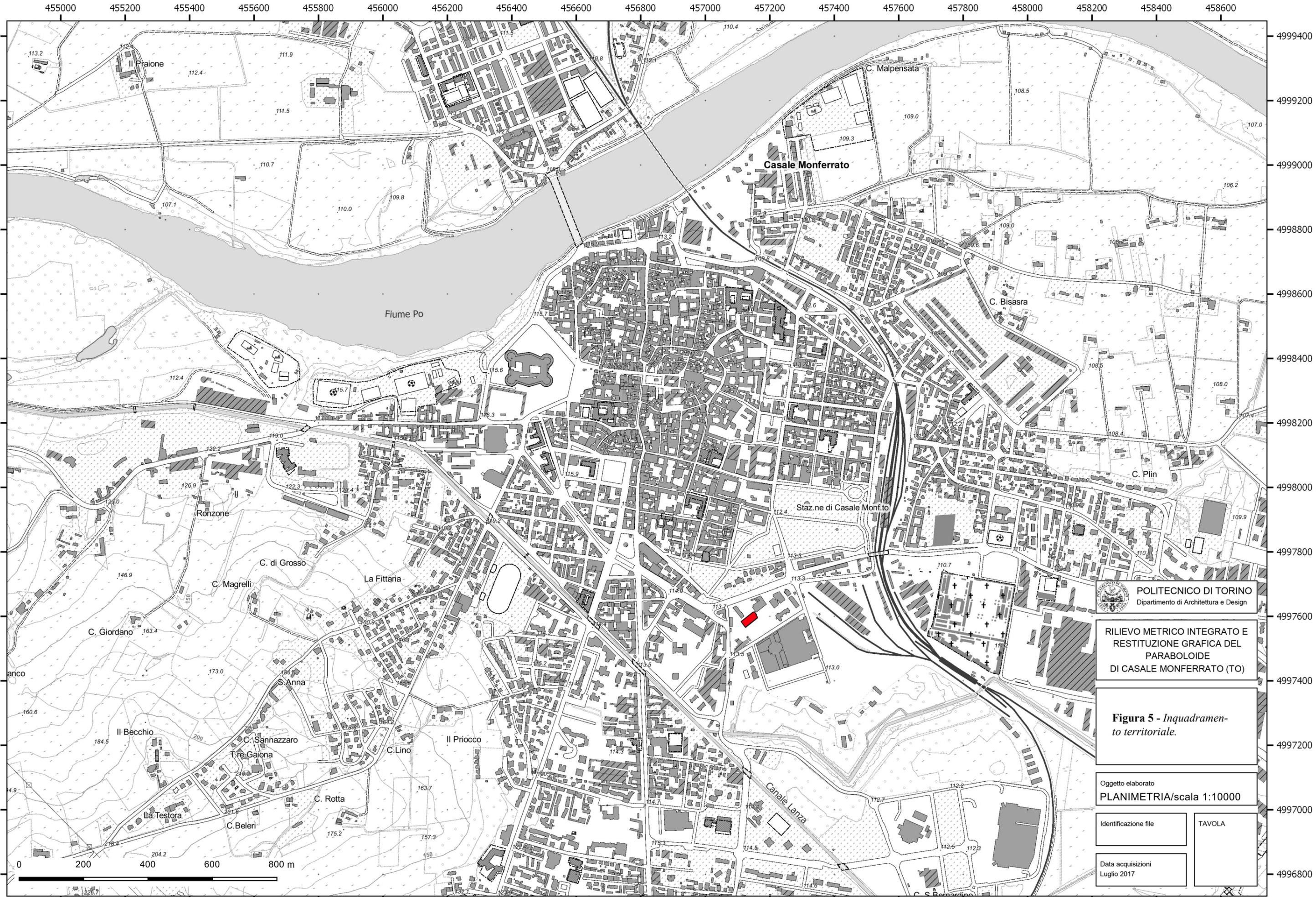
**Figura 4 - Inquadramento
territoriale.**

Oggetto elaborato
PLANIMETRIA/scala 1:5000

Identificazione file

TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017



 **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Architettura e Design

**RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)**

**Figura 5 - Inquadramento
territoriale.**

Oggetto elaborato
PLANIMETRIA/scala 1:10000

Identificazione file

TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017

Il profilo delle strutture paraboliche è geometricamente derivato dalla traslazione di una parabola lungo la generatrice della volta.

Il paraboloido presenta una pianta rettangolare di 48 per 20 metri, una superficie quindi di 960 metri quadrati, un'altezza 12,60 metri comprendente la passerella aperta posta alla sommità che ha un'altezza di 3,50 metri. In questa zona sono presenti sette aperture provviste di una grata che un tempo venivano utilizzate per il deposito del clinker, come si vedrà più avanti (figure 10, 11, 12). La struttura della copertura è invece composta da una serie di travetti longitudinali, paralleli al suolo, che sorreggono una volta di spessore 8 centimetri, dimensione certa dopo il rilievo del 2012⁴ (figure 13 e 14).

Gli archi parabolici principali sono otto, con sezione rettangolare, e che presentano alla congiunzione con la soletta del piano terreno un aumento di sezione, in quella posizione per aggiungere resistenza. All'interno è presente una serie di travi/tiranti in cemento armato che percorrono l'intera luce trasversale. Questi elementi (travi e pilastri), data l'evidente differenza di tipologia costruttiva, si può ipotizzare che siano stati aggiunti in un secondo momento, per garantire una maggiore stabilità strutturale. Questa tesi è inoltre avvalorata dal fatto che per le lavorazioni qui presenti originariamente era necessario avere un grande volume vuoto e senza ostacoli e che il paraboloido negli anni '50 era stato temporaneamente utilizzato come deposito di legname^{1 2}. Tra i pilastri che corrispondono agli archi parabolici ne sono presenti degli altri con sezione minore. Tutti questi elementi, come si può notare, creano un certo ritmo e garantiscono stabilità e rigidità della struttura nel suo complesso (figura 13).

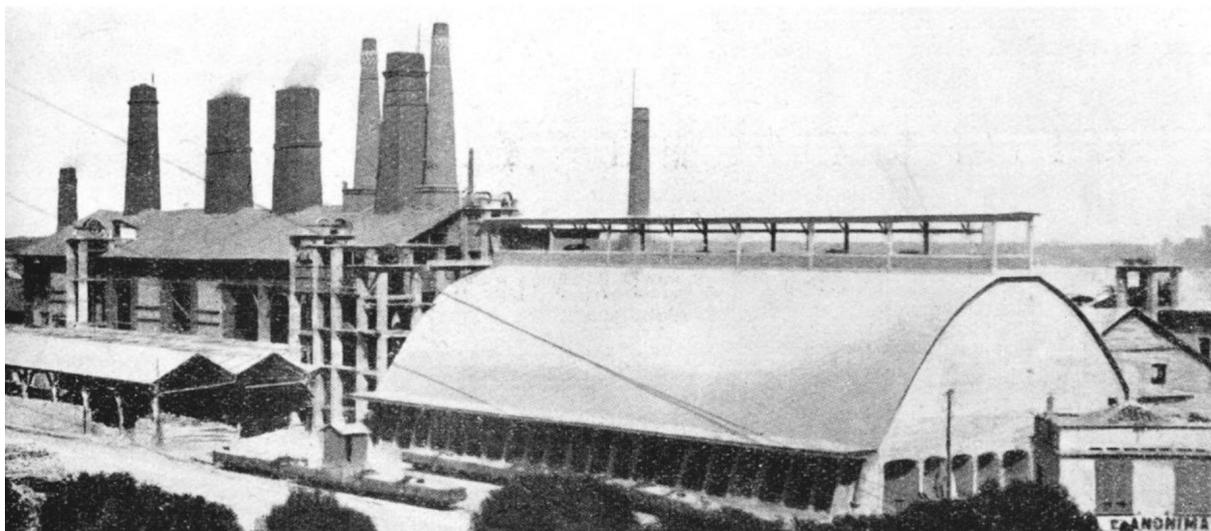


Figura 6 - Immagine d'epoca di Piazza d'Armi.³

¹ GABRIELLA VIGETTI, *Tesi del Corso di laurea specialistica in Architettura (restauro e valorizzazione), Metodi e strumenti per la rifunzionalizzazione del patrimonio industriale: il caso Casale*, Relatori CLARA BERTOLINI, MANUEL FERNANDO RAMELLO, Politecnico di Torino, 2007, pagine 112 - 114.

² ANDREA DE FRANCESCO, *Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Modellazione agli elementi finiti per la verifica ed il recupero del paraboloido di Casale Monferrato*, Relatore Prof. STEFANO INVERNIZZI, Politecnico di Torino, Marzo 2016, ² pagine 37 - 62, ³ pagina 68.

³ Pensabene Cimino P., *Cenni storici sul cemento casalese*, Società Tipografica, Casale Monferrato, 1937.

⁴ Bertolini C., Chiabrando F., Spanò A.T., *La geomatica per il progetto di recupero e calorizzazione del paraboloido di Casale*, in MANUEL RAMELLO, *La riconversione del patrimonio industriale, il caso del territorio casalese nella prospettiva italiana ed europea*, Alinea Editrice, 2013, pagine 148-157.

Alla base delle travature sono presenti delle bocche di lupo, dodici in totale, di forma tronco piramidale rovesciata, che mettono in comunicazione il piano terreno con l'interrato.

Nel piano interrato sono presenti gallerie per la circolazione dei carrelli e degli operai. Presentano una volta ad arco acuto e negli incroci vengono a crearsi delle volte a crociera. I corridoi in totale sono sette trasversali e tre longitudinali (figure 19, 20). Oggi sono presenti dei tramezzi in blocchi e laterizi che interrompono la galleria longitudinale centrale. La galleria longitudinale nord inoltre dava la possibilità di scaricare materiali diversi, per esempio il gesso utilizzato per la produzione del cemento 500 o della calce idraulica, mediante un accesso posteriore situato vicino al montacarichi principale.² All'esterno sono presenti due tettoie, una sul lato sud, più alta e sorretta da travetti diagonali, ed una su quello nord (figure 11, 18). Oggi l'accesso al piano interrato non è possibile se non con l'utilizzo di scale telescopiche.

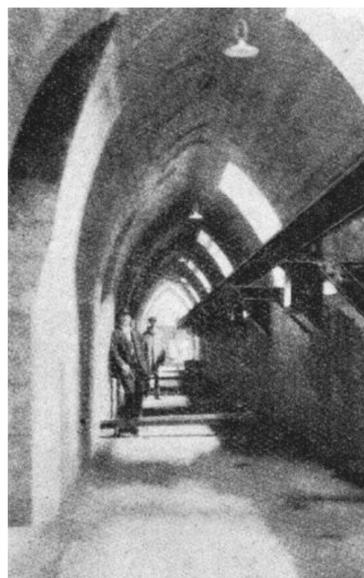


Figura 7 - *Fotografia d'epoca (1926) che mostra il corridoio denominato poi A-B nella seguente tesi.¹ È possibile notare, sulla sinistra, un binario sospeso di trasporto materiale, oggi non più presente.*

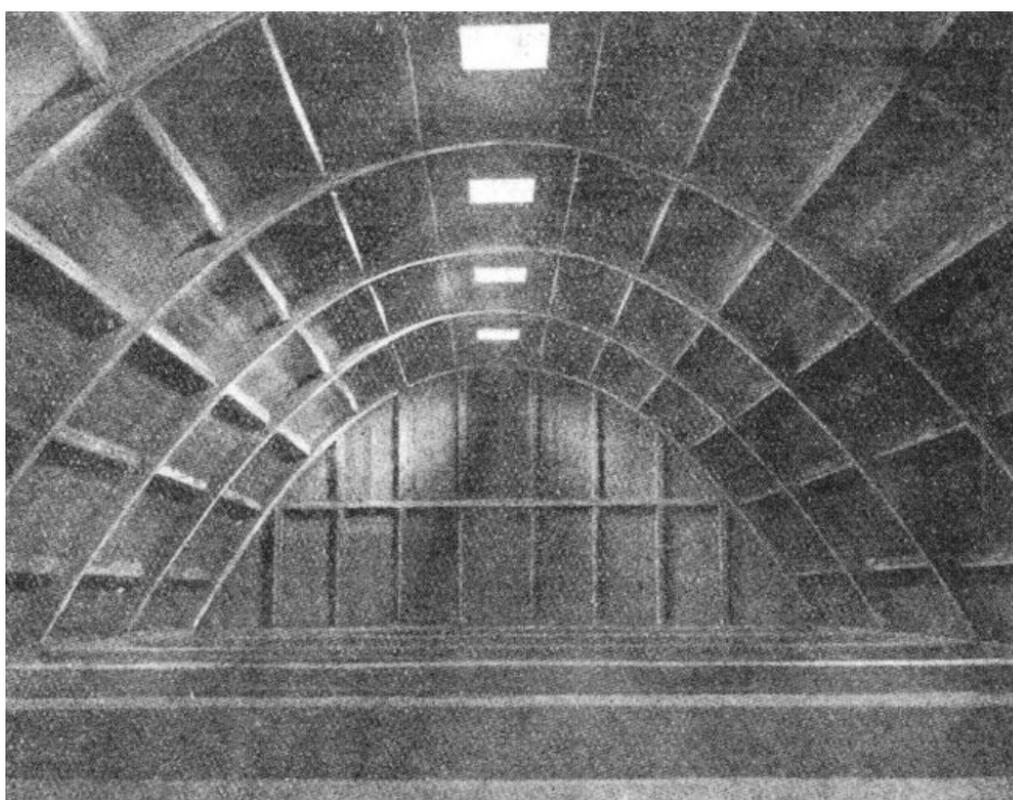


Figura 8 - *Vista interna d'epoca, sono già presenti le strutture travi-pilaastro del piano terreno (1926).¹*

¹ LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926

² CLARA BERTOLINI, in A&RT, *Marne, cave, cementifici del Monferrato casalese, Atti e rassegna tecnica*, Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, aprile 2011.

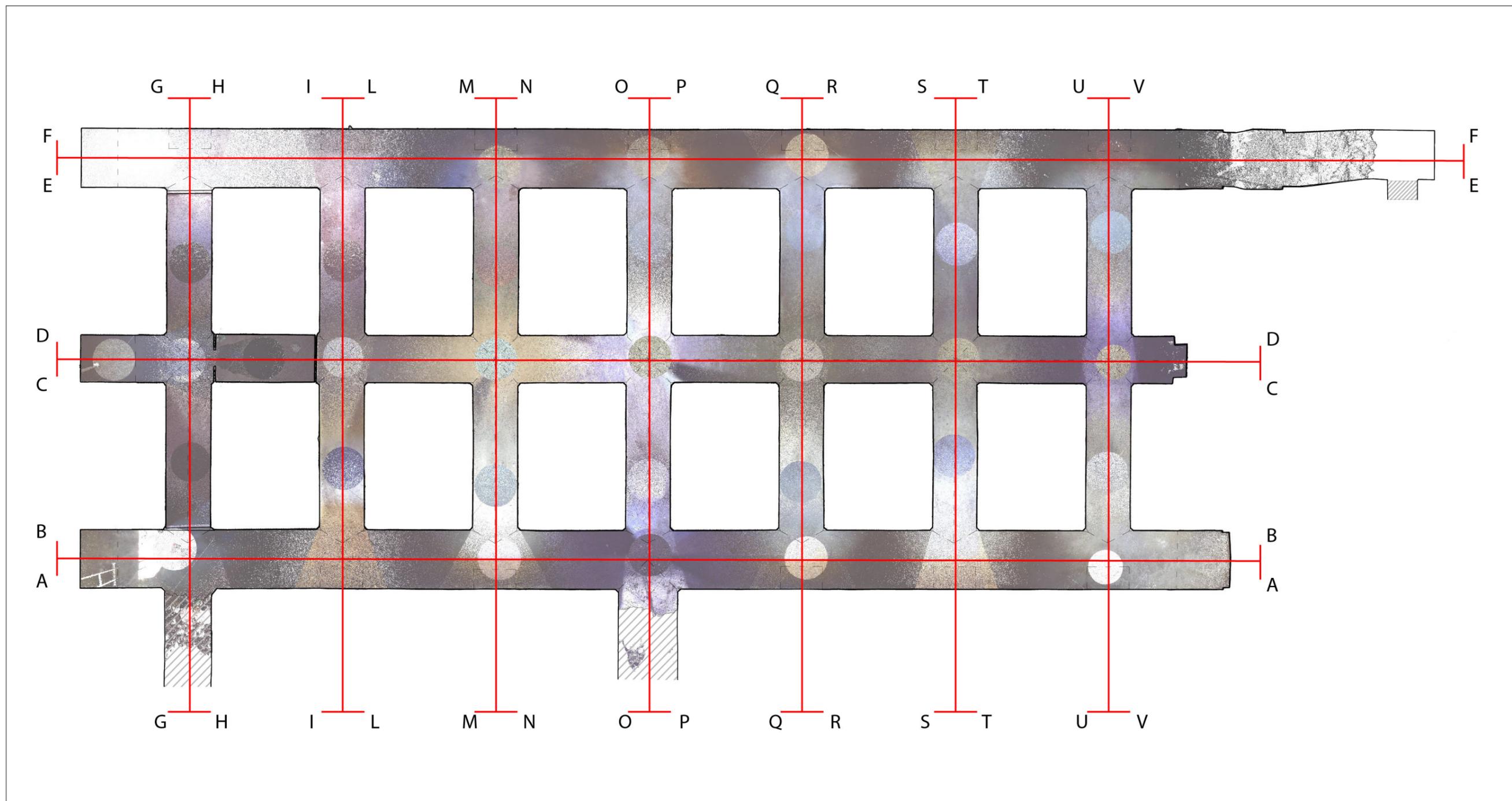


Figura 9 - Key plan raffigurante i nomi assegnati alle sezioni del piano interrato.



Figura 10 - *Veduta del paraboloide dall'alto.*



Figura 11 - *Veduta del paraboloide.*



Figura 12 - *Prospetto sud del paraboloide.*



Figura 13 - *Interno del paraboloide, visibili le strutture trave-pilastro aggiunte in un secondo momento.*



Figura 14 - *Particolare di una porzione della volta.*

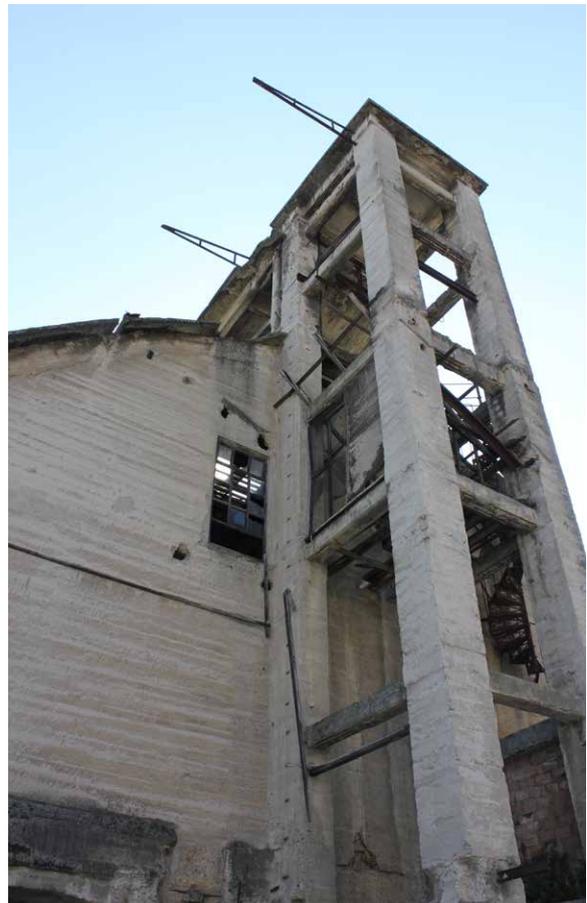


Figura 15 - *Torre di carico esterna.*



Figura 16 - *Prospetto est.*



Figura 17 - *Prospetto ovest.*



Figura 18 - *Prospetto nord.*

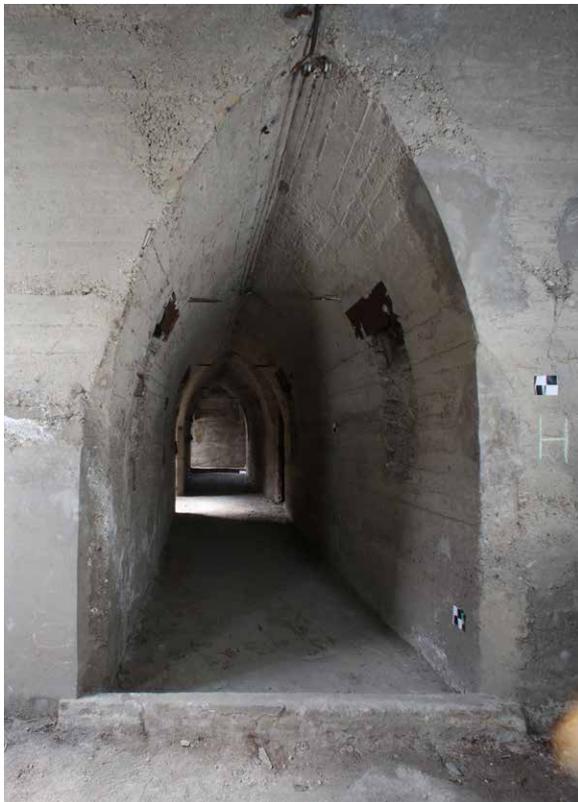


Figura 19 - *Corridoio del piano interrato.*

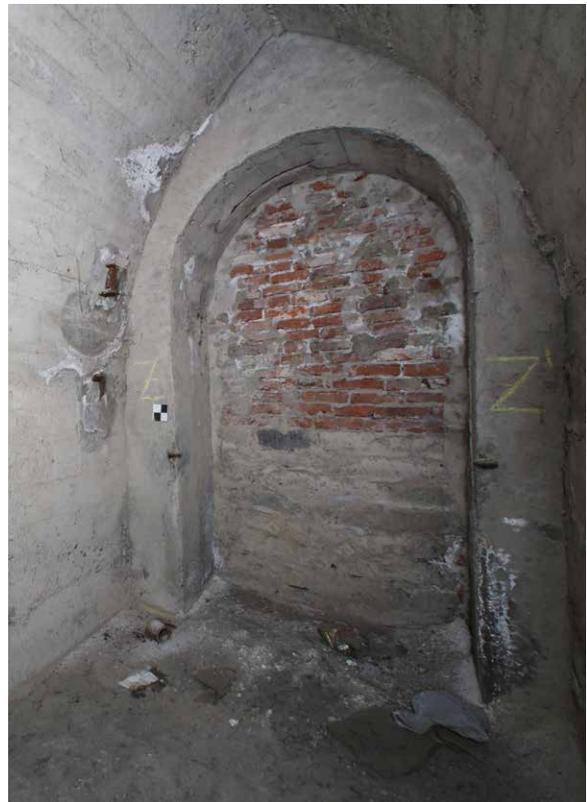


Figura 20 - *Porta murata nel piano interrato.*

4.5.1 Caratteristiche e funzionamento del deposito di clinker

Il clinker veniva scaricato alla base della torre di elevazione, veniva qui caricato su dei carrelli che scorrevano all'interno delle torre e raggiungeva la sommità della struttura, al livello della passerella. I carrelli effettuavano un movimento a scosse, per vagliare da subito le particelle più grandi di materiale che erano usate per la produzione di mattoni da riutilizzare nello stesso forno come rivestimento interno.¹

I carrelli scaricavano poi il materiale in una delle sette aperture presenti nel pavimento della passerella ed il clinker ricadeva in caduta libera nelle tramogge sottostanti.¹ Queste erano di calcestruzzo e l'inclinazione alla base dei pilastri esterni ancora presenti ne seguiva la forma (oggi le tramogge non esistono più, sono state riempite con materiale di dubbia provenienza e cemento, per ottenere la pavimentazione che si può oggi osservare).

Alla base di ogni tramoggia, che coincideva con la linea di colmo dei corridoi del piano interrato, era presente una saracinesca, denominata "bocca di leone" che, aprendosi e chiudendosi, dava la possibilità agli operai di vagliare il clinker.

Una linea a parte, era costituita dai carrelli del corridoio più a nord, qui denominati E-F, che avevano una zona di carico dedicata e servivano a trasportare altri tipi di materiale, per esempio il gesso, che dovevano essere uniti come additivi nella preparazione di determinate miscele.

Una volta miscelato, il materiale viaggiava su di una rotaia installata su un lato dei corridoi interrati e raggiungeva un elevatore a tazze, che lo trasportava nel rispettivo silos di stoccaggio in attesa della macinazione. L'ultimo passo era poi l'insacchettamento, effettuato parzialmente in modo manuale^{1 2}.

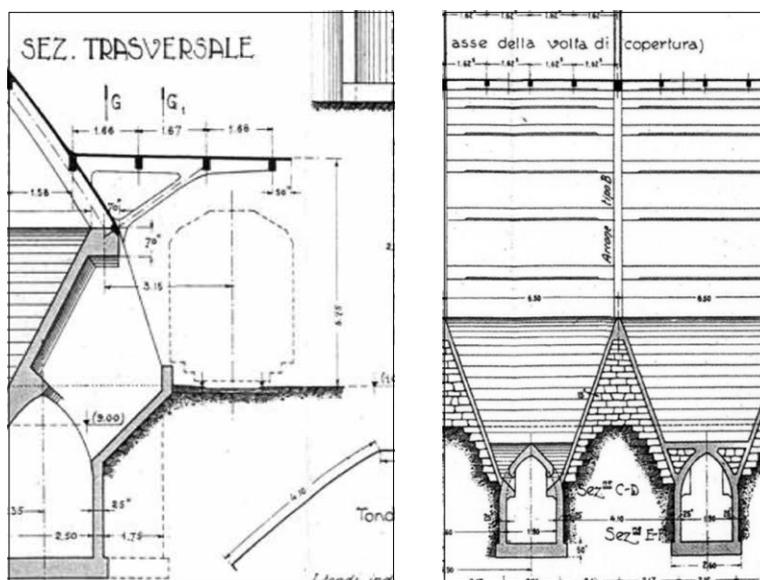


Figura 21 - A sinistra, stazione della ferrovia presente in origine per lo scarico materiale. A destra, tramogge per lo stoccaggio del clinker ora colmate di materiale.³

¹ GABRIELLA VIGETTI, *Tesi del Corso di laurea specialistica in Architettura (restauro e valorizzazione), Metodi e strumenti per la rifunzionalizzazione del patrimonio industriale: il caso Casale*, Relatori CLARA BERTOLINI, MANUEL FERNANDO RAMELLO, Politecnico di Torino, 2007, pagine 112 - 114.

² ANDREA DE FRANCESCO, *Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Modellazione agli elementi finiti per la verifica ed il recupero del paraboloide di Casale Monferrato*, Relatore ³ Prof. STEFANO INVERNIZZI, Politecnico di Torino, Marzo 2016, pagine 37 - 62.

³ LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926

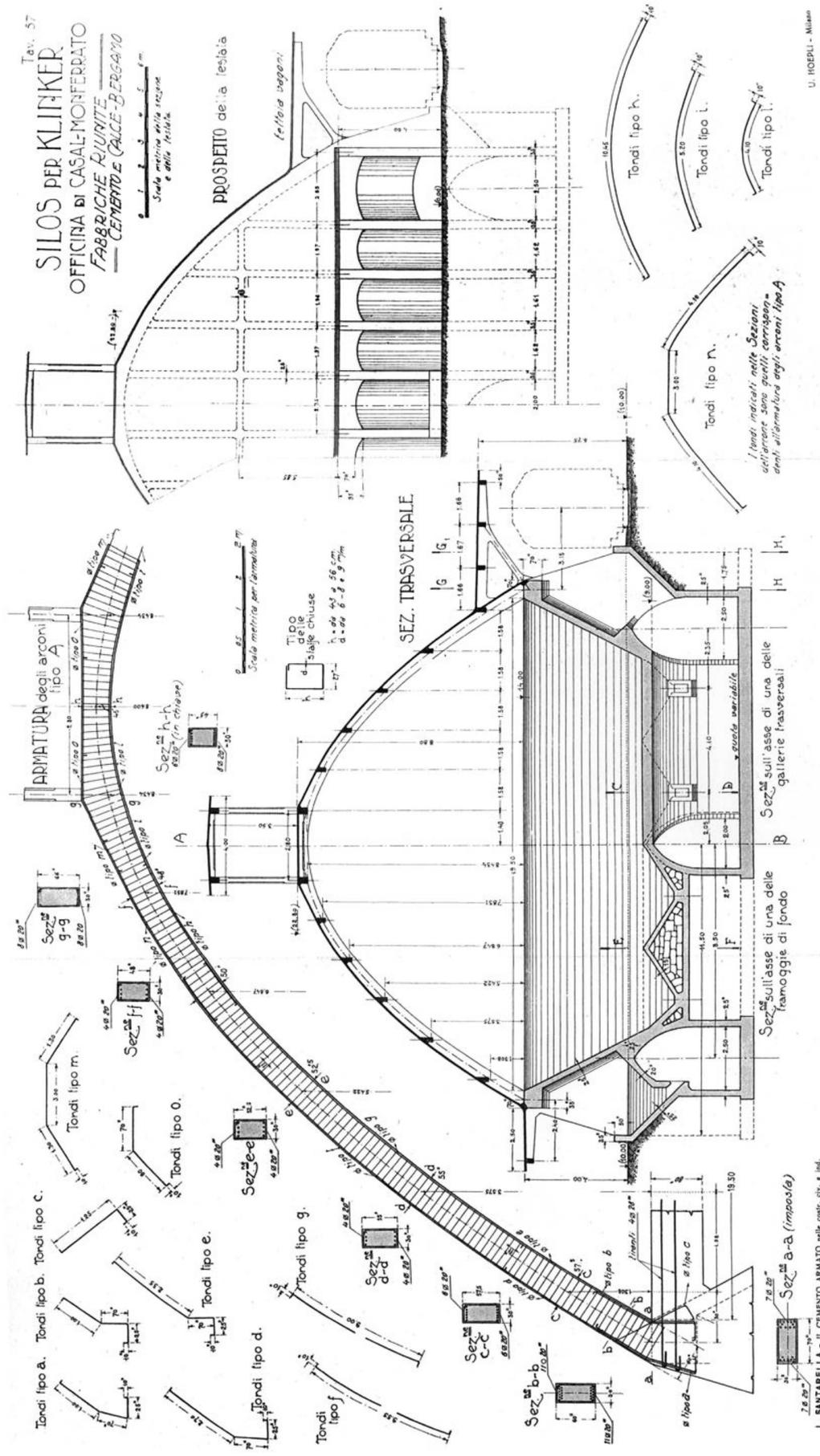


Figura 22 - Disegno rappresentante sezioni del paraboloido. Notare le tramogge.¹

¹ LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926

SILOS PER KLINKER
 OFFICINA DI CASAL-MORFERRATO
 FABBRICHE RIUNITE
 — CEMENTO E (ALCE-BERGAMO)

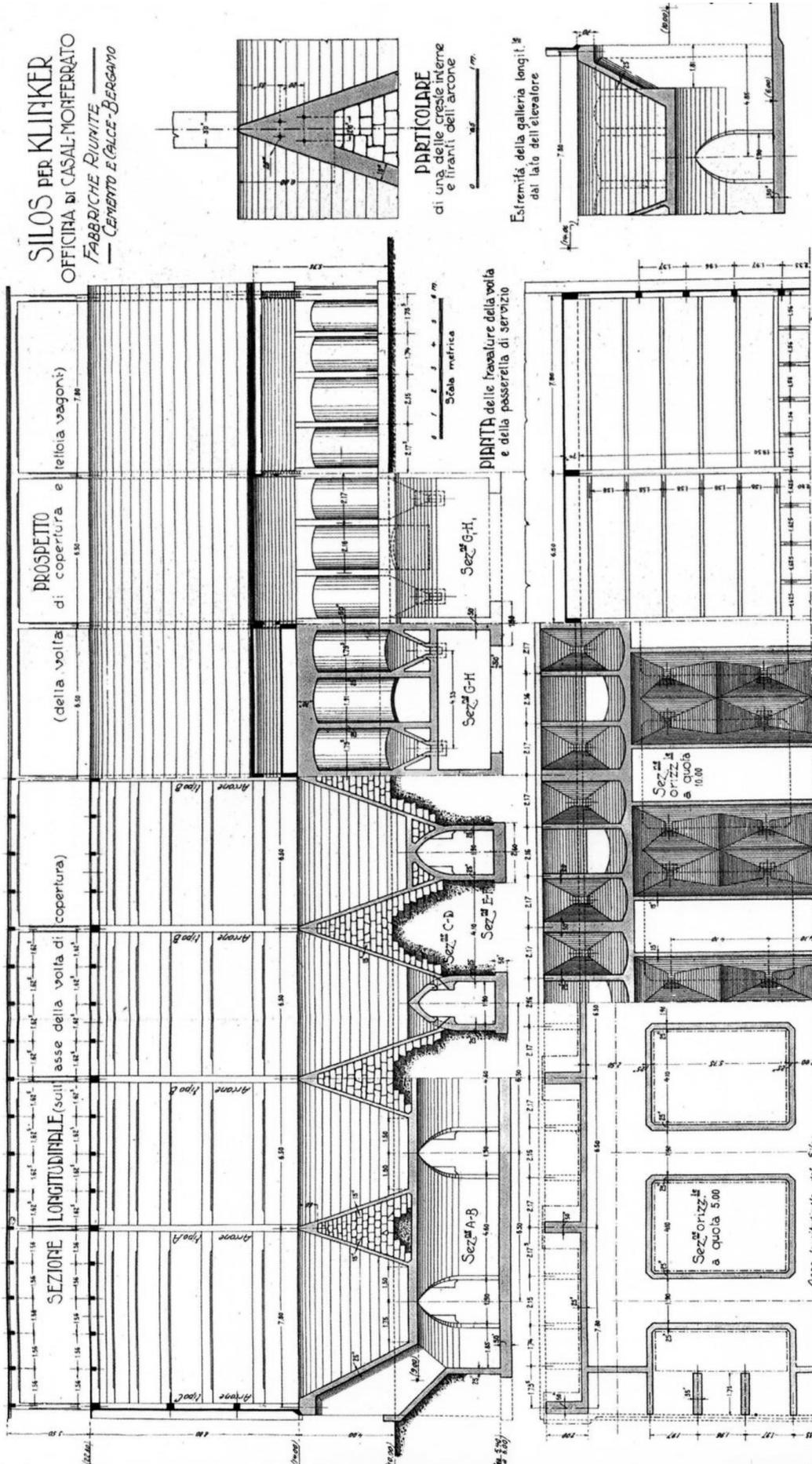


Figura 23 - Disegno rappresentante sezioni del paraboloide. Notare le tramogge.¹

¹ LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926

4.6 Costruzioni simili

Gli edifici con copertura parabolica normalmente erano utilizzati come magazzini o depositi grazie alle dimensioni che possono raggiungere. In Italia, tra il 1920 ed il 1970 ne sono stati realizzati 91.

Oggi tra i pochi paraboloidi recuperati e rifunzionalizzati meritano sicuramente una menzione i due di Cerea (oggi centro congressi), quelli di Assisi (ex Montecatini, oggi sedi di un teatro, spazi culturali ed espositivi) e quello di Prato (ex Cimatoria Campolimi, oggi biblioteca civica). Da citare anche il paraboloide “Embarcadero” sito in Cáceres (Spagna).



Figura 24 - Esterno dei uno dei due paraboloidi recuperati di Cerea (VR), Arch. Stefano Perlin.¹

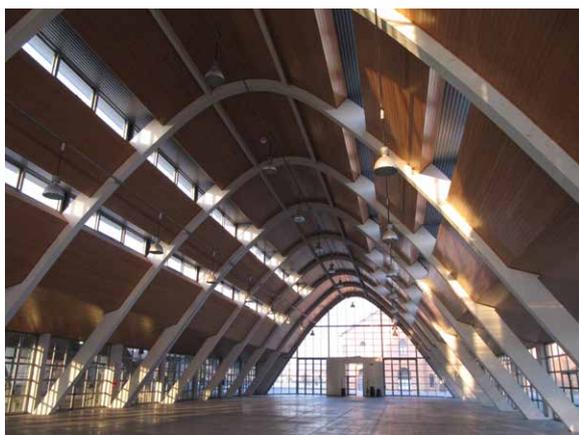


Figura 25 - Interno dei uno dei due paraboloidi recuperati di Cerea (VR), Arch. Stefano Perlin.²



Figura 26 - Paraboloide di Assisi, 2009, Ing. Sergio Marconi e Giacomo Ferroni.³

¹ <http://areaexp.it/espositori/>

² <http://www.gocciabluneto.it/2012/la-location-dellevento/>

³ https://archeologiaindustriale.net/3006_paraboloidi-un-patrimonio-dimenticato-dellarchitettura-moderna/paraboloidi-un-patrimonio-dimenticato-dellarchitettura-moderna-06/



Figura 27 - *Recupero del paraboloide di Prato, 2009, Arch. Marco Mattei.*¹



Figura 28 - *Recupero del paraboloide di Prato, 2009, Arch. Marco Mattei.*¹



Figura 29 - *Paraboloide di Cáceres prima dell'intervento di restauro. Costruito nel 1957.*²



Figura 30 - *Paraboloide di Cáceres, 2006-2007, Arch. Nieto F. e Sobejano E.*²



Figura 31 - *Paraboloide di Cáceres, 2006-2007, Arch. Nieto F. e Sobejano E.*²

¹ <http://www.archeologiaindustriale.org/cms/telfer-magazzino-calcicocianamide-eccovi-servito-casus-demolitionis-complementare/>

² <http://palacin2006.blogspot.it/2011/04/edificio-embarcadero.html>

A photograph of a vaulted stone ceiling, likely from an ancient or historical building. The ceiling is composed of large, rectangular stone blocks arranged in a grid pattern. A small, square window with vertical bars is set into the ceiling, allowing light to filter through. The overall tone is muted and historical.

CAPITOLO 5

APPLICAZIONE DELLE TECNICHE E RESTITUZIONE

5. APPLICAZIONE DELLE TECNICHE E RESTITUZIONE

5.1 Rilievo topografico

5.1.1 Metodologia di acquisizione

Definizione della rete d'inquadramento

Per la definizione di una rete di inquadramento ottimale, che garantisca una corretta integrazione delle misurazioni ad un unico sistema di riferimento e che possa anche fungere da appoggio per l'attuazione delle successive fasi di rilievo LIDAR e fotogrammetrico, si è iniziato prendendo in considerazione i punti materializzati all'esterno nel piazzale che sono stati rilevati nel 2012 (punti A, B, C e D). È stato possibile individuarli grazie alle monografie che erano state compilate durante quel lavoro, anche se non è stato possibile ritrovare il punto D a causa della vegetazione ed il punto B è stato rimisurato, identificando così un nuovo punto chiamato B17. Per il raffittimento della rete, al fine di posizionare vertici di stazione anche nel piano interrato, sono stati individuati i punti 300, 400, 500, 600 e 800, creando una poligonale aperta che attraversa il paraboloide ed unisce i punti A e C, passando però nel piano inferiore grazie alla presenza delle bocche di lupo.

I vertici aggiunti sono stati materializzati mediante il posizionamento di chiodi e sono state compilate le relative monografie, al fine di una facile individuazione in futuro per poter appoggiare nuovi rilievi sempre allo stesso sistema di riferimento.



Figura 1 - Stazione totale durante una misurazione verso il corridoio interrato.



Figura 2 - Bocca di lupo.



Figura 3 - Identificazione punto 600.



Figura 4 - Identificazione punto 500.

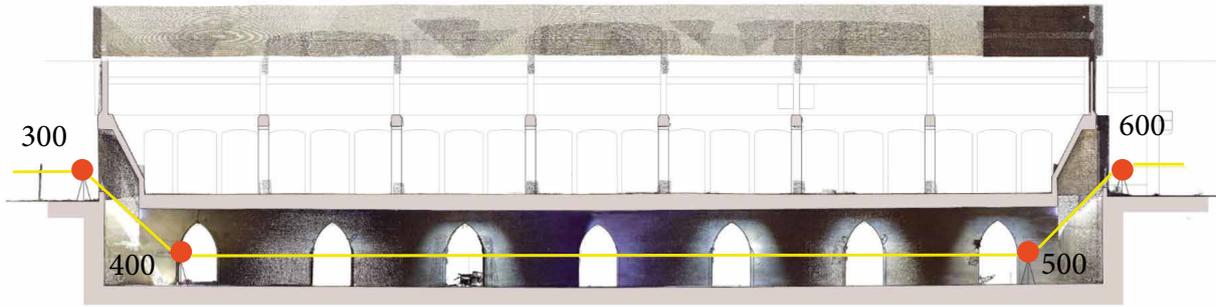


Figura 5 - Rappresentazione della rete passante dal piano terreno a quello interrato.

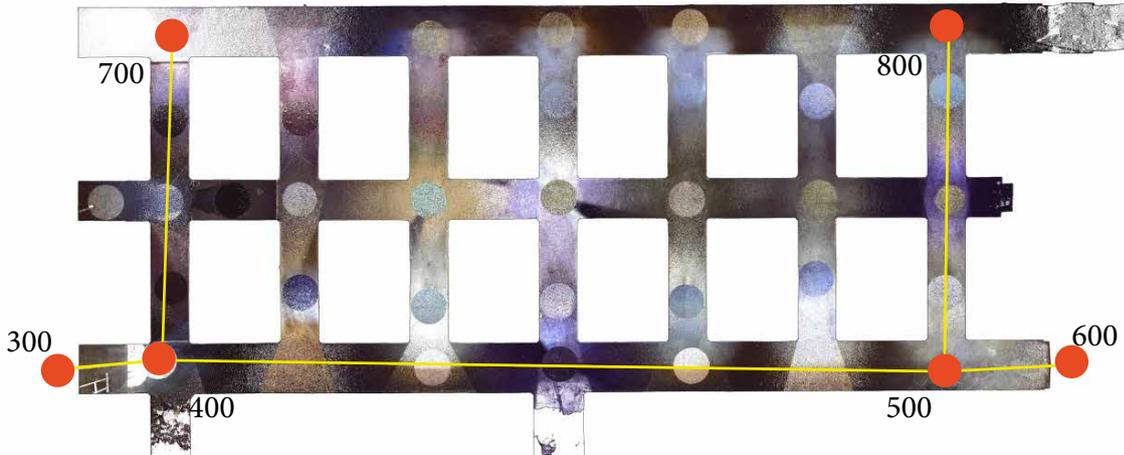


Figura 6 - Rete topografica nel piano interrato.



Figura 7 - Rete topografica nel piazzale esterno, (in rosso) baseline, visualizzata sull'ortofoto.

Acquisizione dei punti

La rete topografica è stata rilevata tramite l'utilizzo della stazione totale con prisma e dello strumento GNSS (per i punti E ed F è stata effettuata un'acquisizione statica di 30 minuti).

5.1.2 Strumenti utilizzati

Per il rilievo è stata utilizzata una stazione totale TPS 800 Leica. Il ricevitore GNSS è il modello Zenith Geomax.



Figura 10 - Strumento GNSS modello Geomax Zenith.



Figura 11 - Stazione totale TPS 800 Leica.



Figura 12 - Posizionamento della stazione totale sul punto 500.

5.1.3 Fase di elaborazione e restituzione

La prima elaborazione è avvenuta mediante il software LGO che permette la georeferenziazione della rete topografica, facendo riferimento alla stazione permanente di Crescentino ed utilizzando il sistema di riferimento WGS84-ETR2000.

Per la stima delle coordinate dei vertici della rete topografica, è stato utilizzato il software StarNet MicroSurvey, che consente anche di effettuare la compensazione della rete stessa (compensazione ai minimi quadrati). La precisione ottenuta è inferiore ai 5mm per le coordinate X ed Y e a 1cm per Z (quota).

In questo modo è stato possibile ottenere le coordinate dei punti della rete ed appoggiare ad essi le successive acquisizioni in modo che siano sempre georeferite.

5.2 Rilievo LIDAR del piano interrato del paraboloide

5.2.1 Metodologia di acquisizione

Effettuando il rilievo con laserscanner, è stata acquisita un'ingente quantità di dati, che racchiudono completamente le geometrie del paraboloide, dalle quali è possibile estrarre le informazioni d'interesse. La tecnica è stata effettuata in tutte le parti del piano interrato, mettendo in stazione lo strumento nelle intersezioni dei vari corridoi.

Esso è dotato di uno scanner laser, che effettua le misurazioni dei punti, e di una camera coassiale (il cui asse ottico coincide con il raggio laser) per l'acquisizione delle immagini che verranno poi utilizzate per assegnare i colori alla nuvola acquisita. Contrariamente alle condizioni ambientali esterne, che non sono state avverse in modo limitante alle acquisizioni, negli spazi interrati si sono presentate alcune difficoltà. Innanzitutto l'illuminazione, in particolare dei corridoi centrali, non era sufficiente ad ottenere dei buoni dati e quindi per l'acquisizione delle immagini sono stati posizionati dei fari LED per illuminare le porzioni di parete interessate.

Sono state effettuate un totale di 32 scansioni laser nel piano interrato e come base d'appoggio per la georeferenziazione delle nuvole di punti è stata usata la rete topografica precedentemente creata. Sono infatti stati posizionati dei marker cartacei sulle pareti e ne sono state rilevate le coordinate mediante stazione totale.

Per quanto riguarda la parte superiore del paraboloide, le scansioni laser erano state effettuate nel 2012 posizionando lo scanner in un cestello elevatore al fine di rilevare l'estradosso e successivamente è stato acquisito anche l'intradosso.

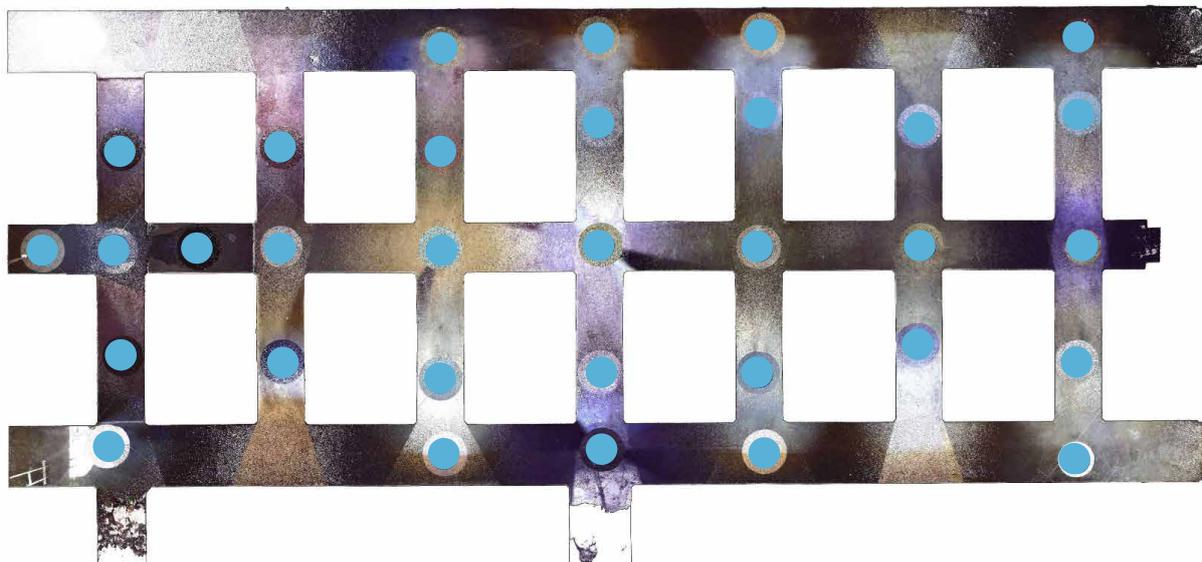


Figura 13 - Punti di scansione.

5.2.2 Strumenti utilizzati

Lo strumento utilizzato è il Faro Focus 3D, un laser scanner distanziometrico a differenza di fase. Lo strumento è dotato di sensore di altezza, compensatore biassiale e bussola elettronica, al fine di poter identificare esattamente altezza, inclinazione e orientamento delle scansioni. Possiede inoltre una fotocamera integrata, che permetterà poi di associare ad ogni punto una determinata colorazione.

All'avvio è necessario settare diversi parametri tra i quali la risoluzione (densità di rilevamento dei punti) e la qualità (ossia il numero di volte che ogni punto viene misurato).



Figura 14 - Laserscanner Faro Focus 3D.



Figura 15 - Laserscanner sul punto 400.



Figura 16 - Esempio di marker cartaceo.

5.2.3 Fase di elaborazione

Le nuvole generate in questo modo sono state estrapolate ed inserite in un software (Scene) attraverso il quale è stato possibile unirle per creare un'unica nuvola.

Questo procedimento di unione delle nuvole è stato svolto in due differenti modalità: per forma e per punti di controllo, a seconda delle necessità. L'allineamento per forma consiste, dopo un'iniziale posizionamento manuale delle scansioni nelle loro reali posizioni reciproche, in un affinamento di questo allineamento effettuato dal software, sulla base delle corrispondenze di forma che esso stesso individua nella nuvola di punti.

L'allineamento mediante punti di controllo è stato effettuato mediante l'impiego delle coordinate dei target rilevate con la stazione totale e presenti in scansioni diverse. È stato necessario inserire nel software un file contenente l'elenco dei target e le loro coordinate e successivamente individuare nel modello tridimensionale i relativi punti e contrassegnarli assegnando ad ognuno il proprio nome corrispondente. Sempre attraverso l'assegnazione delle coordinate dei marker, il modello verrà rototraslato nello spazio e posizionato nelle corrette coordinate (quelle troncate).

Si è proceduto inizialmente con l'allineamento per forma e, successivamente, per le scansioni del corridoio C-D che presentavano un errato posizionamento, è stato effettuato quello per punti omologhi. Così facendo è stata ottenuta una nuvola completa ed orientata.

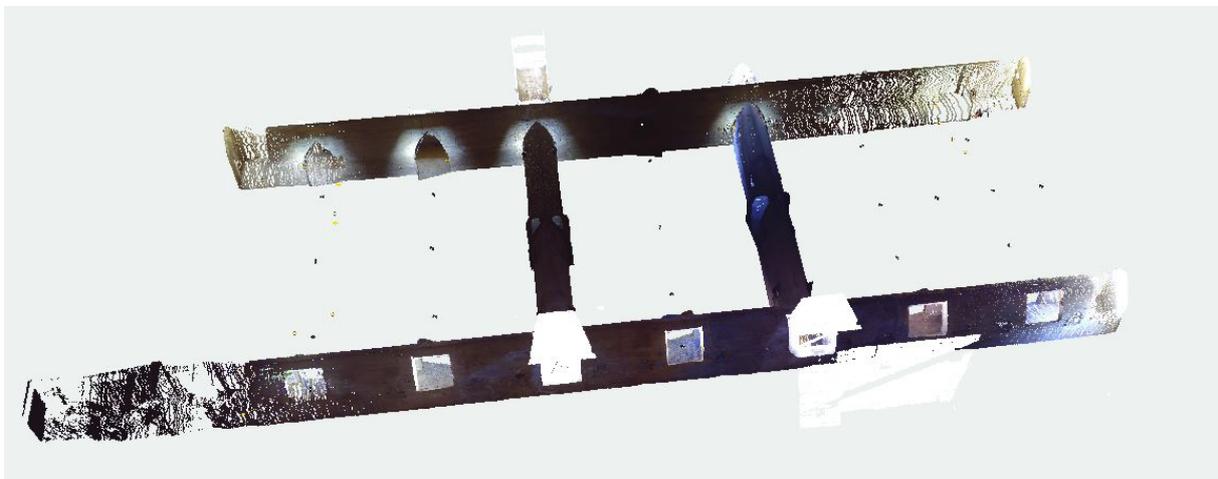


Figura 17 - Allineamento di alcune scansioni laser su software Scene.

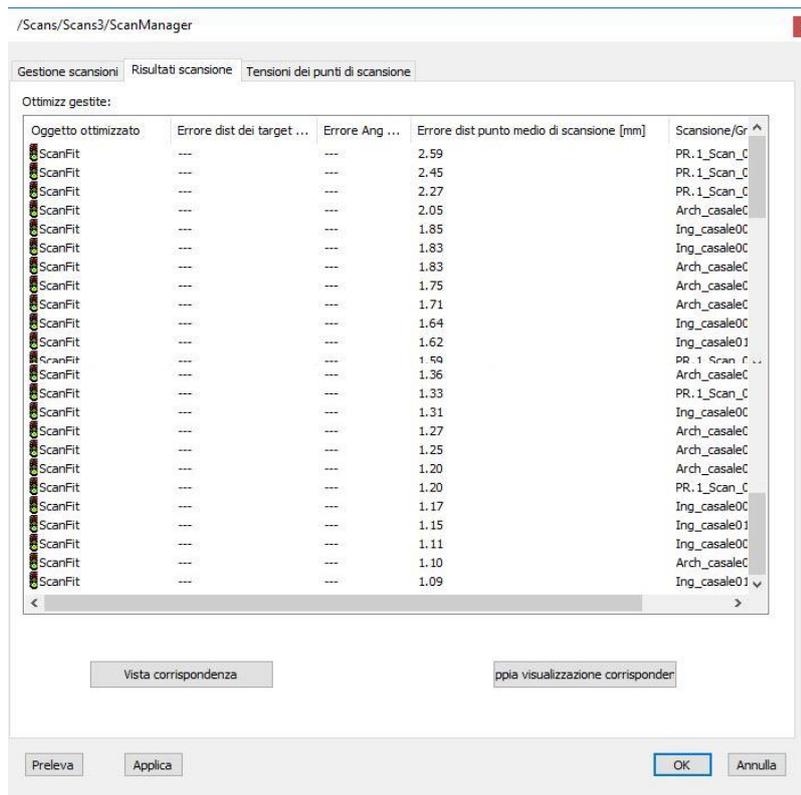


Figura 18 - Errori di allineamento delle singole scansioni rispetto ai target reali. Come si può notare variano nel range di pochi millimetri, un valore ottimale.

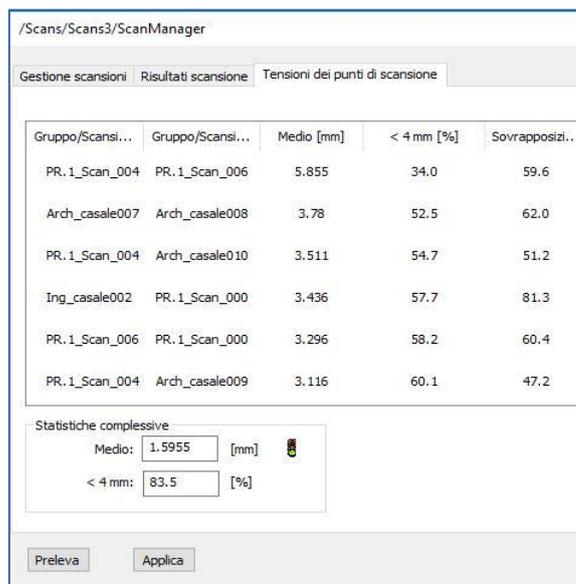


Figura 19 - Errori di allineamento dei gruppi di scansioni. Anche qui si denota un range di pochi millimetri, un valore ottimale.

Essendo la nuvola di punti georeferita, è stato possibile importarla sul software 3DReshaper, unendola al precedente progetto di rilievo del 2012 ed ottenendo così la forma completa del piano interrato relazionato a quello terreno. Durante la fase di importazione, la nuova nuvola si è posizionata correttamente rispetto alla precedente, proprio in virtù della georeferenziazione. Successivamente sono state estratte tramite il software Pointcab le varie sezioni corrispondenti da ogni corridoio, verso entrambe le direzioni. Per ogni sezione sono state estrapolate precisamente due immagini in formato png, una (ottenuta con uno spessore di sezione di 5 mm) che delinea solo il profilo delle parti sezionate, l'altra che consente di vedere anche i prospetti relativi alla sezione stessa. Su software CAD sono state successivamente vettorializzate in formato dwg le geometrie del paraboloide dalle immagini derivate dalla nuvola, che mantengono inoltre la loro posizione spaziale georeferita anche quando vengono importate in ambiente CAD.

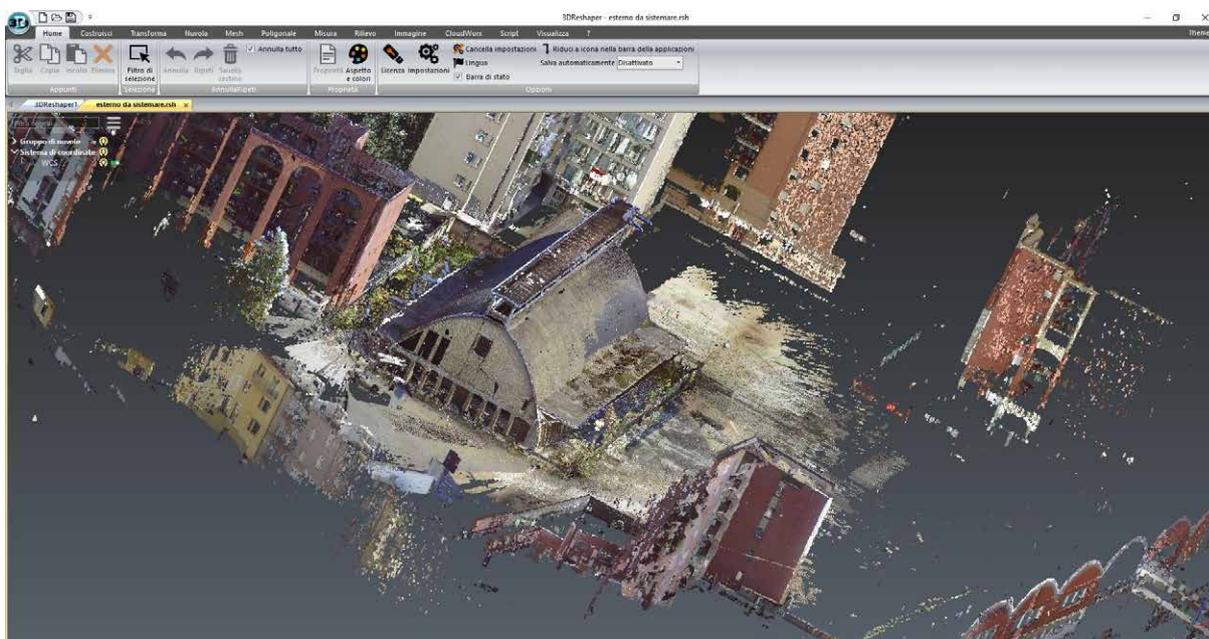


Figura 20 - Nuvola di punti visualizzata su software 3D Reshaper per l'allineamento tra parte superiore e inferiore.



Figura 21 - Identificazione delle sezioni su software PointCab.



Figura 22 - Esempio di sezione estratta mediante PointCab, rappresentante la nuvola del 2017 unita a quella del 2012.

5.2.4 Restituzione degli elaborati ed osservazioni

Effettuando questi procedimenti sono stati ottenuti disegni il più fedeli possibili alla realtà, comprendenti ogni possibile differenza seppur minima ed evitando per esempio errori dovuti all'errata comprensione di simmetrie in realtà inesistenti oppure di leggere pendenze difficilmente individuabili attraverso altri metodi.

L'obiettivo di raggiungere una scala nominale per il rilievo di 1:50 è stato raggiunto, con precisioni consone inferiori al centimetro. Per la fase di stampa sono invece state utilizzate la scala 1:100 ed 1:200, per ottenere visioni d'insieme. Sono inoltre stati sviluppati elaborati bidimensionali (planimetrie e sezioni) sovrapposti alle rispettive immagini a colori.

Con questo tipo di procedimento si dispone così di un modello totale dell'edificio, che può essere utilizzato per estrarre qualsiasi dettaglio necessario. Avendo a disposizione la scansione in ogni sua parte è inoltre possibile effettuare sezioni multiple a distanza costante per seguire l'andamento di differenti fenomeni o altre alterazioni di sorta. Inoltre va sottolineato come la georeferenziazione del precedente modello del 2012 ha permesso una facile unione con il modello creato in questo più recente rilievo, con livelli di precisione ottimali per gli scopi prefissati, facili da notare nei punti di congiunzione tra le due nuvole di annate diverse.

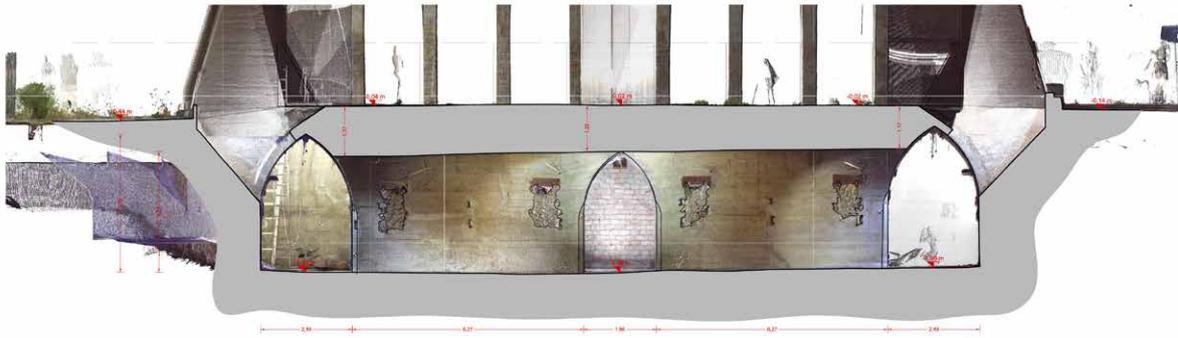


Figura 23 - Vettorializzazione della sezione Q-Q.

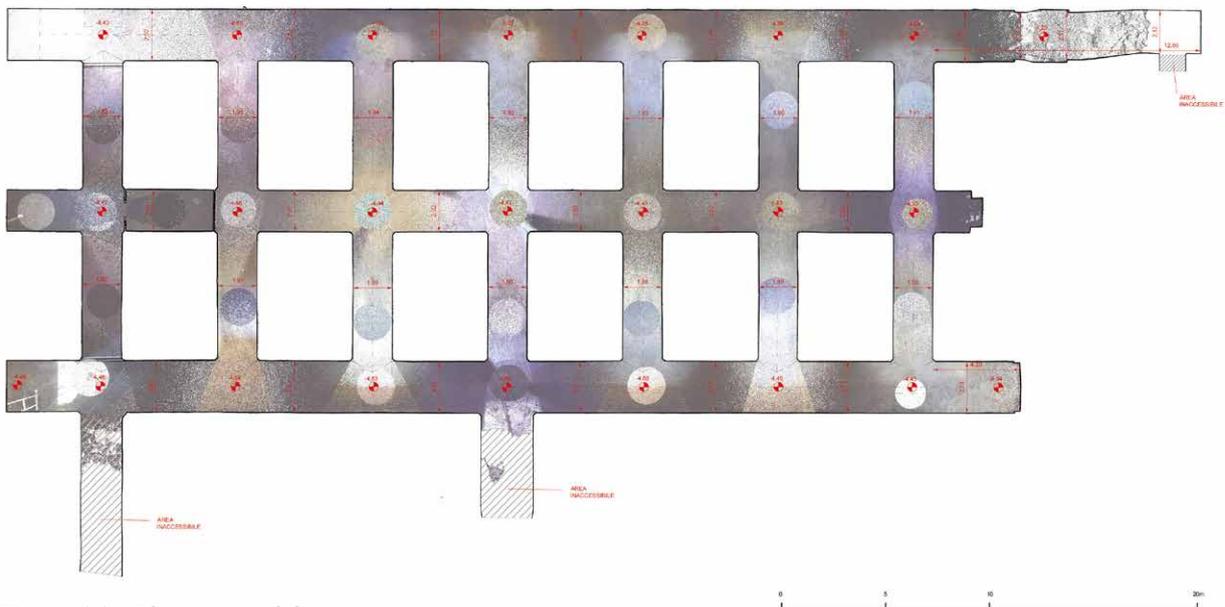
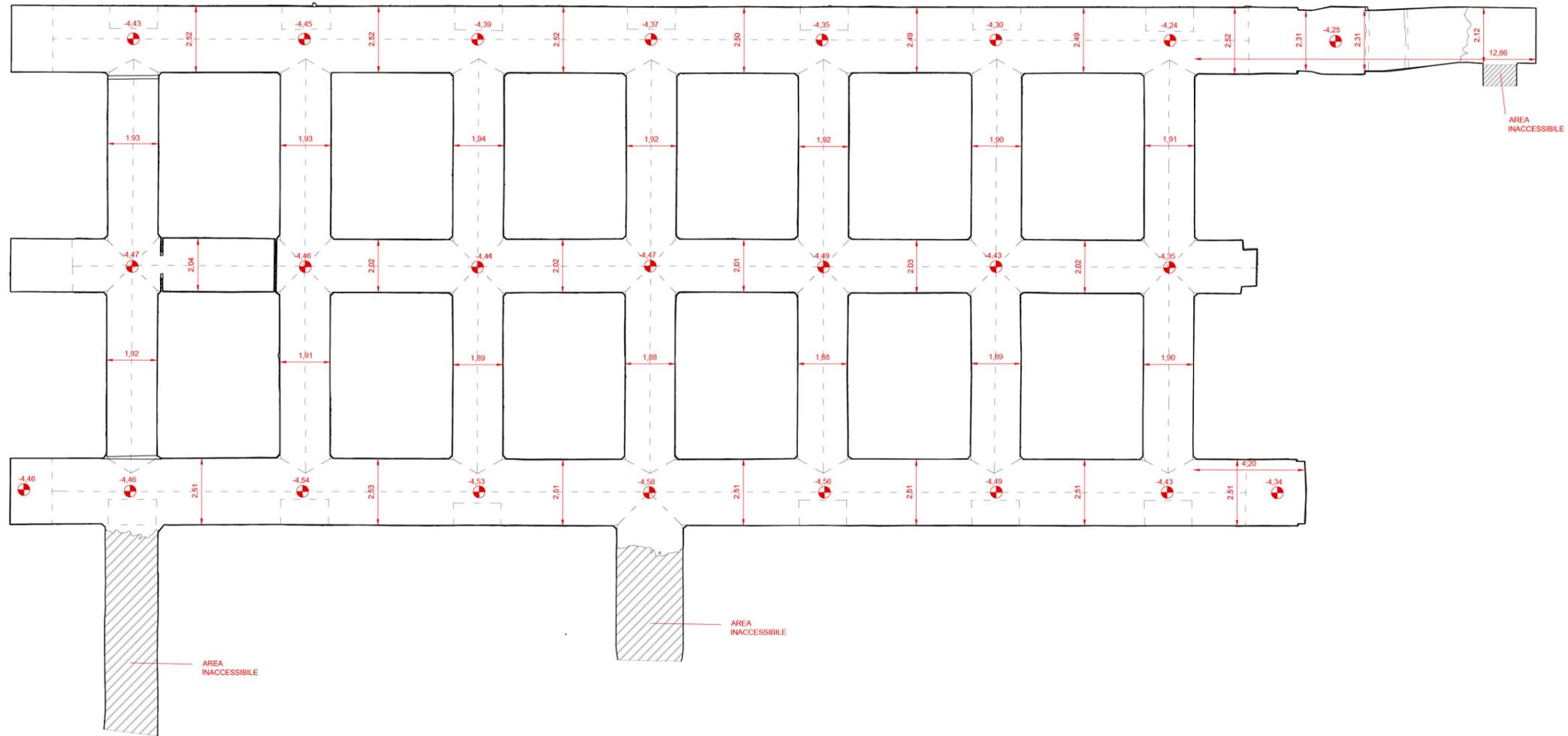


Figura 24 - Planimetria del piano interrato.



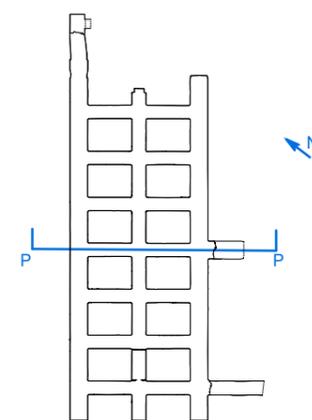
Planimetria architettonica



**Figura 26 - Planimetria
del piano interrato.**



K-PLAN



 POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

Figura 27 - Sezione P-P.

Oggetto elaborato
SEZIONI / scala 1:100

Identificazione file
Sezione P

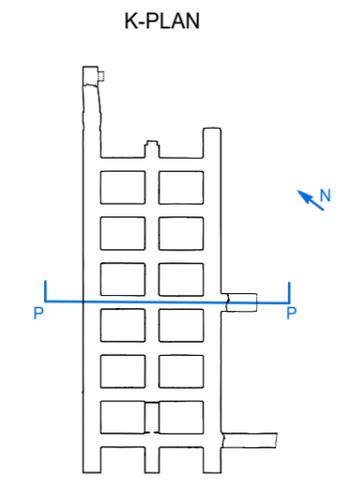
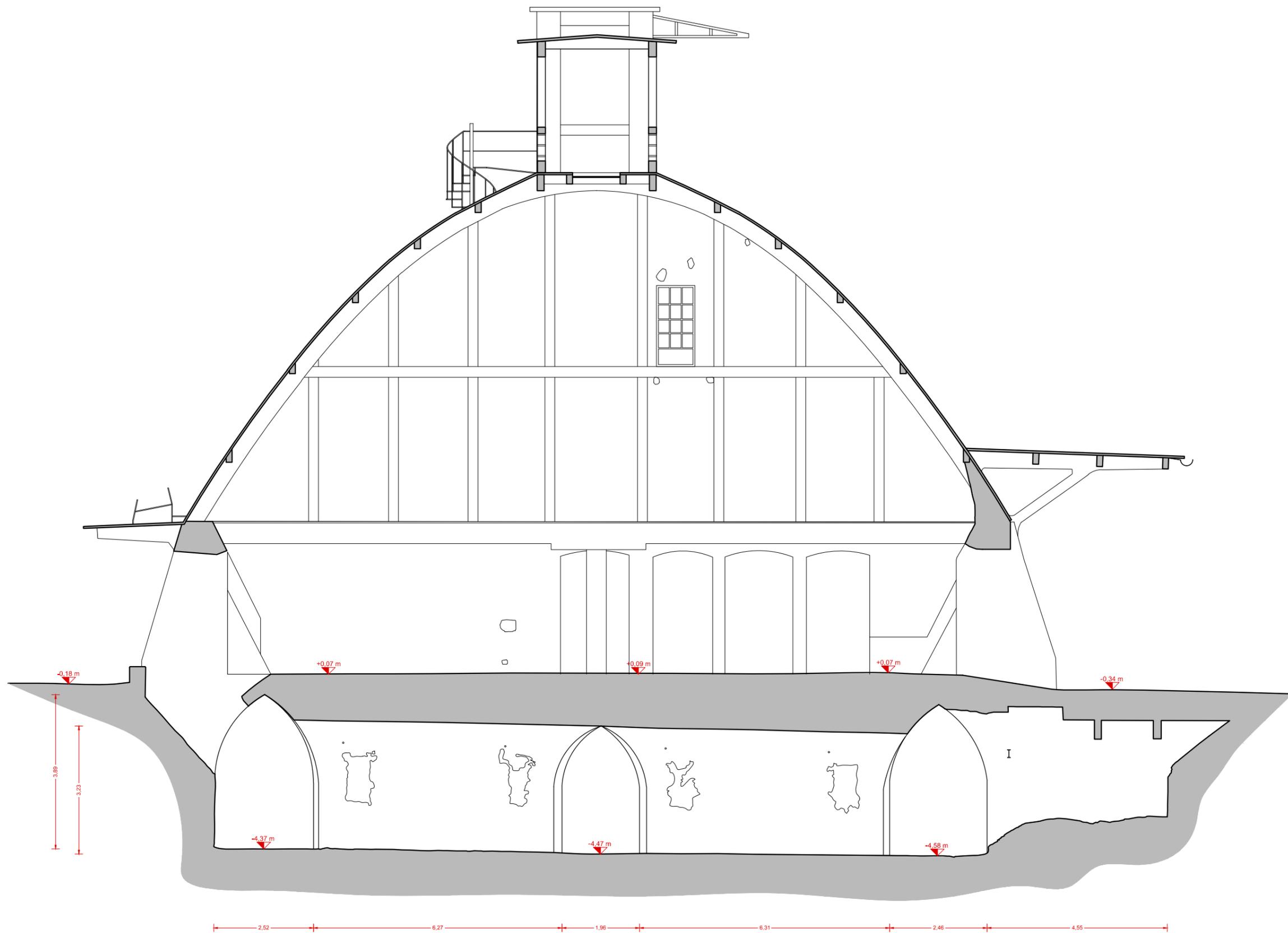
TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017

2.52 6.27 1.96 6.31 2.46 4.55

Sezione architettonica con immagine ortoproiettata





 **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

Figura 28 - Sezione P-P.

Oggetto elaborato
SEZIONI / scala 1:100

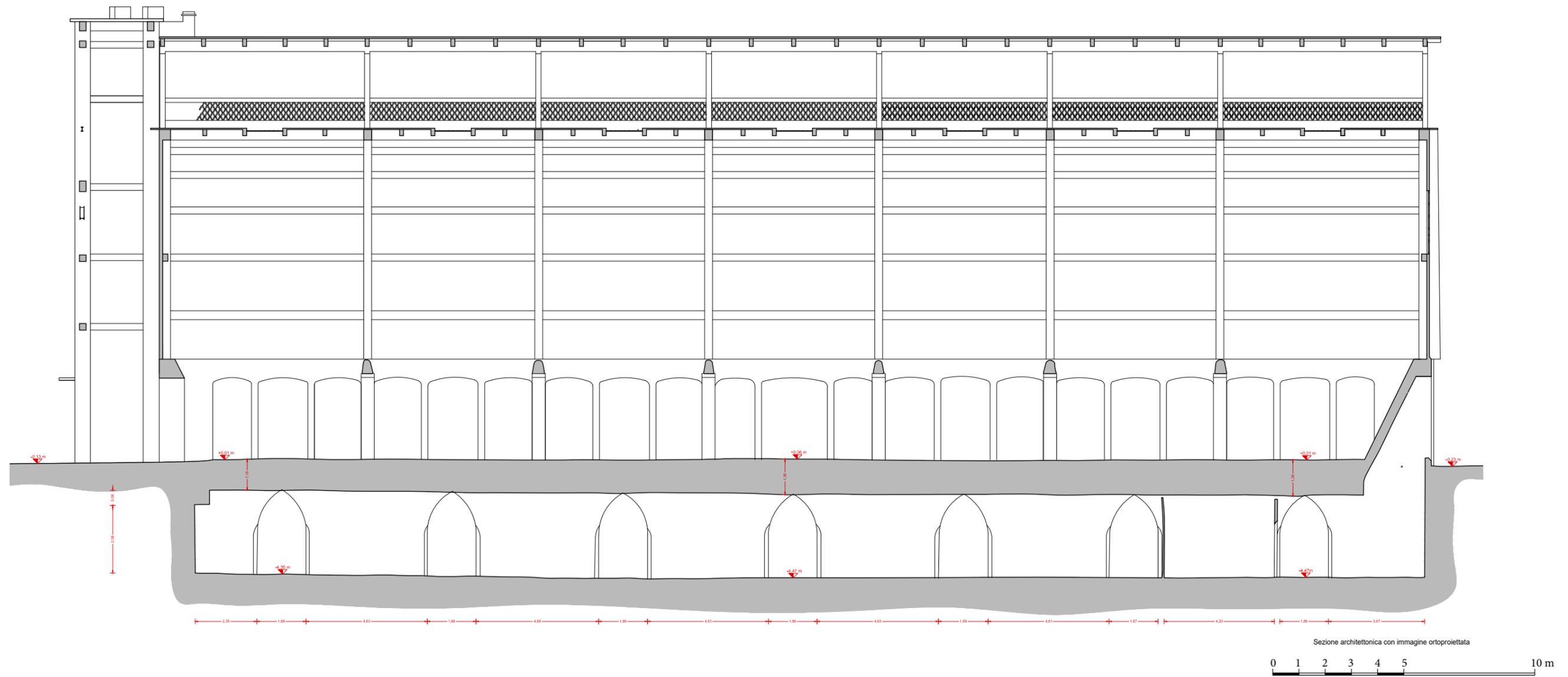
Identificazione file
Sezione P

TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017



Figura 29 - Sezione P-P.



5.3 Rilievo mediante tecnologia SLAM del piano interrato

5.3.1 Metodologia di acquisizione

Nel piano interrato si è inoltre potuta testare una nuova tipologia di acquisizione che si basa sulla tecnologia SLAM ed offre la possibilità di effettuare una scansione in movimento completa, di dettaglio inferiore rispetto ad un laser scanner ma che offre un quadro complessivo delle geometrie. Al contrario della tecnologia LIDAR grazie alla quale è stato possibile acquisire anche fotogrammi delle scansioni, con questo metodo non si dispone di queste informazioni. Lo strumento acquisisce le informazioni in modo continuo, mentre viene spostato manualmente lungo il percorso prestabilito. La forma dei corridoi rilevati inoltre si presta particolarmente bene a questa applicazione in quanto sono di ridotte dimensioni ed il tempo necessario ad effettuare le scansioni con lo strumento Zeb Revo è stato di circa dieci minuti, mentre per il rilievo LIDAR sono occorse svariate ore per ottenere una serie di nuvole di punti che dovranno inoltre poi essere unite.

Nel dettaglio, sono state effettuate due scansioni separate che sono poi state unite per ottenere un'unica nuvola di punti. Si è avuta l'accortezza, durante l'acquisizione, di chiudere il percorso del rilievo, ossia ritornare al punto d'inizio una volta conclusa la scansione, al fine di avere una maggiore ottimizzazione metrica dell'acquisizione (controllo dell'errore). La rapidità d'esecuzione è stata fondamentale per poter rilevare tutta l'area d'interesse ed avere così la geometria generale del piano interrato, non ad alta risoluzione, ma completa.

5.3.2 Strumenti utilizzati

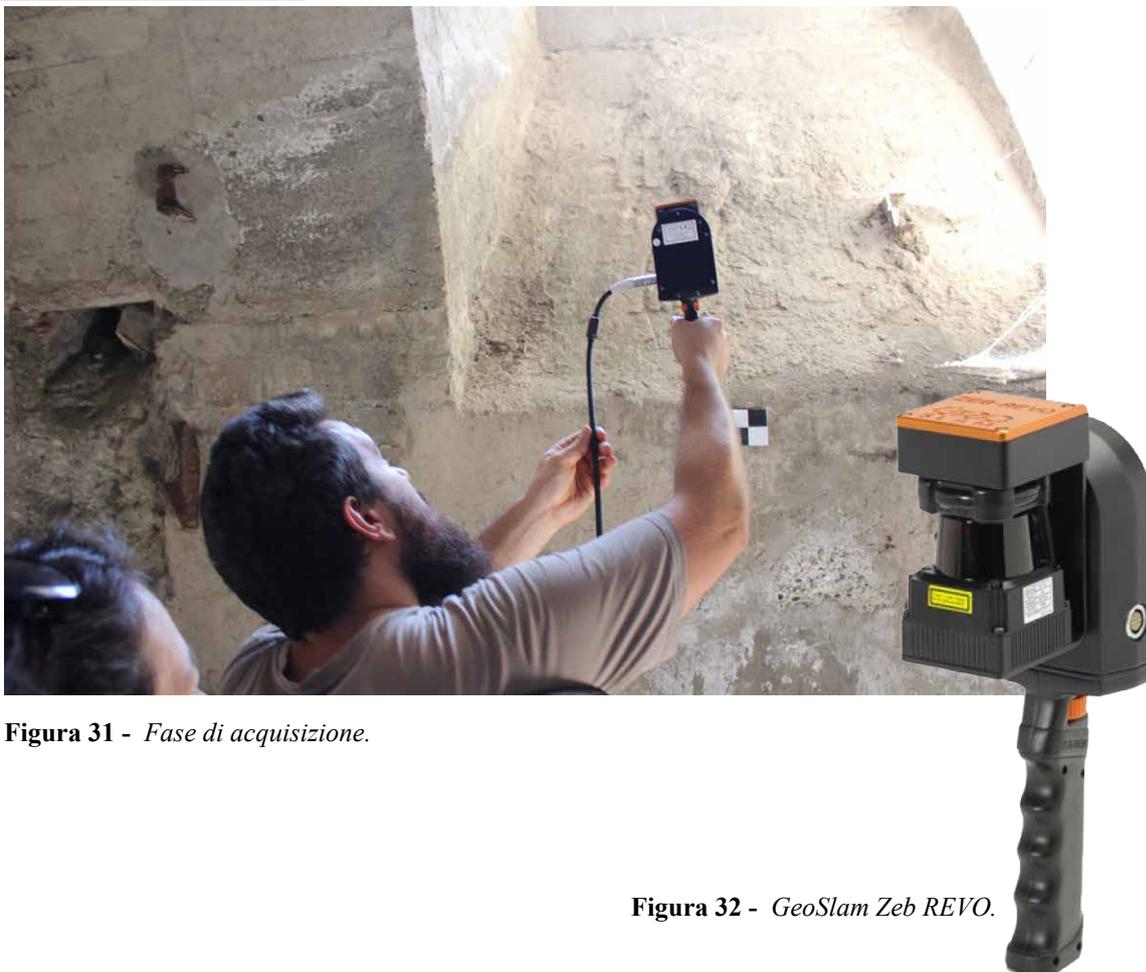


Figura 31 - Fase di acquisizione.

Figura 32 - GeoSlam Zeb REVO.

5.3.3 Fase di elaborazione

Dalle due scansioni sono state generate altrettante nuvole di punti, che sono poi state allineate utilizzando il software apposito (GEOSLAM), che effettua anche un processo di correzione della traiettoria. L'unione è stata invece effettuata mediante il software dedicato Cloud Compare, ottenendo un'unica nuvola che rappresenta l'intera geometria del piano interrato.

Questa nuvola completa è stata poi unita a quella derivante dai rilievi del 2012 in ambiente digitale del software 3DReshaper per compararle grazie alla loro georeferenziazione e l'integrazione tra le due è risultata ottimale seppur la minore precisione di questo metodo.

5.3.4 Restituzione degli elaborati ed osservazioni

La nuvola generata dallo Zeb REVO è stata sezionata mediante il software Pointcab per estrarne una planimetria. Questa si è rivelata utile, data la sua completezza, nei punti ciechi creatisi nei rilievi effettuati con laser scanner.

In questa elaborazione, dato l'obiettivo prefissato, non si è proceduto alla creazione di una mesh e di una texture in quanto si è ricorso a sistemi LIDAR che meglio hanno permesso questi passaggi, ma si sarebbero comunque potute sviluppare e gestire, anche per l'estrazione delle geometrie generali (per le quali si sono utilizzate le altre tecniche) garantendo una più rapida operazione in fase di rilievo.

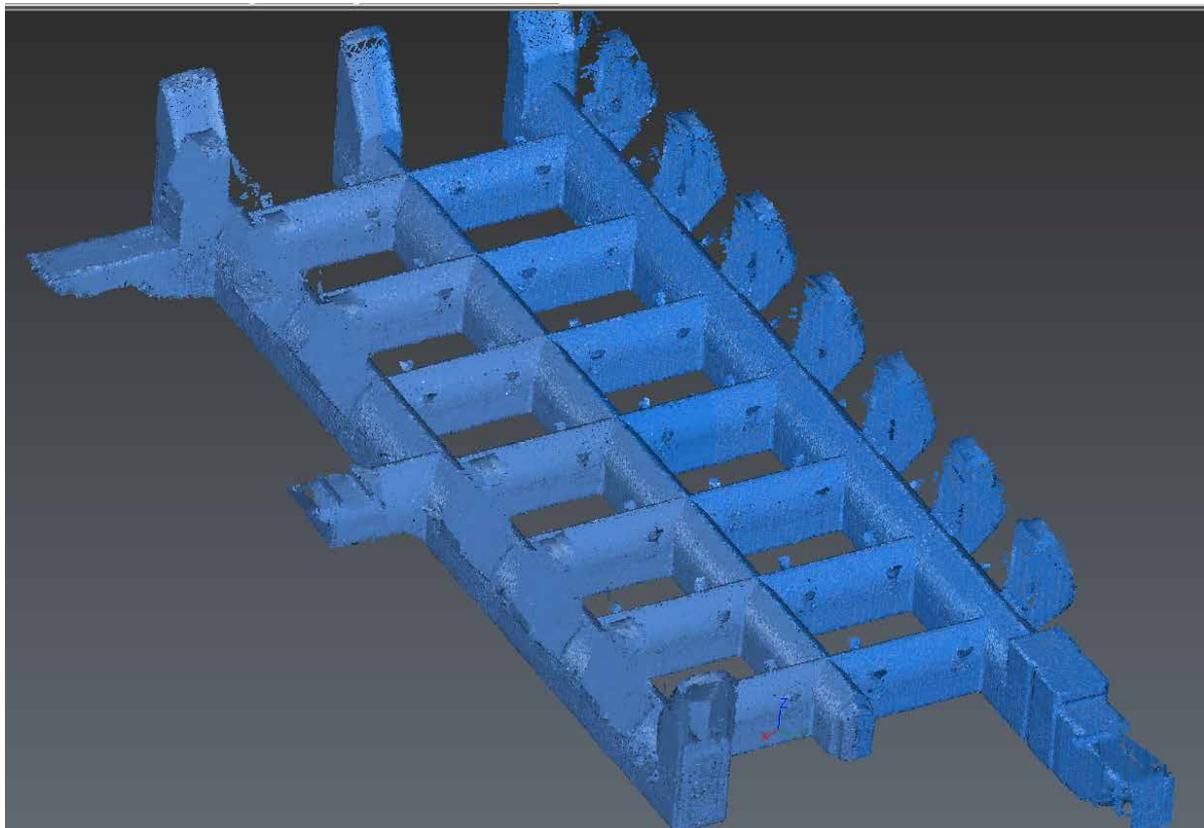


Figura 33 - Nuvola di punti ottenuta riguardante l'intero piano interrato.

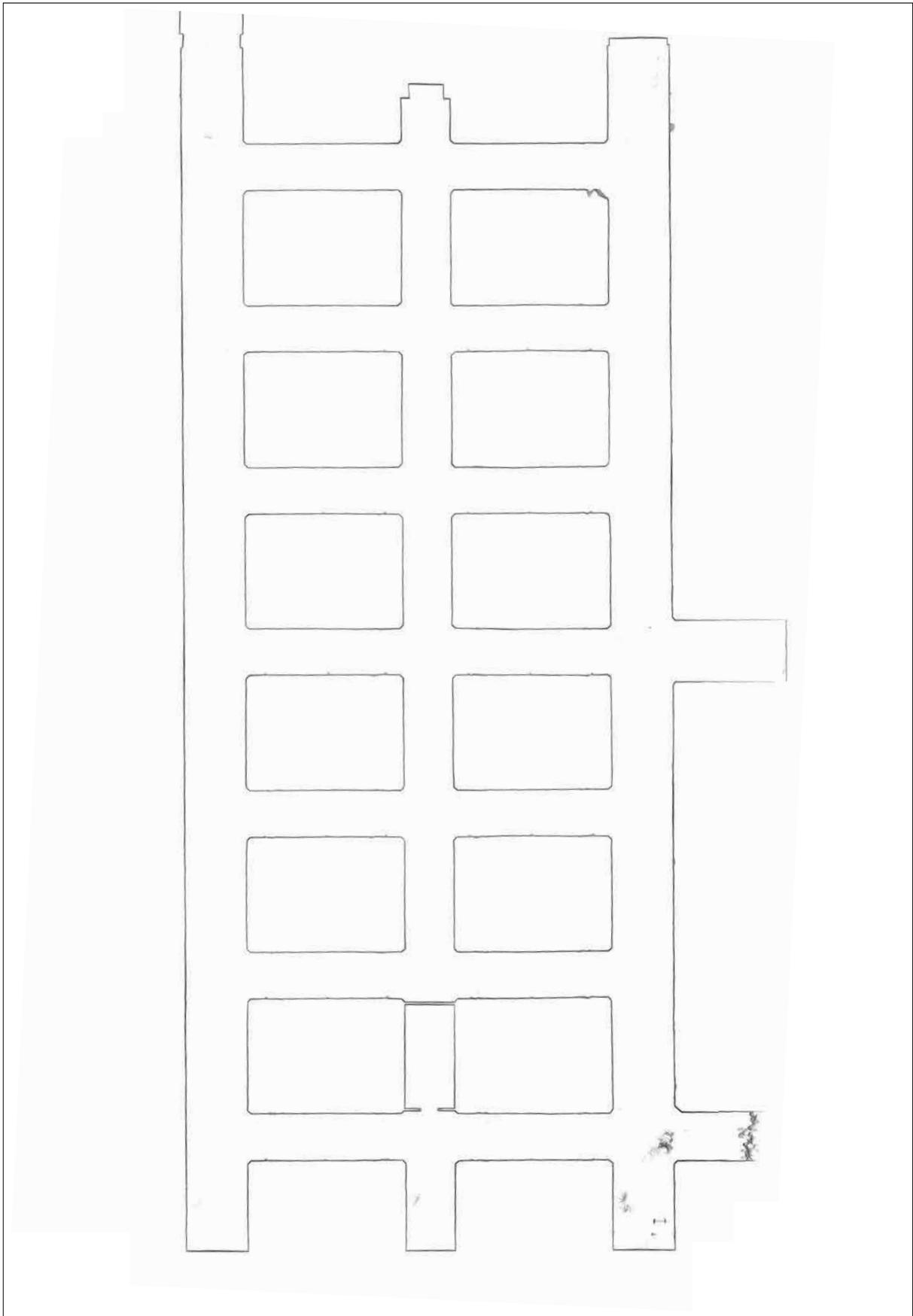


Figura 34 - *Planimetria estratta direttamente dalla nivola ottenuta dallo strumento Zeb Revo.*

5.4 Rilievo fotogrammetrico digitale close-range e mediante UAV

5.4.1 Metodologia di acquisizione

Le due aree dove è stato effettuato il rilievo fotogrammetrico sono il piano interrato, mediante macchina fotografica professionale, e l'esterno del paraboloide, dove si è ricorso all'uso di UAV. Per l'acquisizione dei fotogrammi nel piano interrato con la fotocamera professionale si è sempre garantita una sovrapposizione tra le immagini almeno del 60% e si è prestata particolare attenzione a scattare fotografie perpendicolari e con centri di presa mai troppo vicini.

Per l'acquisizione di volte e soffitti, la fotocamera è stata posizionata con l'asse ottico dal basso verso l'alto, appoggiandola a terra per ogni scatto.

Come per la tecnica LIDAR, anche in questo caso è stato necessario posizionare dei target sulle pareti e fare in modo che negli scatti fotografici siano ben distribuiti, al fine di assegnargli le corrispettive coordinate, misurate mediante l'utilizzo della stazione totale appoggiandosi alla rete topografica del piano interrato.

Lo stesso procedimento è stato eseguito per la parte esterna del piazzale, dove sono stati posizionati marker a terra che dovranno essere visibili dagli scatti effettuati dal drone. Di essi sono state acquisite le coordinate mediante stazione totale appoggiandosi alla rete d'inquadratura creata. Per le acquisizioni al piano interrato invece, a causa della scarsa luminosità, si è dovuto ricorrere all'uso di illuminazione portatile per ottenere fotografie con giusta esposizione e di treppiede per minimizzare il movimento della camera in fase di scatto ed ottenere così foto nitide e non sfuocate. Sono stati posizionati sulle pareti i marker necessari e, sempre appoggiandosi alla rete d'inquadratura, sono stati misurati facendo stazione sui punti 400, 500, 600 e 800.

5.4.2 Strumenti utilizzati



Figura 35.1 - Fotocamera professionale Canon 5DsR.



Figura 35.2 - Obiettivo Canon EF 24 - 70 mm.



Figura 36 - Sistema di illuminazione LED modello Lupo Superpanel.



Figura 37 - Esempio di immagine acquisita.

5.4.3 L'apporto della tecnologia UAV

Per l'acquisizione dell'esterno del paraboloide il drone, modello DJI Phantom 4Pro, ha acquisito mediante la sua camera delle fotografie volando in modalità manuale e fermandosi in modo stazionario ogniqualvolta fosse necessario.

Sono state effettuate più strisciate con camera nadirale a differenti quote e riprese delle facciate con posizionamento d'acquisizione perpendicolare ed a 45 gradi.

La parte nord del paraboloide è stata documentata in modo minore rispetto alle altre per la presenza di un edificio vicino che ha limitato la distanza di volo.

Questo fattore ha determinato alcuni problemi di elaborazione che saranno successivamente trattati.

In questo caso studio in particolare, la passerella superiore del paraboloide che prima non era stata rilevata in maniera esaustiva data l'impossibilità d'accesso (il rilievo fotogrammetrico non era stato effettuato con l'uso di droni aerei), ora è documentata in modo completo. La stessa situazione è stata anche riscontrata per la volta interna, della quale sono ora disponibili immagini ravvicinate e ad alta risoluzione.

É inoltre stato anche possibile riprendere alcuni video degli spazi interni e successivamente, al momento dell'importazione su software, scegliere un intervallo temporale per scomporli in fotogrammi da impiegare nei processi di elaborazione. É stato utilizzato in questo caso un drone DJI Mavik.

Va riportato che la fase di rilievo è stata effettuata nel mese di luglio 2017 e che quindi le temperature erano alte. Specialmente, nella giornata di acquisizione di immagini con voli di drone, il cielo era sgombro di nubi e quindi il caldo persistente. Il drone ha mostrato poca resistenza a questo fattore ed infatti i voli sono stati effettuati in più riprese, consentendo all'UAV di raffreddarsi e tornare operativo.

Il problema si è riscontrato subito ed è stato necessario far atterrare subito il Phantom 4Pro in seguito alla segnalazione di pericolo pervenuta sul controller.



Figura 38 - Drone DJI Phantom 4Pro.



Figura 39 - Drone DJI Mavik.



Figura 40 - Esempio di fotogramma ripreso mediante drone Phantom 4Pro.
Da notare i marker posti a terra (in giallo).

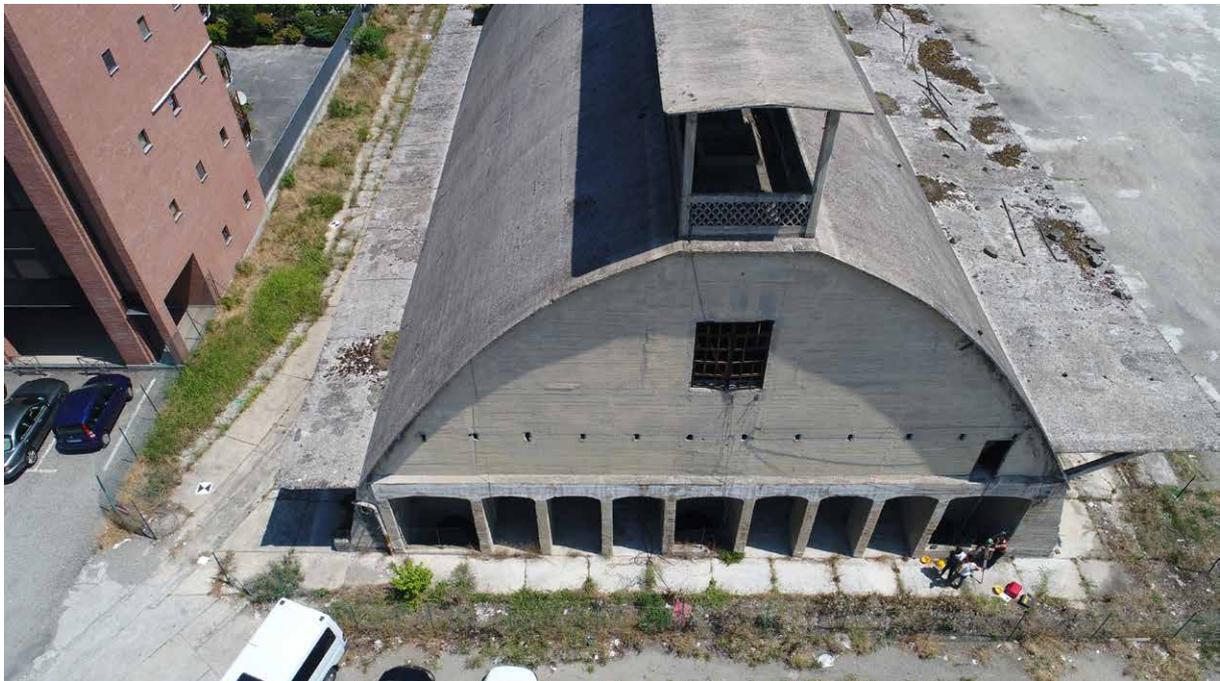


Figura 41 - Esempio di fotogramma ripreso mediante drone Phantom 4Pro.
Attraverso l'uso in fase di elaborazione di immagini come questa è stato possibile definire la geometria della passerella superiore.

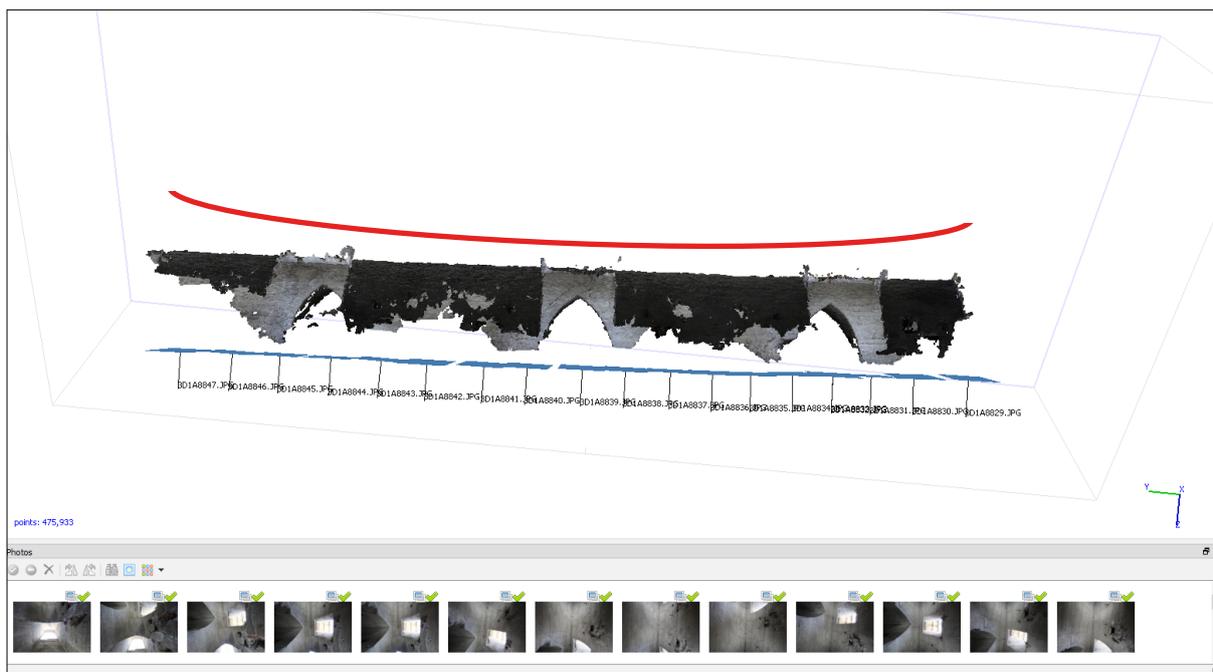


Figura 43 - Errore di allineamento riscontrato nella volta senza l'uso di marker, la linea rossa rappresenta in modo accentuato la deformazione.

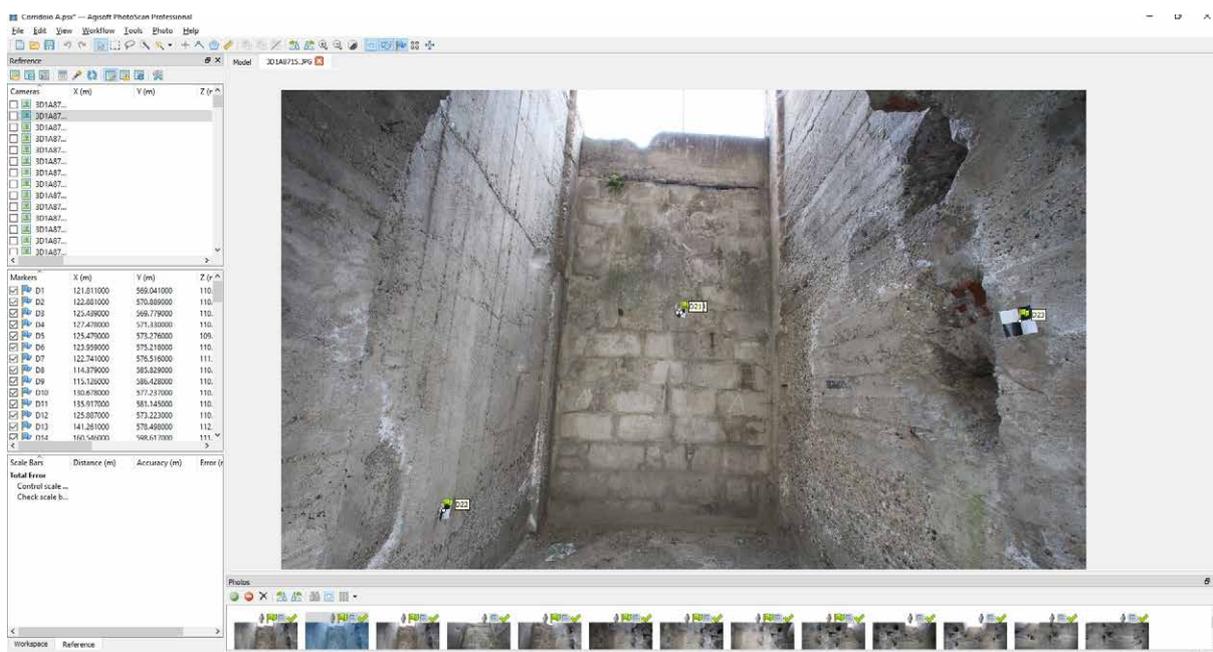


Figura 44 - Identificazione dei marker, a sinistra è visibile l'elenco immagini e nomi marker.



Figura 45 - Esempio di marker apposti sulle pareti per consentire una più precisa elaborazione e la georeferenziazione.

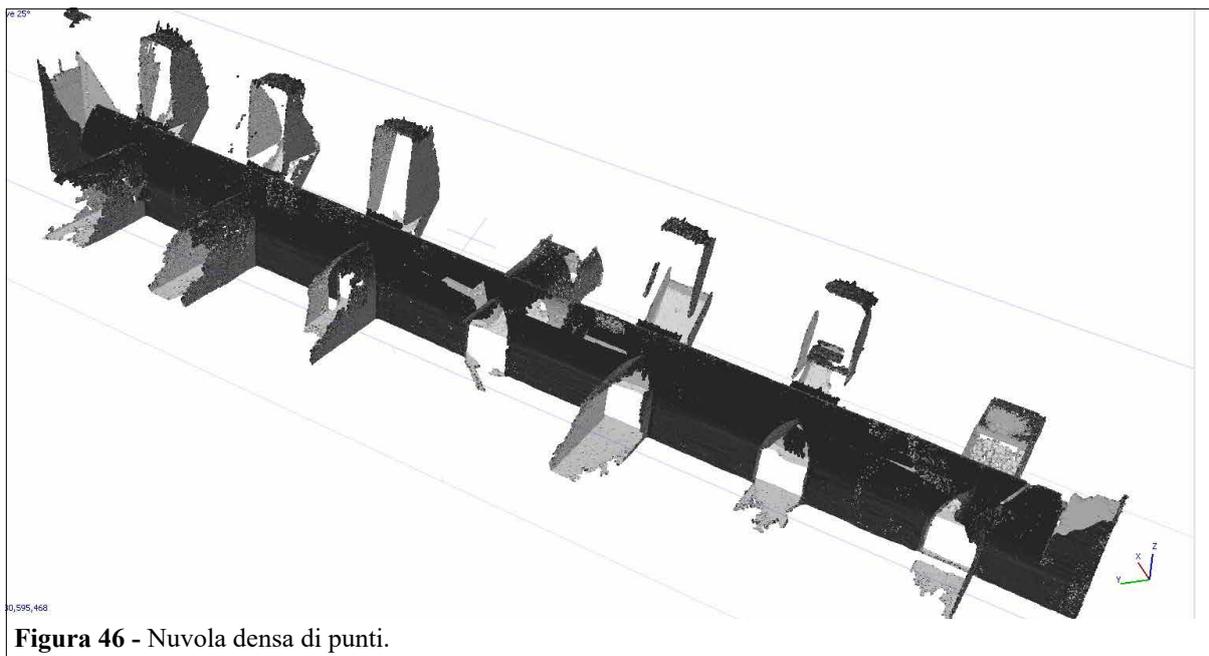


Figura 46 - Nuvola densa di punti.

Dalla nuvola di punti globale è poi possibile procedere alla creazione di una mesh (un reticolo di poligoni triangolari che insieme formano superfici tridimensionali). L'operazione è stata svolta preliminarmente sul software Photoscan, con l'elaborazione di queste superfici sulla base dei punti infittiti.

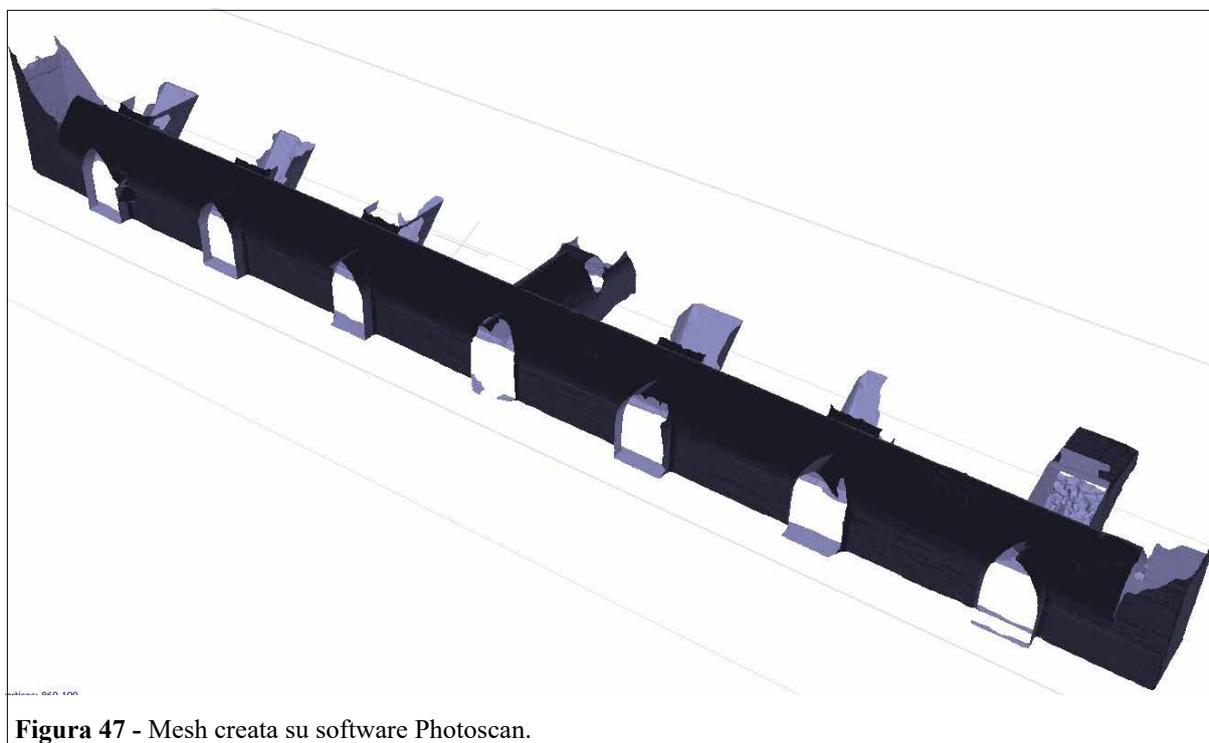


Figura 47 - Mesh creata su software Photoscan.

Attraverso l'individuazione di punti vicini e con caratteristiche simili, il software creerà una prima rete poligonale che tuttavia avrà determinati difetti da correggere manualmente. Sono state infatti riscontrate numerose lacune la presenza di superfici errate. Per ovviare a questi problemi, il file contenente la mesh è stato importato in un software dedicato (3DReshaper),

dove è stato possibile intervenire puntualmente ed effettuare le correzioni. Si sono resi necessari i comandi “ponte”, che crea superfici di collegamento tra due lati di triangoli della mesh non collegati l’uno con l’altro, ed il comando “tappabuchi” che, dopo aver definito una lacuna da colmare, la riempie con una mesh che segue l’andamento delle circostanti. Per le lacune più grandi è stato necessario unire queste due opzioni, inserendo prima dei ponti per dividere le lacune maggiori in lacune più piccole e poi riempire queste ultime con “tappabuchi”.

Dopo aver ottenuto una mesh generalmente corretta, per aumentare la precisione è stato effettuato un affinamento della sua tessitura attraverso le operazioni “raffinare la maglia”.

Questo processo è necessario ad aumentare il livello di dettaglio della mesh derivando le informazioni da elaborare sempre dalla nuvola di punti.

Il affinamento è stato effettuato in due step:

- il primo prelevando i punti dalla nuvola e quindi infittendo la mesh aggiungendole alcuni dettagli geometrici che durante la prima elaborazione erano andati persi;
- il secondo interpolando nuovi punti tra quelli già presenti, creando una trama più fitta.

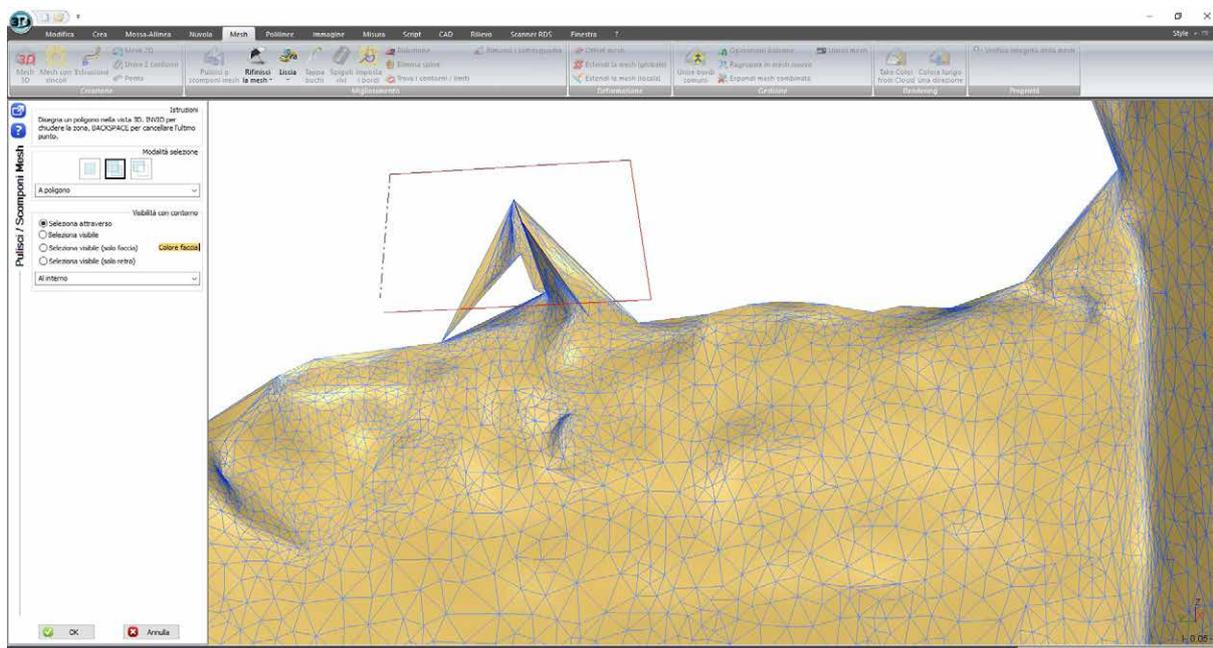


Figura 48 - Selezione ed eliminazioni di parti della mesh errate.

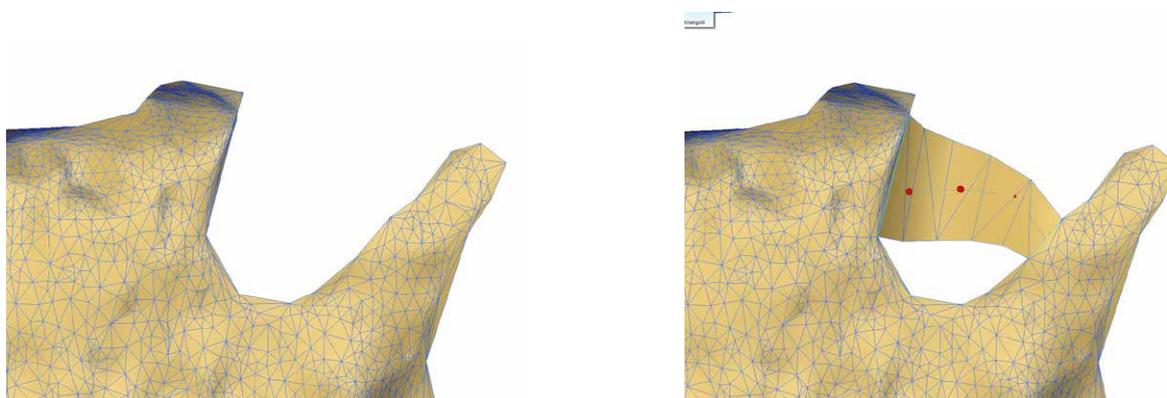


Figura 49 - Creazione di una superficie di collegamento con il comando “ponte”.

Quando la mesh ha raggiunto la qualità voluta, è stato possibile applicare la sua texture. Per effettuare questa operazione la mesh è stata nuovamente importata sul software Photoscan, che attraverso la rielaborazione dei fotogrammi con la nuvola di punti, conoscendo l'esatta posizione di ogni elemento del modello digitale, ha sviluppato la texture sulla mesh.

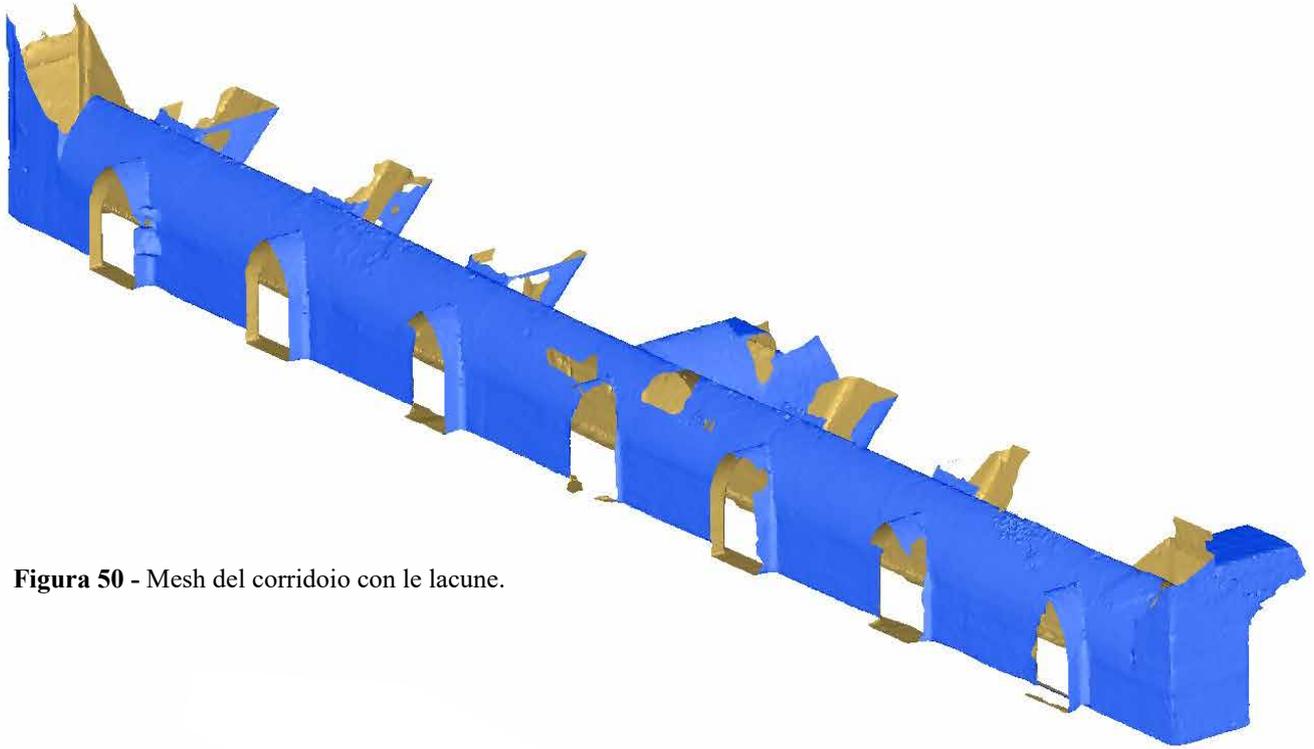


Figura 50 - Mesh del corridoio con le lacune.

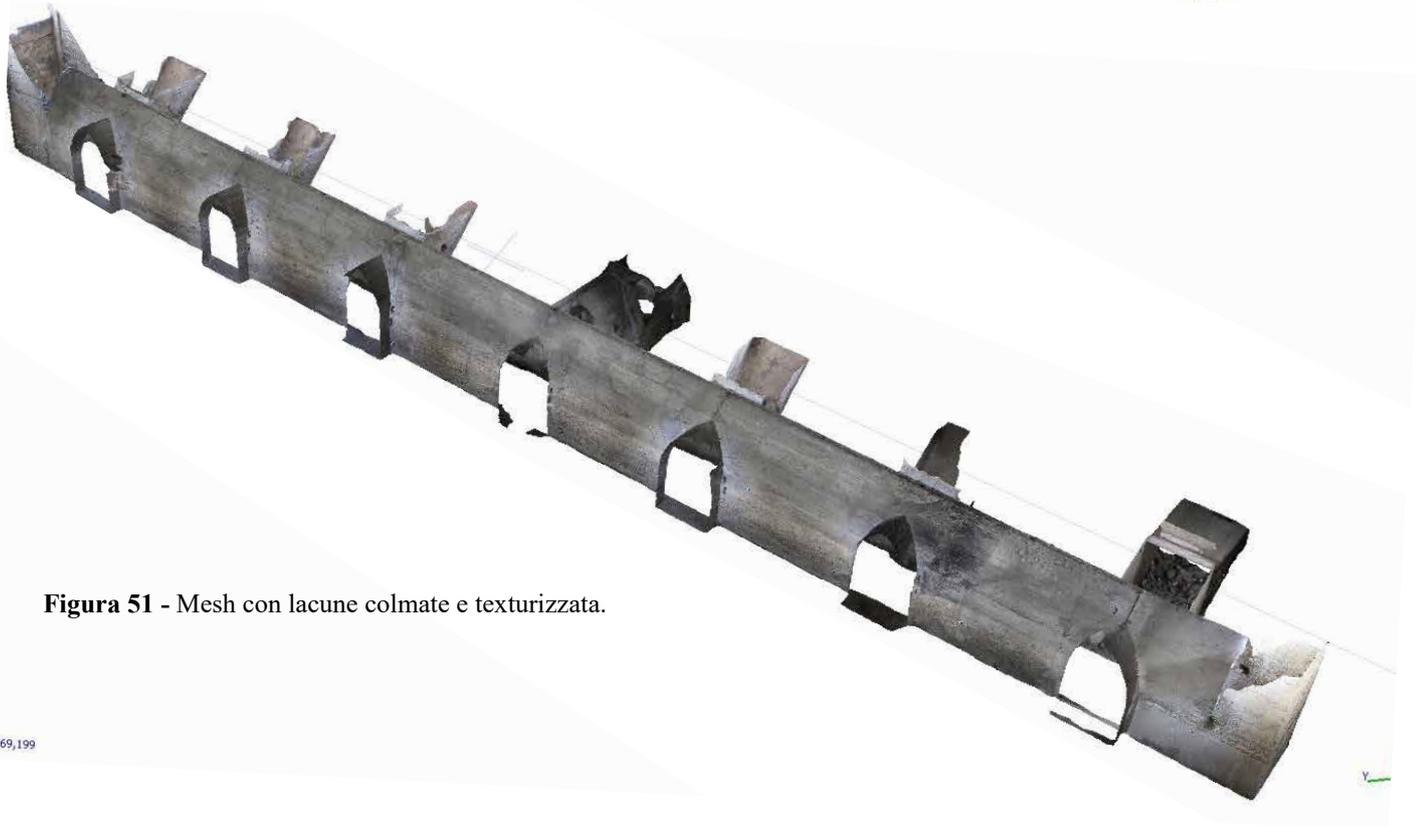


Figura 51 - Mesh con lacune colmate e texturizzata.

:res: 869,199

Parte esterna del paraboloide

Le immagini utilizzate per questa elaborazione sono quelle catturate dal drone Phantom 4Pro. Già nella fase di allineamento preliminare, tentando di elaborare un grande numero di queste immagini contemporaneamente, si possono notare grossi problemi in quanto il software non riesce a definire correttamente la posizione dei vari punti di presa e quindi sviluppa nuvole di punti errate. Ciò è dovuto al fatto che le immagini dell'esterno della volta sono molto simili tra loro. Per questo motivo è stato necessario scomporre l'elaborazione in più parti ed unirle al termine, utilizzando vari chunk (livelli).

La creazione di mesh e la texturizzazione sono state effettuate come descritto per il piano interato, effettuando la procedura sul software Photoscan.



Figura 52 - Nuvola densa derivante dall'allineamento automatico.



Figura 53 - Vista superiore della nuvola densa completa.

Passerella superiore

È stata poi effettuato un lavoro più di dettaglio per rappresentare esclusivamente la passerella. Come primo passo, per garantire una buona pulizia degli spigoli della passerella, è stata mascherata la porzione di ogni immagine raffigurante il cielo. In questo modo il software non prenderà in considerazione quei dati. Successivamente è stato necessario esportare la nuvola Photoscan su un altro software (3DReshaper) per poterne sviluppare la mesh e farne una rifinitura in due passaggi: nella prima vengono aggiunti alla mesh dei punti estrapolati dalla nuvola e nella seconda vengono aggiunti altri punti, non derivanti dal rilievo, che vengono inseriti tra i precedenti per creare superfici più lineari, lo stesso procedimento applicato anche nel piano interrato.

È stato necessario eliminare tutti quei punti generati in posizione incongrua e che avrebbero poi contribuito alla creazione di una mesh non corretta. È stato inoltre necessario segmentare la mesh al fine di definire le esatte direzioni di lettura delle superfici per ottimizzare la texture che verrà poi applicata. Sono state poi colmate le lacune presenti. Queste fasi, come precedentemente descritto, sono state effettuate sul software 3DReshaper.

La superficie mesh è stata poi importata nuovamente su Photoscan e da qui è stata poi texturizzata utilizzando le informazioni già presenti nel software.

Un limite tecnico riscontrato nello sviluppo delle superfici del tetto a due falde è senza dubbio il fatto che, quando si genera la mesh, quest'ultima presenta una faccia principale (fronte) e un retro (che non viene texturizzato). Il fronte dovrebbe essere rivolto all'esterno perché se così non fosse non sarebbe texturizzato correttamente. Il problema si presenta nel momento in cui la superficie si "torce" su se stessa ed alcune parti della mesh sono rivolte nella direzione corretta ed altre no. Il software offre la possibilità di invertirle, ma è prima necessario separare manualmente tutte le parti da modificare.

La texture generata si è rivelata immediatamente di buona qualità, senza necessitare di ulteriori ritocchi o di modellazioni successive.

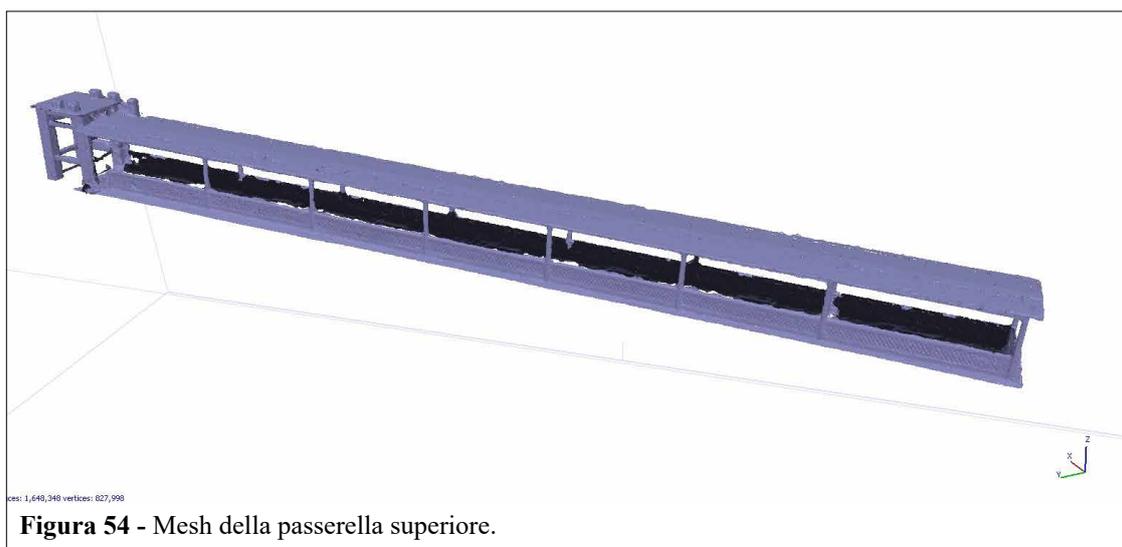


Figura 54 - Mesh della passerella superiore.



Elaborazione finalizzata alla creazioni di ortofoto e DEM

Parallelamente al modello su Photoscan, ne è stato creato un altro sul software Pix4D, perché si sono riscontrate differenze di elaborazione per la creazione di ortofoto e modelli DEM. Visti i due risultati ed i livelli di precisione del secondo software, si è preferito quest'ultimo per la parte che segue. Una volta generata la nuvola densa e georeferita, con i metodi utilizzati anche in precedenza e verificata la precisione ottenuta, può essere elaborata l'ortofoto dell'area, in questo caso riguardante il paraboloide ed il piazzale antistante.



Figura 56 - Identificazione delle posizioni successive della camera (centri di presa) durante il volo del drone.

Per la georeferenziazione si è ricorso all'individuazione di marker posizionati a terra dei quali sono state preventivamente rilevate le coordinate per mezzo di stazione totale. Durante la fase di allineamento delle immagini sono state definite le posizioni dei marker e sono state loro attribuite le corrispondenti coordinate.

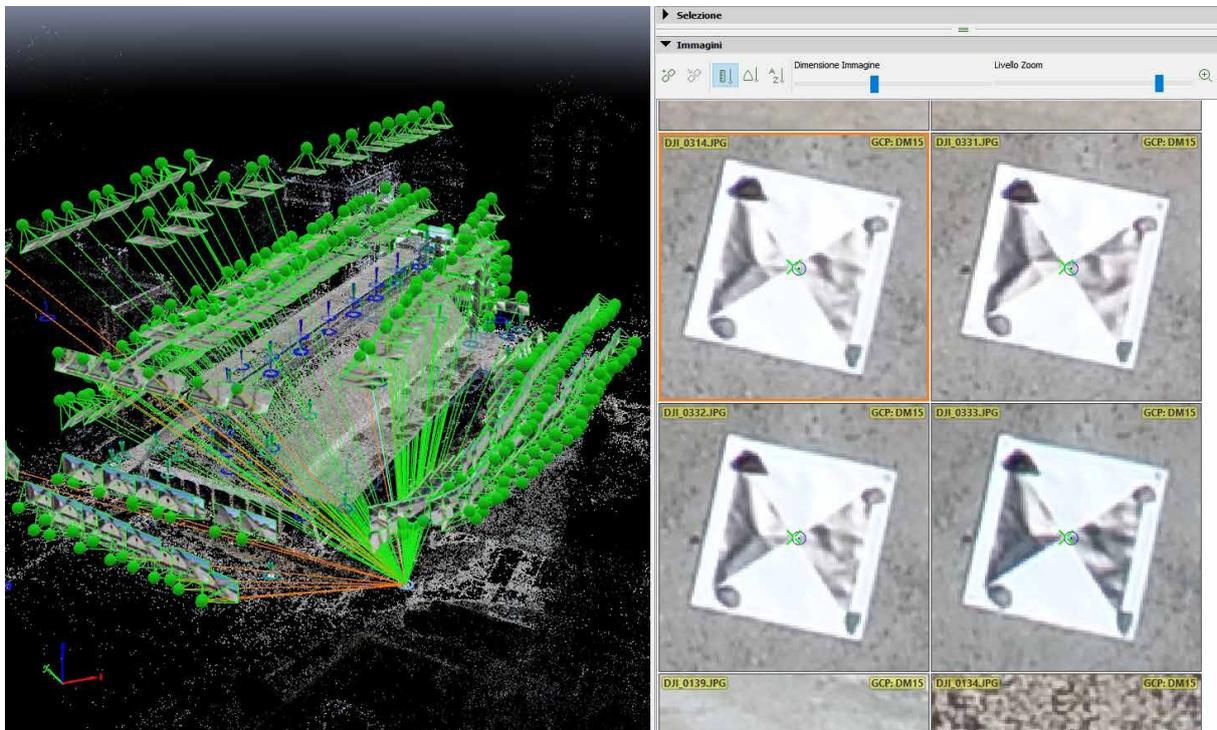


Figura 57 - Fase di identificazione marker ed inserimento delle coordinate.



Figura 58 - Ortofoto georeferita.

Sempre dal modello fotogrammetrico è poi stato estratto un DSM generale dell'aera attraverso il quale sarà possibile evidenziare alcuni particolari caratteristiche della struttura. Sono stati sviluppati differenti elaborati (con range d'analisi variabili, si veda la legenda) al fine di mostrare con maggiore chiarezza diversi aspetti d'interesse.

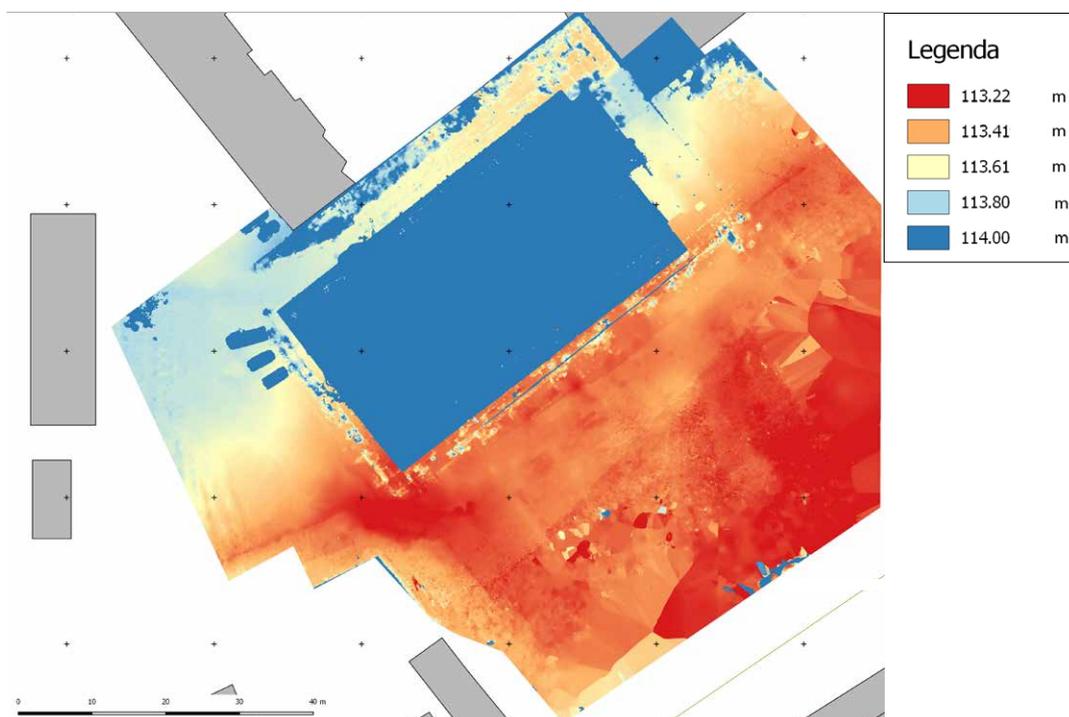


Figura 59 - DEM incentrato sull'analisi del piazzale.

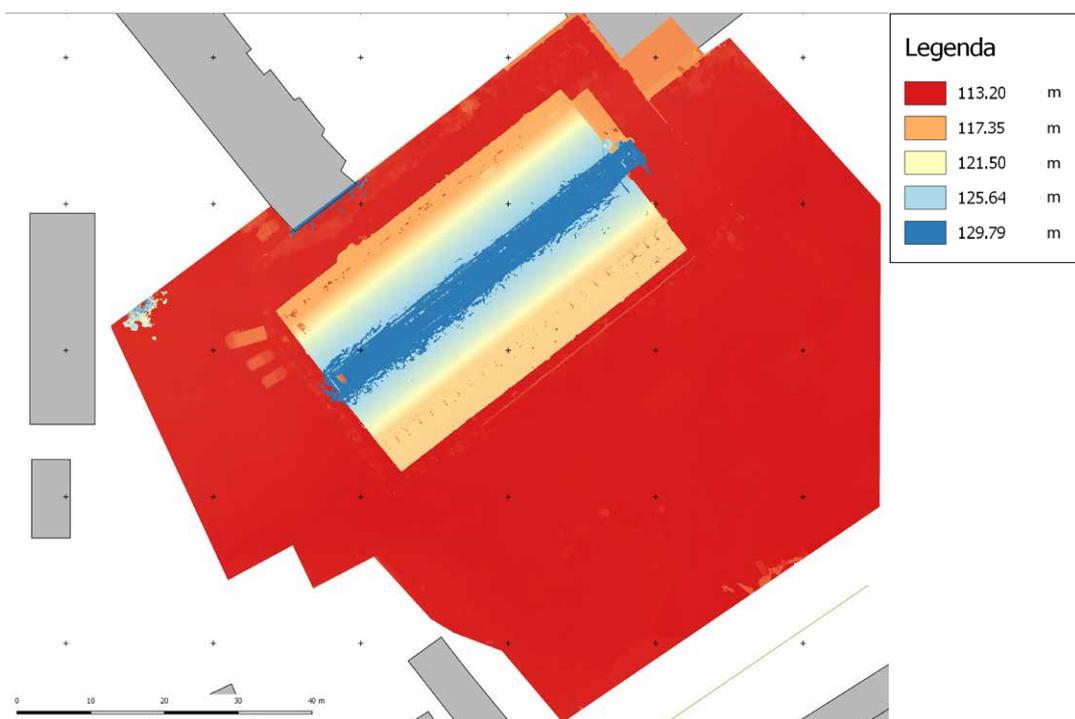


Figura 60 - DEM incentrato sulla volta del paraboloide.

Dati di analisi dei voli effettuati:

Il GSD è pari a 0,58 cm.

374 fotogrammi orientati per ottenere una densità di circa 5000 punti per m³, per un totale di più di 138 milioni di punti.

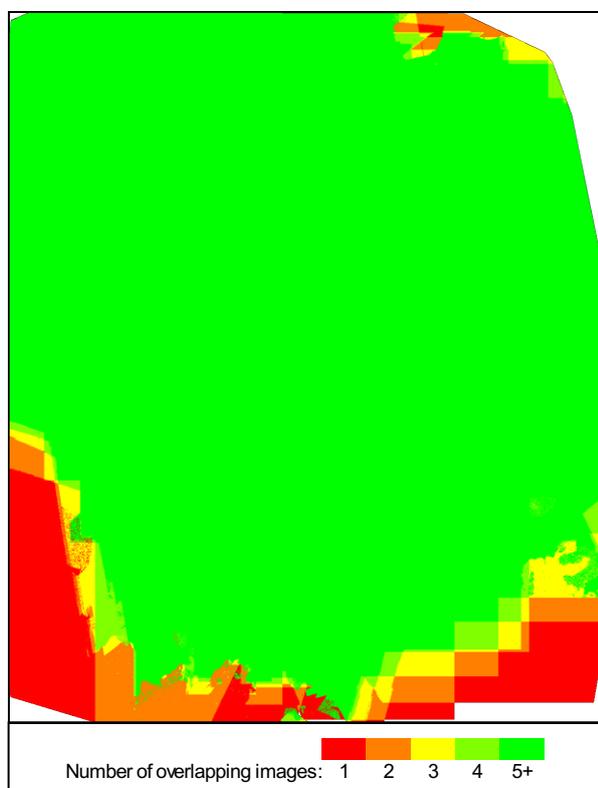


Figura 61 - *Overlapping delle immagini elaborate, Pix4D.*

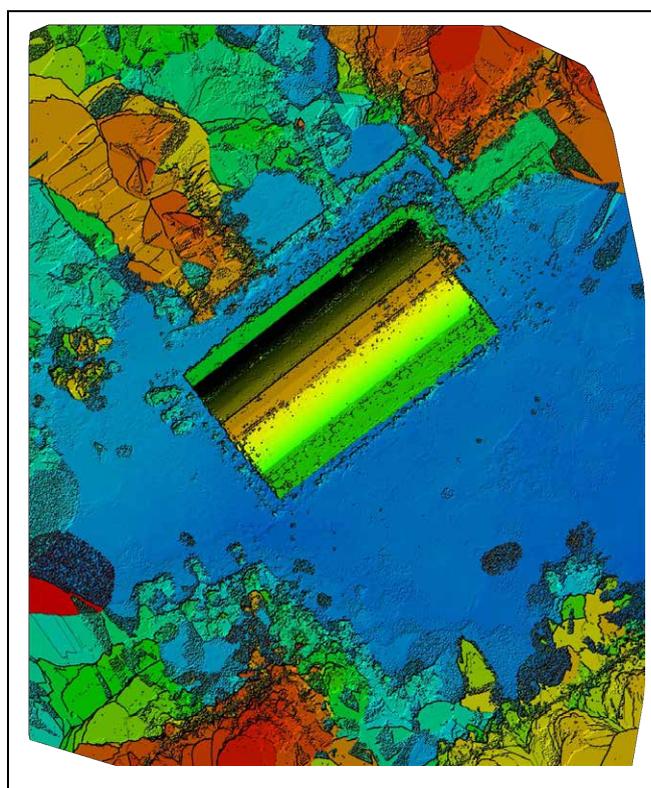


Figura 62 - *DSM dopo l'infittimento della nuvola di punti, elaborazione con Pix4D.*

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
DA3 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.005	0.000	0.460	12/12
DA5 (3D)	0.020/0.020	0.007	0.001	0.007	0.694	13/13
DA6 (3D)	0.020/0.020	0.016	-0.015	0.005	0.994	12/14
DA8 (3D)	0.020/0.020	0.010	-0.003	0.002	1.024	14/15
DA9 (3D)	0.020/0.020	0.008	0.003	-0.008	0.439	14/14
DA10 (3D)	0.020/0.020	0.004	0.009	0.003	0.380	12/12
DA11 (3D)	0.020/0.020	-0.004	0.002	0.000	0.620	12/12
DA14 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.002	-0.004	0.461	15/15
DA16 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.006	0.000	0.364	6/6
DA17 (3D)	0.020/0.020	-0.006	0.003	-0.000	0.276	11/11
DC1_1 (3D)	0.020/0.020	0.006	-0.005	0.007	0.579	3/3
DC3 (3D)	0.020/0.020	-0.012	-0.018	-0.009	0.369	15/15
DC4 (3D)	0.020/0.020	0.009	0.005	-0.004	1.536	11/11
DC6 (3D)	0.020/0.020	-0.021	-0.024	-0.008	0.488	13/13
DC7 (3D)	0.020/0.020	-0.013	-0.011	-0.008	0.713	9/9
DC8 (3D)	0.020/0.020	-0.016	-0.008	-0.009	0.208	11/11
DM9C (3D)	0.020/0.020	0.006	-0.012	-0.014	0.221	15/15
Mean [m]		0.000006	0.000156	-0.000000		
Sigma [m]		0.009060	0.010010	0.008443		
RMS Error [m]		0.009060	0.010012	0.008443		

Figura 63 - *Precisione dell'orientamento misurata rispetto ai punti di controllo.*

L'errore medio riscontrato è di 9 mm.

5.4.5 Restituzione degli elaborati ed osservazioni

Per le operazioni di fotogrammetria sulle superfici esterne sono stati effettuati dei voli ad una distanza relativa dall'oggetto utile per un'elaborazione dell'edificio nel suo complesso, infatti la mesh e la relativa texture globale, si presentano adatti allo scopo di visualizzare il paraboloide nel suo insieme.

Le potenzialità offerte dall'uso di droni UAV sono qui apparse chiare, in quanto non sarebbe stato possibile in altro modo scattare fotografie da quelle determinate posizioni. Il rilievo e la modellazione della passerella in particolare non erano stati effettuati in modo così completo nel 2012 proprio per questi problemi di accesso.

In questo caso, data la precisione prefissata, non è stato necessario, ma per un'analisi più approfondita i droni potrebbero volare all'interno della passerella stessa, sempre ovviamente in modalità manuale, per acquisire ulteriori fotogrammi di maggiore dettaglio, senza richiedere l'utilizzo di scale o piattaforme aeree.



Figura 64 - *Modello fotogrammetrico texturizzato del paraboloide.*



Figura 65 - Vista interna del modello fotogrammetrico del corridoio A-B.



Figura 66 - Dettaglio del modello fotogrammetrico.



Figura 67 - Modello texturizzato della passerella superiore.

5.5 Sistema GIS

5.5.1 Georeferenziazione dell'ortofoto

L'ortofoto ottenuta tramite elaborazione fotogrammetrica che rappresenta il paraboloide e la zona limitrofa, essendo stata generata in un ambiente virtuale e georeferita in base ai vari marker e vertici, è posizionata nella sua precisa posizione nello spazio.

Utilizzando il software QGIS è stato possibile importare questa ortofoto precedentemente georeferita, opportunamente scontornata delle parti prive di significato, in un ambiente digitale con stesso sistema di riferimento, avendo così poi la possibilità di inserire shape files differenti per analizzare alcuni aspetti.

Nello stesso file sono state importate la carte tecnica in formato raster estratta dal geoportale della Regione Piemonte rappresentante il Comune di Casale Monferrato ed i vari shape files rappresentanti gli ambiti d'interesse per un buon inquadramento territoriale (assi viari, edifici, corsi d'acqua, ecc). Sono stati utilizzati entrambi i formati per garantire una buona risoluzione in fase di stampa.

Da questo file sono state così estratte le rappresentazioni di inquadramento territoriale in scala 1:5000 e 1:10000 presenti nel capitolo 4 e le tavole delle ortofoto. Come si può notare, sono stati riportati entrambi i sistemi di riferimento, quello assoluto e quello troncato (è stata effettuata una troncatura di coordinate al fine di rendere più snelli i processi di elaborazione).

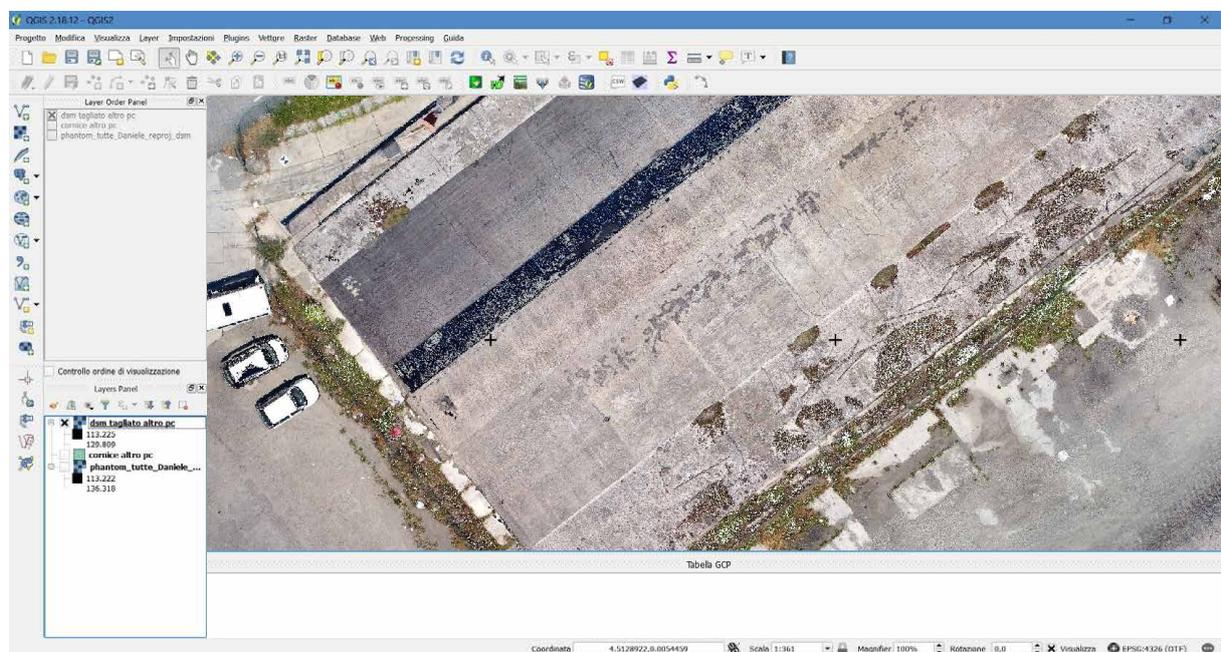
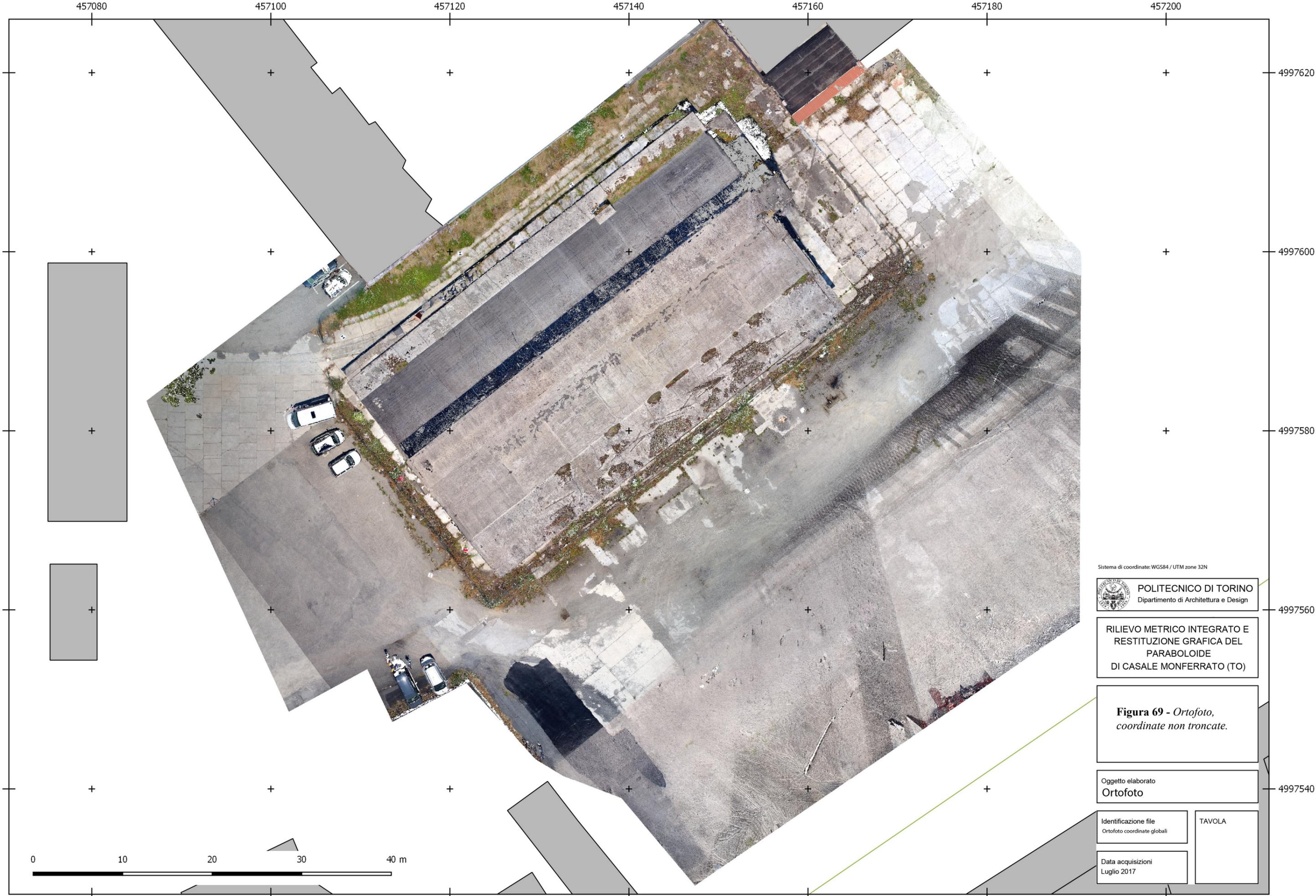


Figura 68 - Importazione in ambiente GIS dell'ortofoto. Software QGIS.



Sistema di coordinate: WGS84 / UTM zone 32N



POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

Figura 69 - Ortofoto,
coordinate non troncate.

Oggetto elaborato
Ortofoto

Identificazione file
Ortofoto coordinate globali

Data acquisizioni
Luglio 2017

TAVOLA



Sistema di coordinate locale
 Troncature applicate:
 X: -457000
 Y: -4997000

 **POLITECNICO DI TORINO**
 Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
 RESTITUZIONE GRAFICA DEL
 PARABOLOIDE
 DI CASALE MONFERRATO (TO)

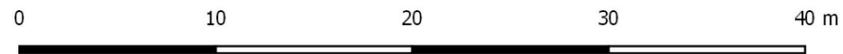
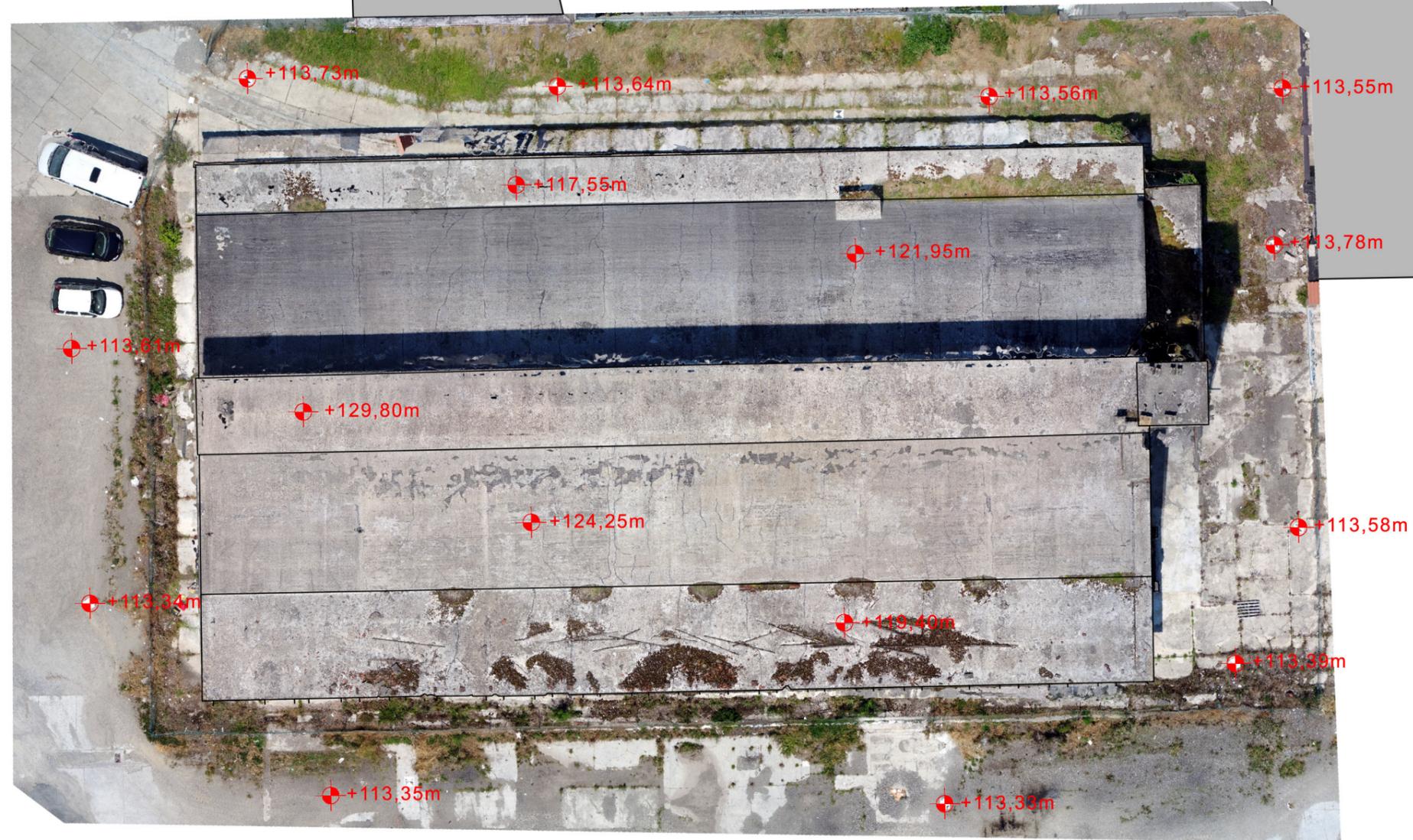
Figura 70 - Ortofoto,
coordinate troncate.

Oggetto elaborato
Ortofoto

Identificazione file
 Ortofoto coordinate troncate

Data acquisizioni
 Luglio 2017

TAVOLA



 POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

Figura 71 - Ortofoto,
con quote.

Oggetto elaborato
Ortofoto

Identificazione file
Ortofoto Ritagliata Pianta Tetto

Data acquisizioni
Luglio 2017

TAVOLA

5.5.2 Digital Elevation Models

Nello stesso ambiente GIS è stato inserito e georiferito anche il modello DEM elaborato mediante il software Pix4D.

Il DEM si presenta come una rappresentazione delle altimetrie presenti nell'aera analizzata ed offre la possibilità di discretizzare l'analisi altimetrica scegliendo i range di analisi ed i relativi colori di rappresentazione.

Procedendo in questo modo sono stati effettuati due focus su due differenti aspetti: la copertura del paraboloide e l'andamento della superficie del piazzale.

Per l'analisi dell'andamento della curva parabolica seguendo la quale è stato eretto l'edificio in esame, sono state adottate come quote estreme di analisi e rappresentazione mediante colori la quota minima e quella massima presenti nel DEM.

In questo modo è facilmente osservabile l'andamento lineare della curva.

Il modello elaborato per il DEM presenta comunque delle imprecisioni di calcolo nella parte della passerella, che infatti è contornata da una certa quantità di "rumore" dovuto all'approssimazione effettuata dal software nell'analisi dei pixel del tetto a contatto con i pixel del cielo.



Figura 72 - Foto aerea della copertura, lato nord.

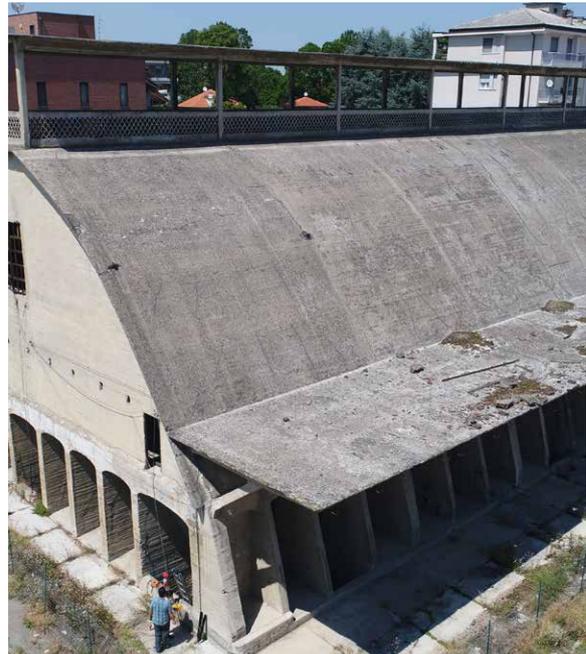
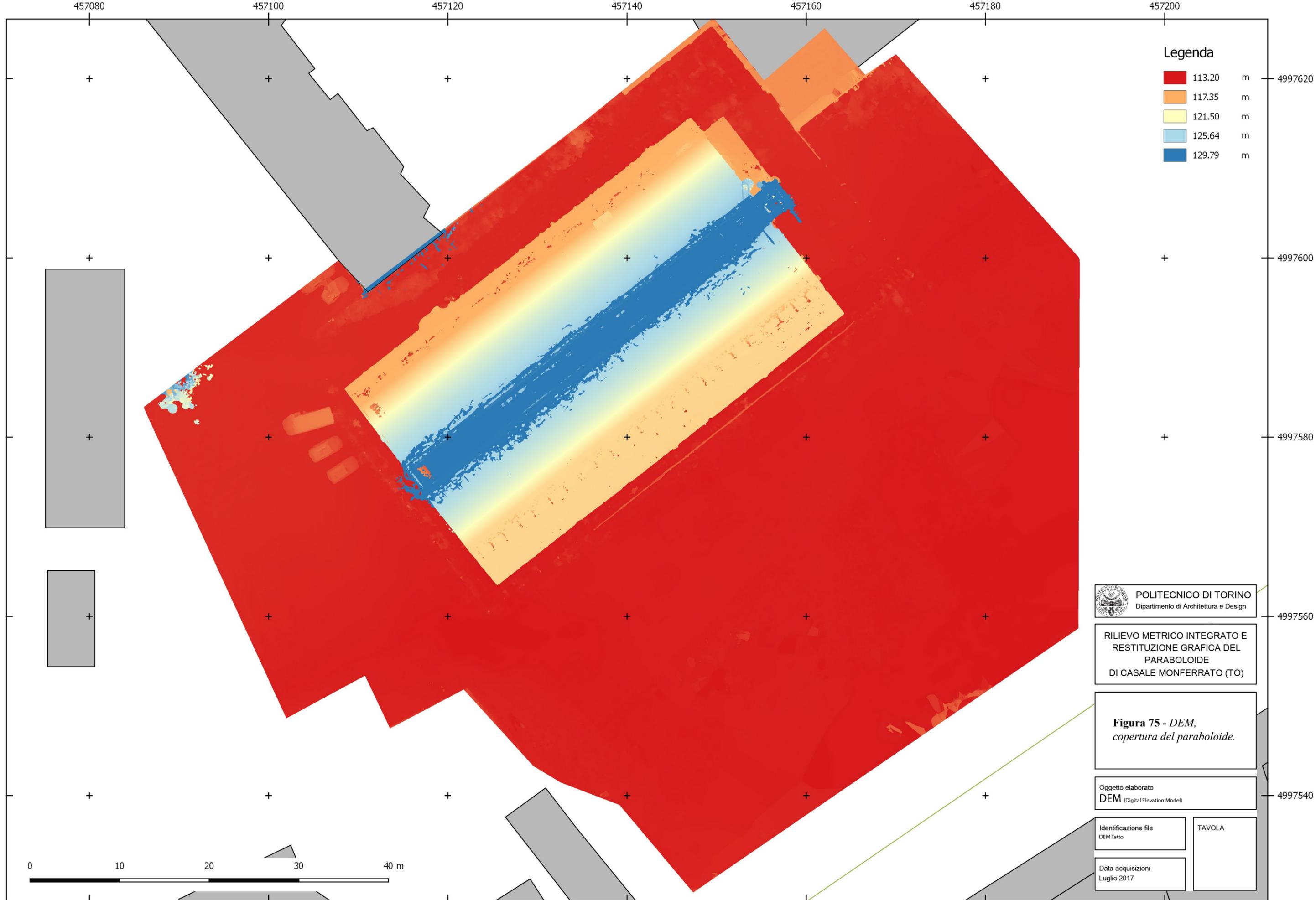


Figura 73 - Foto aerea della copertura, lato sud.



Figura 74 - Foto aerea della della passerella.



Legenda

- 113.20 m
- 117.35 m
- 121.50 m
- 125.64 m
- 129.79 m

 **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

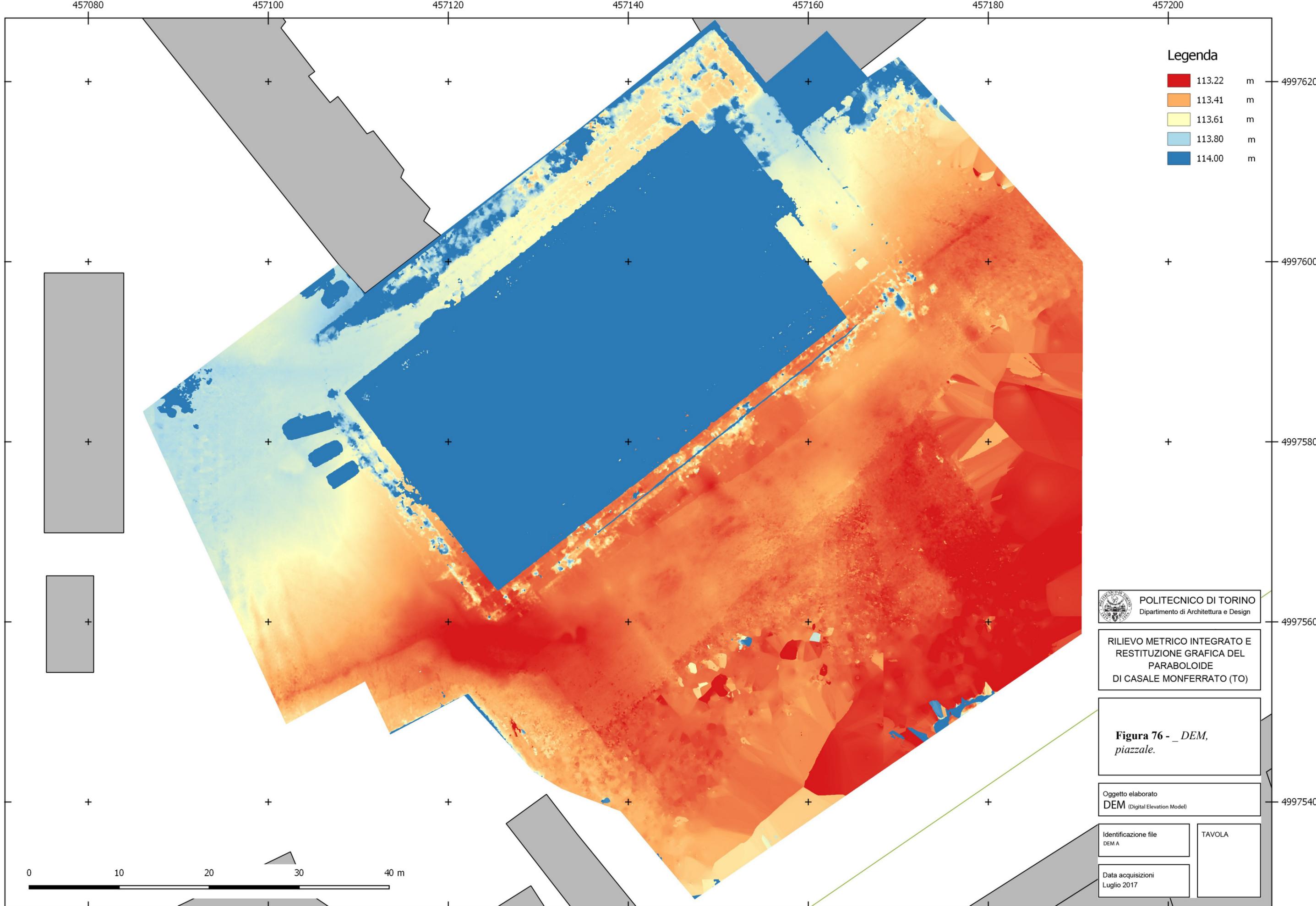
Figura 75 - DEM,
copertura del paraboloide.

Oggetto elaborato
DEM
(Digital Elevation Model)

Identificazione file
DEM Tetto

TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017



Legenda

- 113.22 m
- 113.41 m
- 113.61 m
- 113.80 m
- 114.00 m

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

RILIEVO METRICO INTEGRATO E
RESTITUZIONE GRAFICA DEL
PARABOLOIDE
DI CASALE MONFERRATO (TO)

**Figura 76 - _DEM,
piazzale.**

Oggetto elaborato
DEM
(Digital Elevation Model)

Identificazione file
DEM A

TAVOLA

Data acquisizioni
Luglio 2017

5.6 Considerazioni riguardo le tecniche impiegate

Durante queste fasi si sono potute notare situazioni particolari che possono essere di spunto per alcune considerazioni.

Per quanto riguarda il piano interrato, la tecnica fotogrammetrica si è rivelata meno efficace delle scansioni laser. Per poter creare un modello del corridoio A-B infatti è stato necessario effettuare molteplici riprese fotografiche con l'ausilio di illuminazione dedicata e, sebbene sia stato garantito un buon ricoprimento, si è rivelato molto complesso e dispendioso ottenere un buon allineamento delle acquisizioni e, come si è visto, si è dovuto ricorrere all'inserimento manuale di punti per effettuare questa operazione. Il laser scanning invece, seppur abbia richiesto tempo per effettuare tutte le scansioni, con la presenza del giusto numero di marker si è rivelato la tecnica vincente per questo tipo di lavoro. Sicuramente gli spazi ristretti hanno favorito la qualità del rilievo, che presenta una buona distribuzione di punti ed una resa ottimale.

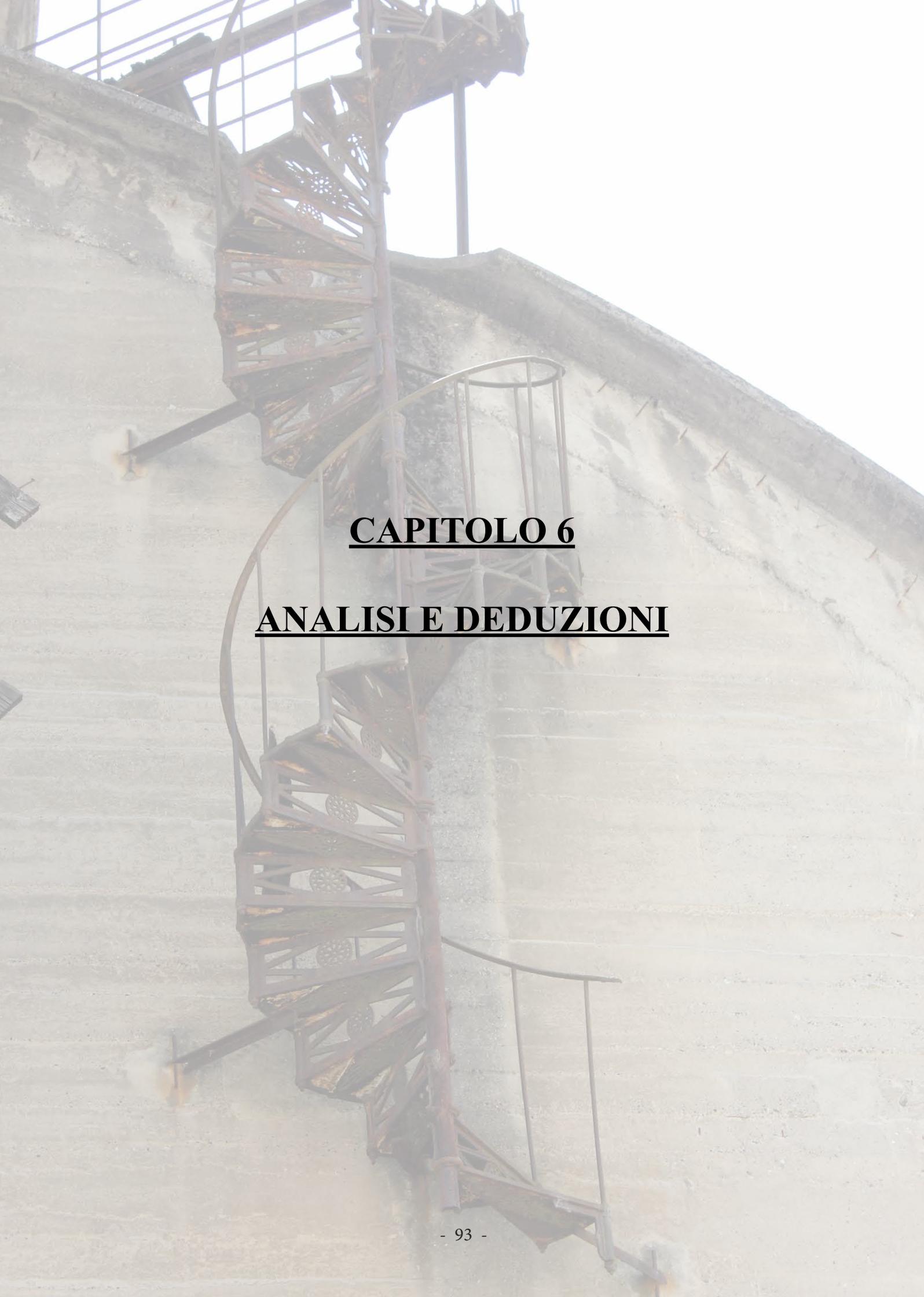
La tecnologia SLAM adottata in questo caso si è rivelata ottime per due scopi principali:

- avere un rilievo d'insieme delle geometrie di un oggetto del rilievo, generale e non con grande precisione (l'errore generale di chiusura si è attestato a 4cm) ma sicuramente utile in caso di elaborati a scala circa 1:200, dove la mancanza di particolari dati non compromette la qualità dei lavori

- ottenere un rilievo in tempi molto rapidi, in confronto ad un laser scanner fisso, con il quale poterne completare uno di dettaglio. In questo caso infatti, dati comunque i lunghi tempi di acquisizione dei laser scanner e la permanenza in loco limitata, non state effettuate scansioni in ogni parte del paraboloide (per quanto riguarda il piano interrato). Lo strumento Zeb Revo ha così permesso, in tempi rapidi e contemporanei alle altre acquisizioni (avendo ovviamente campo libero intorno allo strumento) di ottenere la geometria complessiva dei corridoi.

Durante la fase di restituzione è stato fondamentale possedere questi dati per completare alcune porzioni che non erano state coperte sufficientemente dal rilievo laser.

Le varie procedure di georeferenziazione mediante l'acquisizione delle coordinate dei marker e dei vertici hanno svolto un ruolo fondamentale per poter unire il rilievo qui descritto con quello effettuato nel 2012. Rendendo così possibile ottenere elaborazioni complete dell'edificio.



CAPITOLO 6

ANALISI E DEDUZIONI

6.1 Mappatura degli elementi metallici presenti

Il piano interrato presenta, nei corridoi, numerosi elementi metallici sporgenti dalle pareti. Si tratta di ciò che resta dei vecchi impianti di trasporto e lavorazione del cemento, recisi in tempi più recenti per liberare spazio.

Possono essere individuate differenti tipologie di elementi metallici, che si ripropongono più volte ed in maniera modulare.

Utilizzando le sezioni con le immagini derivanti dal software Pointcab, per classificarli ed analizzarli al meglio, è stato elaborato un progetto GIS nel quale, riferendosi alla planimetria, sono stati posizionati puntualmente tutti gli elementi oggetto d'indagine e sono stati attribuiti loro delle determinate caratteristiche.

In questo caso l'analisi mira alla definizione della tipologia (si veda la legenda che segue gli elaborati) ed alla pericolosità immediata, intesa come possibilità di danno a cose o persone che possono transitare in quegli spazi. Nello specifico, agli elementi posti ad un'altezza inferiore ai due metri, è stata assegnata un pericolosità alta, mentre a quelli al di sopra di tale soglia è stata attribuita una pericolosità bassa.

Per l'assegnazione degli attributi, sono state inserite caratteristiche numeriche.

Per la tipologia è stata impiegata una numerazione da 1 a 12, mentre per la pericolosità è stato attribuito il valore 1 se alta e 0 se bassa.

Quest'analisi ha molteplici utilità:

a) Evidenziare i maggiori fattori di rischio (inteso come possibilità di lesione personale) sui quali è necessario intervenire immediatamente.

b) Realizzare una mappatura di questo tipo consente di effettuare interventi mirati e consapevoli rivolti alla messa in sicurezza o all'asportazione degli elementi metallici. Confluisce quindi anche nell'analisi dei degradi.

c) Dopo aver inserito tutti i dati e potendoli osservare in relazione tra di loro, rappresentati su di una planimetria, è possibile notare alcune simmetrie o modularità legate alla presenza di questi elementi metallici.

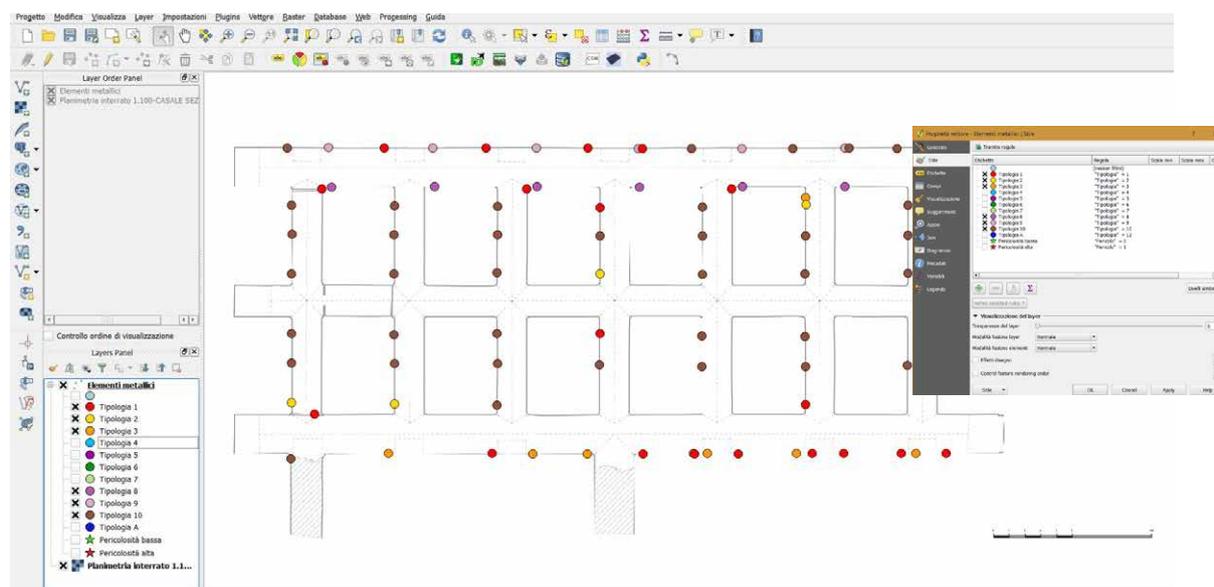


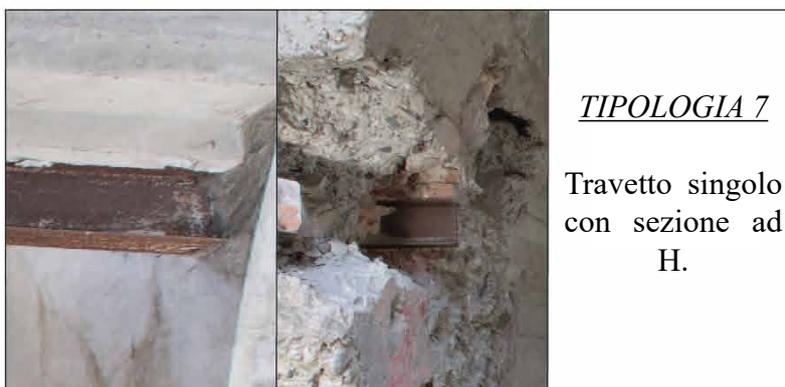
Figura 1 - Inserimento dei dati nel progetto GIS. Software QGIS.

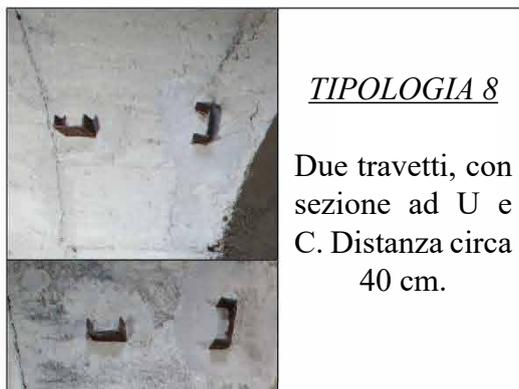
Legenda tipologica degli elementi metallici analizzati

Sono stati catalogati gli elementi metallici principali presenti nel piano interrato.

Le tipologie identificano una diversa conformazione con la quale si presentano gli oggetti qui trattati. In alcuni casi una tipologia comprende al suo interno più di un elemento ma, data la presenza di un modulo costante e ripetitivo, sono stati accorpati. La tipologia A è l'unica che presenta tondini metallici che in passato erano, come si vedrà dall'analisi dei risultati, collegati tra loro. Alcuni elementi non sono più presenti perchè rimossi, in particolare si può fare riferimento al paragrafo che tratta l'analisi dei degradi per un esempio sul corridoio A-B.







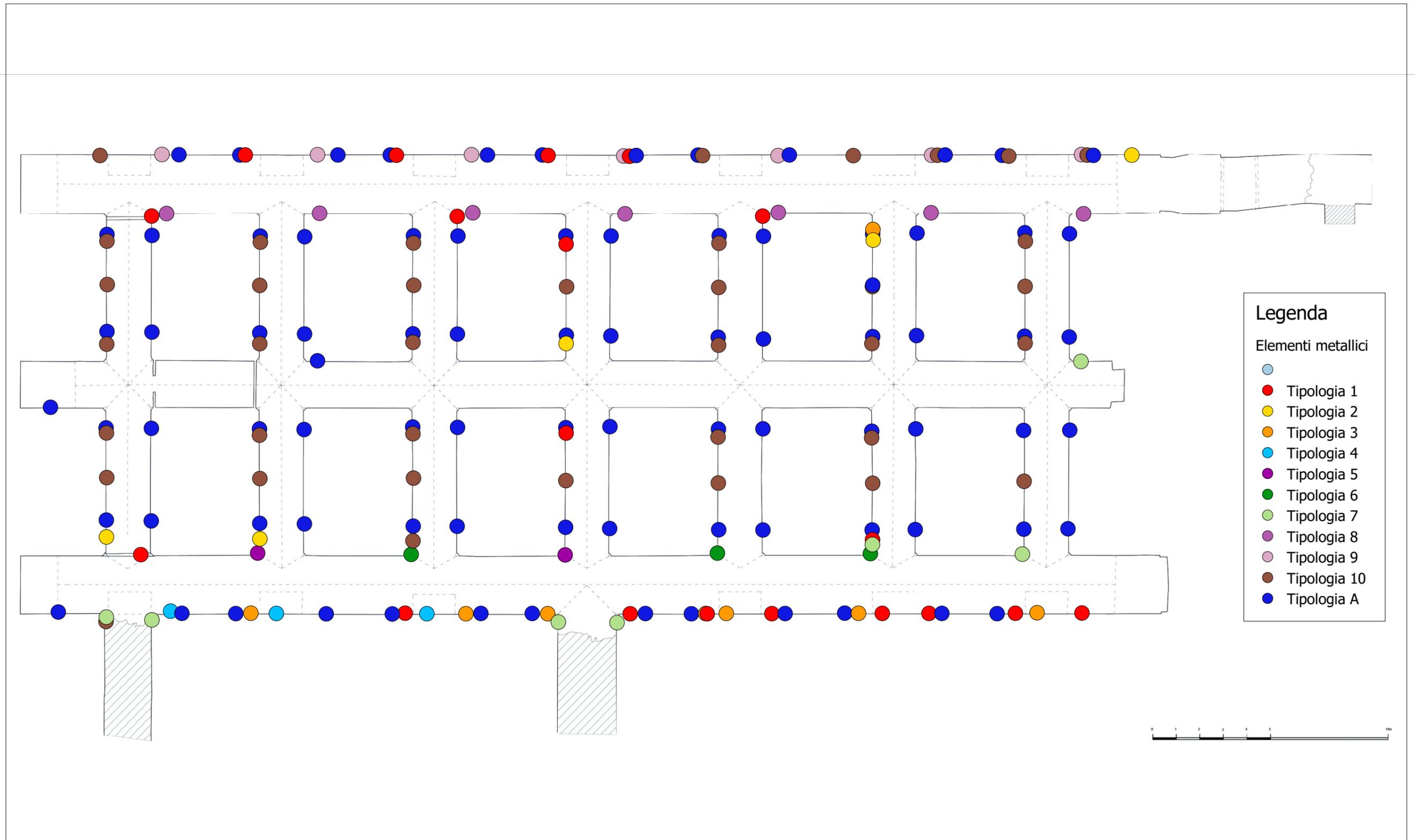


Figura 2 - Rappresentazione delle tipologie di elementi metallici presenti. Elaborato con software QGis.

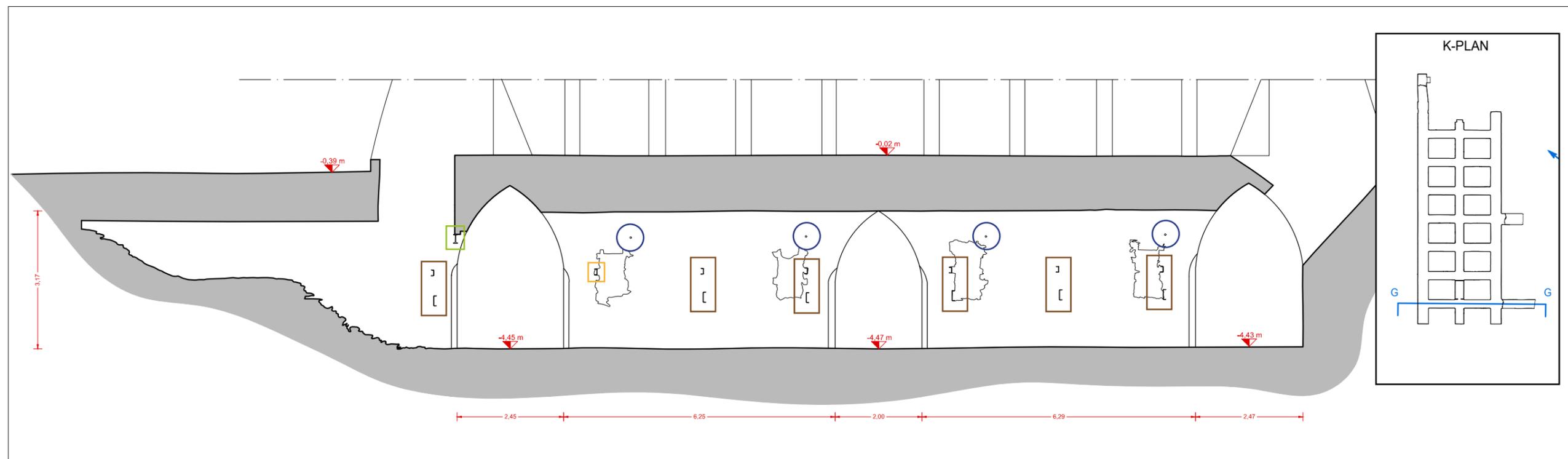


Figura 3 - Sezione G-G, rappresentazione degli elementi metallici in alzato.

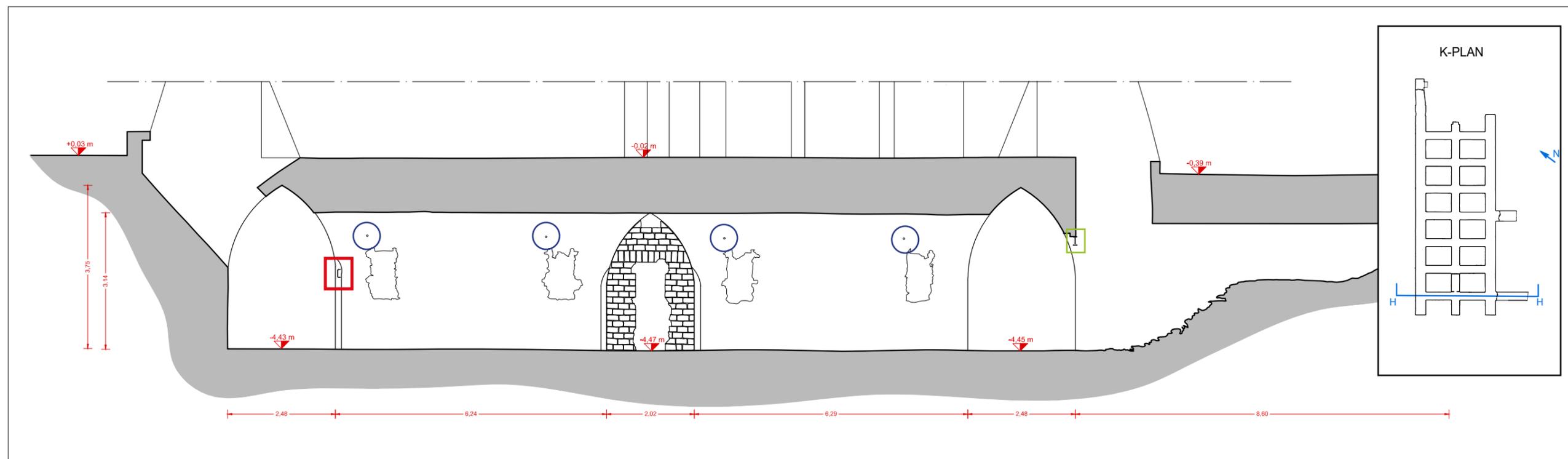


Figura 4 - Sezione L-L, rappresentazione degli elementi metallici in alzato.

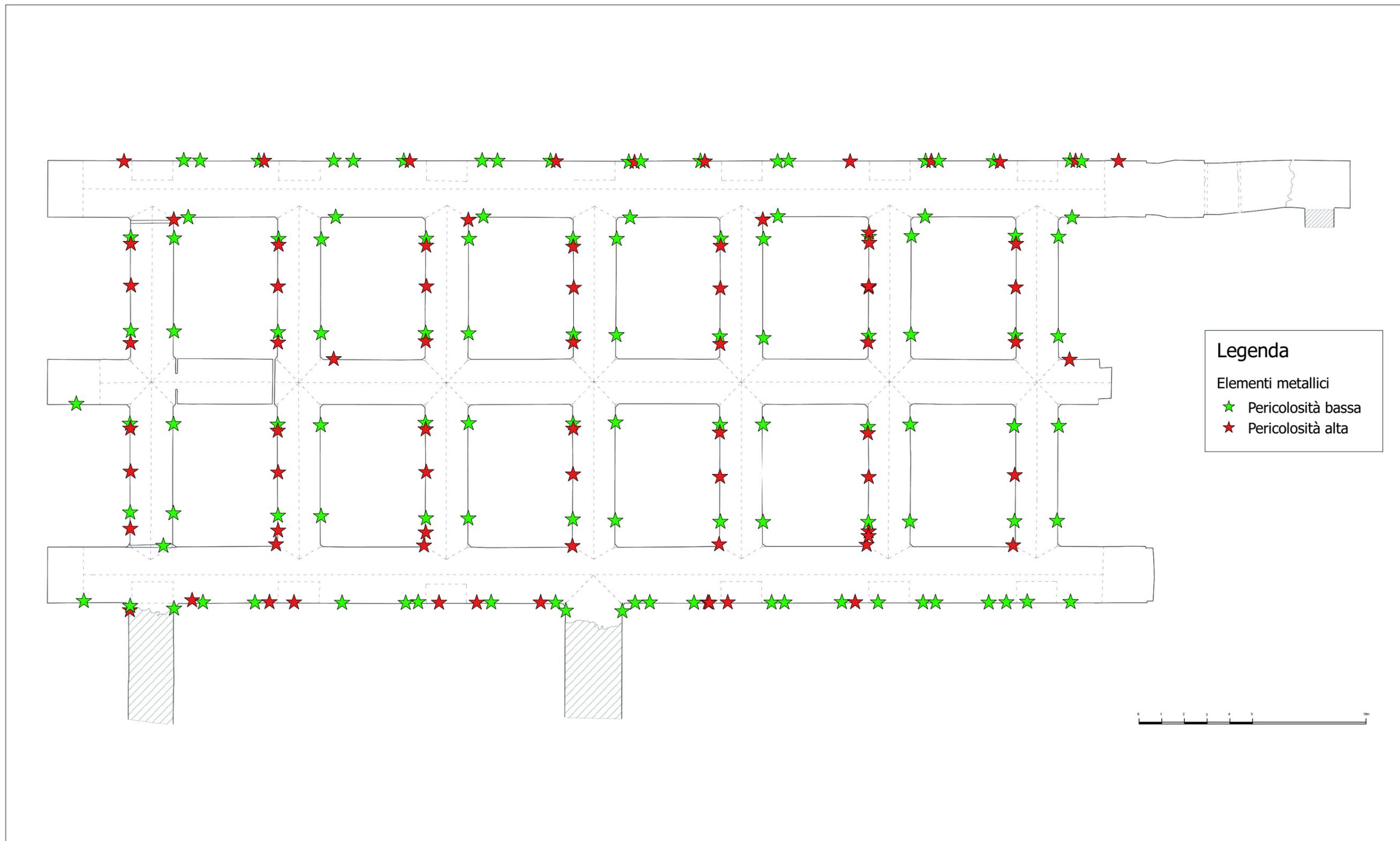


Figura 5 - Rappresentazione della pericolosità degli elementi metallici presenti. Elaborato con software QGis.

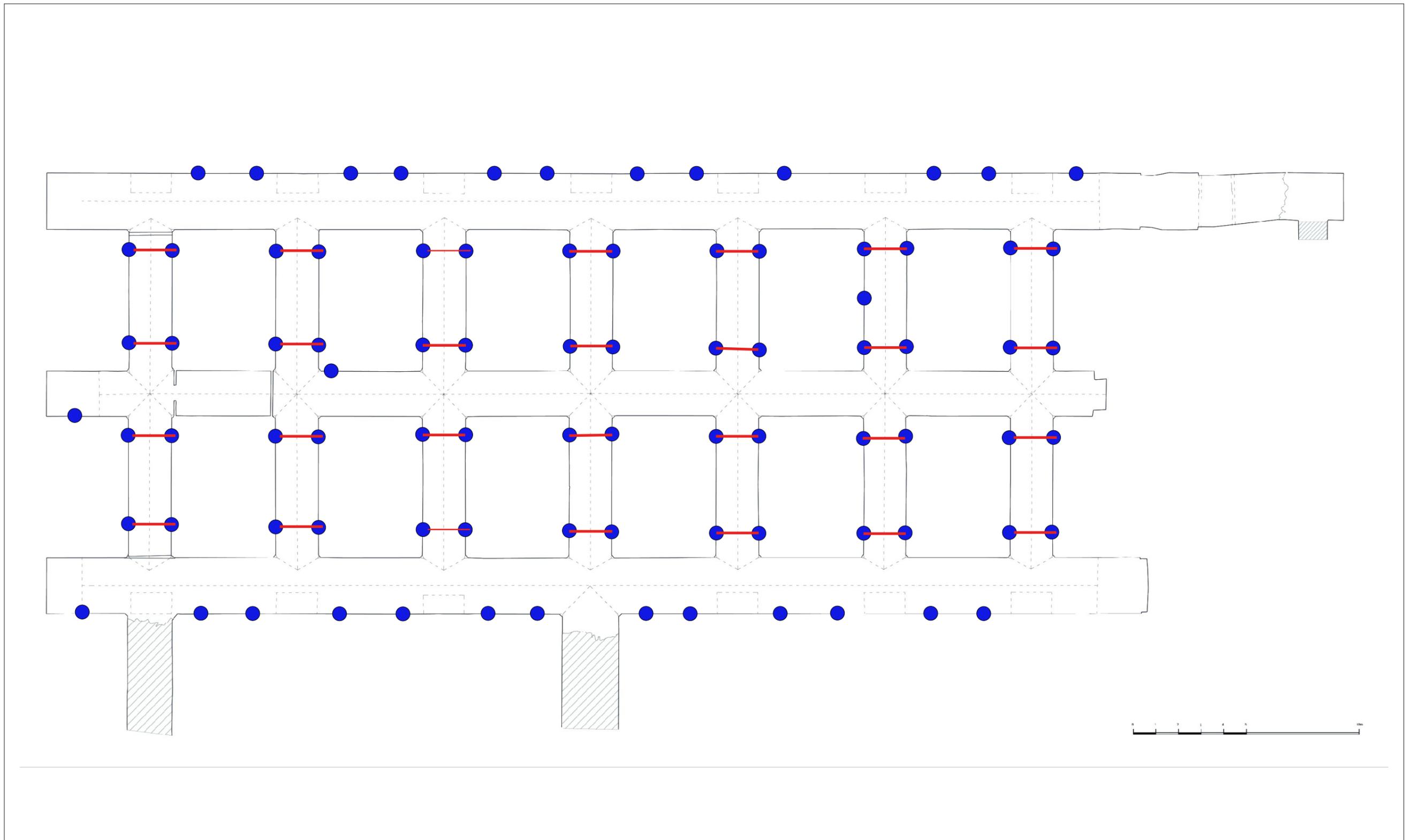


Figura 6 - Ipotesi della presenza di tiranti metallici. In blu l'elemento caratteristico rilevato ed in rosso l'ipotesi di un loro collegamento.

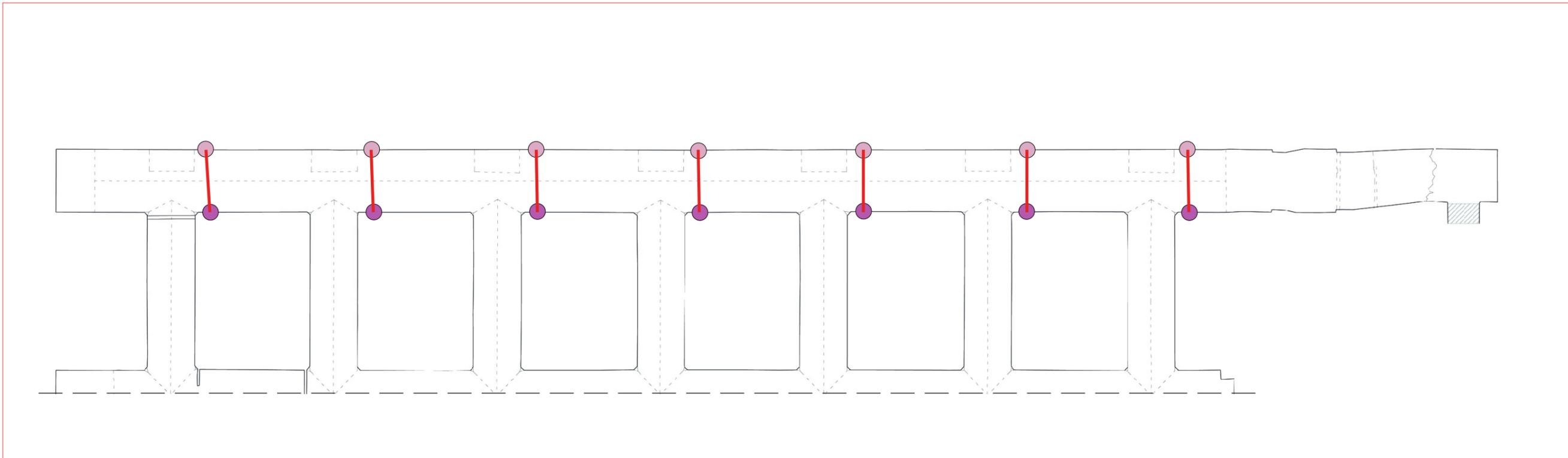


Figura 7 - Simmetria di posizionamento delle tipologie 8 e 9. Dato che presentano lo stesso profilo, l'ipotesi è che in origine fossero collegati (rosso).

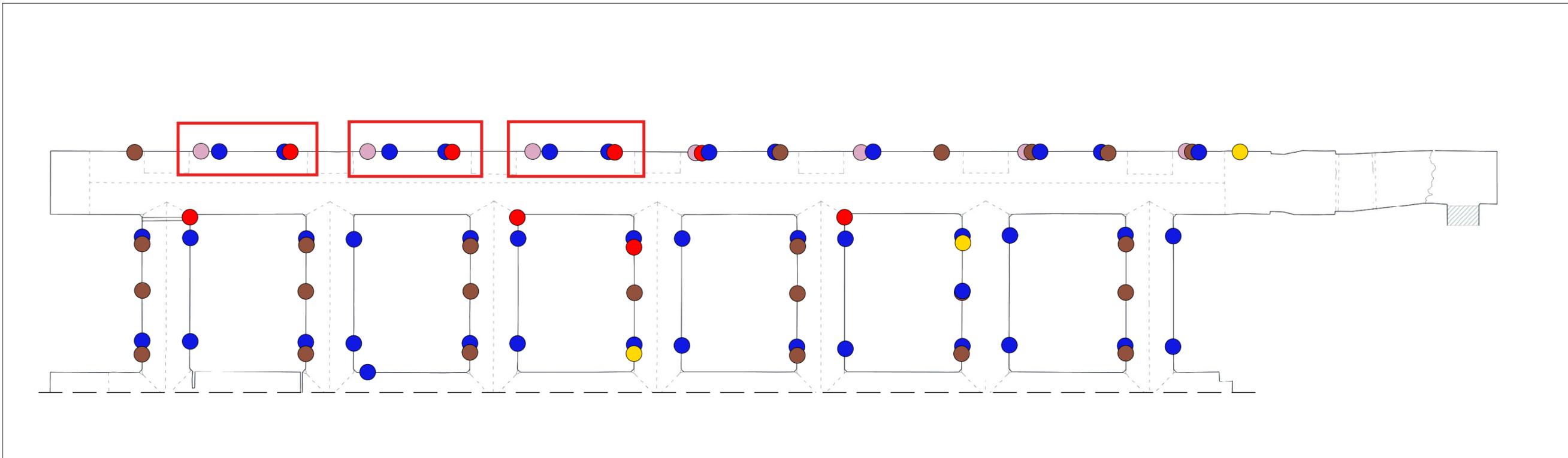


Figura 8 - Modularità riscontrata nel corridoio E-F (rosso).

6.1.1 Osservazioni derivanti dall'analisi

La creazione del progetto GIS e le successive interrogazioni hanno permesso di notare alcune particolarità legate alla distribuzione degli elementi metallici.

Innanzitutto appare evidente come nei corridoi trasversali sino presenti in modo ripetitivo e senza presentare eccezioni tondini metallici (tipologia A). Le ipotesi legate alla loro presenza sono sostanzialmente due: una di carattere strutturale e l'altra legata alla produzione industriale. Nel primo caso, si può pensare che questi tondini filettati fossero in origine collegati a due a due (come mostrato nella planimetria a riguardo) ed avessero la funzione di tiranti con scopo strutturale. Sarebbero infatti potuti servire ad evitare cedimenti laterali delle volte e delle pareti dei corridoi dove sono presenti dato che erano sottoposte al carico del clinker depositato al di sopra di esse.

Altra ipotesi è invece che si tratti di elementi metallici legati alla presenza in origine dei binari per i carrelli di trasporto del materiale, per esempio per ancorarli in modo saldo alle pareti o per fissare in sospensione qualche tipo di oggetto legato alla produzione del cemento.

Altra peculiarità che salta immediatamente all'occhio è la corrispondenza della tipologia 8 con la tipologia 9, posti uno di fronte all'altro e che quindi molto probabilmente si trattava in origine di un unico travetto anch'esso destinato allo spostamento di materiale o per ancoraggi vari. Sempre nel corridoio E-F si possono notare alcune modularità, come mostrato nella planimetria dedicata. Anche in questo caso si tratta molto probabilmente di staffe o appoggi per elementi o macchinari di produzione del cemento.

Per quanto riguarda i rischi legati alla possibile pericolosità degli elementi metallici, non se ne può definire un'area particolarmente soggetta, in quanto sono diffusi in modo omogeneo in tutto il piano interrato.

Pare quindi d'obbligo, prima di poter consentire l'accesso pubblico a persone per qualsiasi motivo, mettere in sicurezza questi elementi, che si presentano generalmente in stato di degrado, con la presenza di ruggine e taglienti.

Le possibilità d'intervento possono essere l'asporto o il recupero.

Con l'asporto si perderebbero ancora maggiori testimonianze storiche di quello che il paraboloide è stato, mentre con un corretto recupero si potrebbero creare particolari suggestioni ed utilizzare in modo funzionale questi elementi (per esempio come agganci in occasione di mostre).

6.2 Applicazione per l'individuazione e l'analisi dei degradi

Una delle applicazioni delle elaborazioni fotogrammetriche è sicuramente il loro uso al fine di mappare i vari degradi presenti in un ambiente.

In questo caso è stata utilizzata la mesh texturizzata del corridoio A-B derivante dal rilievo fotogrammetrico che è stata opportunamente separata in due parti lungo l'asse longitudinale e delle quali sono state estrapolate le due ortofoto, mediante il software Photoscan.

Per la segmentazione della nuvola è stato necessario identificare il piano di sezione mediante l'inserimento di quattro target manuali.

Successivamente, in ambiente CAD, sono state sovrapposte agli elaborati bidimensionali.

In queste immagini, perfettamente georeferite e disposte nell'esatta posizione reale, è possibile in un modo molto immediato identificare le aree soggette a fenomeni di degrado, vettorializzare anch'esse ed effettuare un'analisi.

Come già espresso, la versatilità di questo metodo di lavoro consiste nel fatto che le immagini necessarie già sono presenti in fase di elaborazione e quindi non è necessaria nessuna altra azione di fotoraddrizzamento o simili.

Questa tecnica può essere operata ovviamente con tutte le nuvole di punti o mesh texturizzate, provengano esse da un rilievo con metodo LIDAR, fotogrammetrico o altri. Unica condizione necessaria è quella che, oltre all'acquisizione delle geometrie degli ambienti, siano scattate anche le relative immagini fotografiche.



Figura 9 - *Mesh texturizzata non segmentata.*

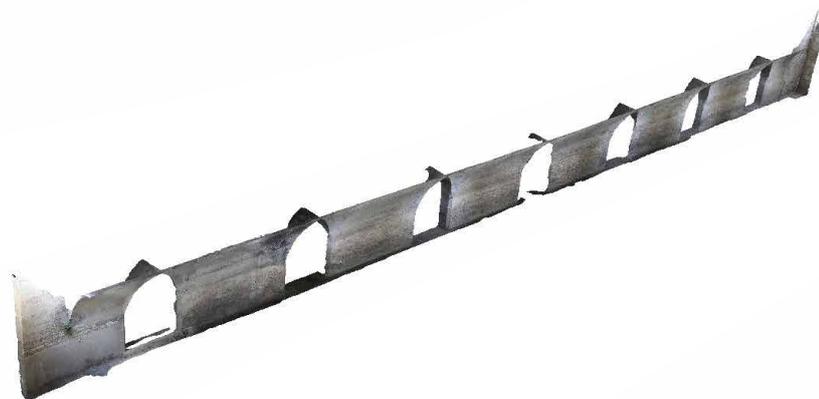


Figura 10 - *Mesh texturizzata suddivisa, parte nord, sezione B-B.*



Figura 11 - *Mesh texturizzata, sezione A-A.*

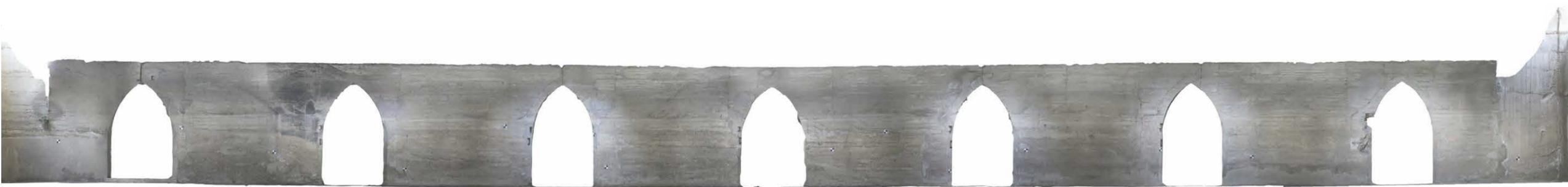
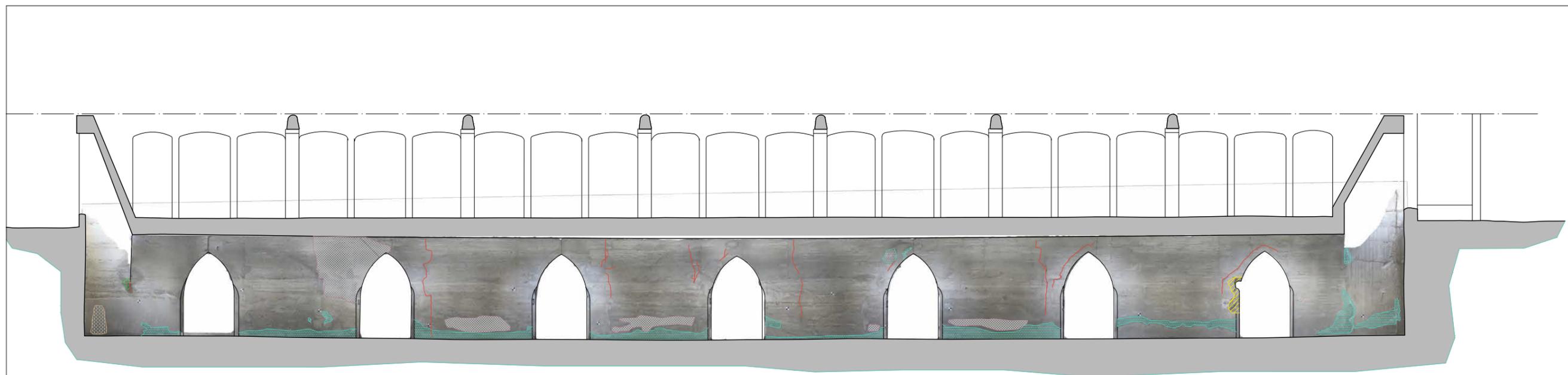


Figura 12 - *Mesh texturizzata, sezione B-B.*

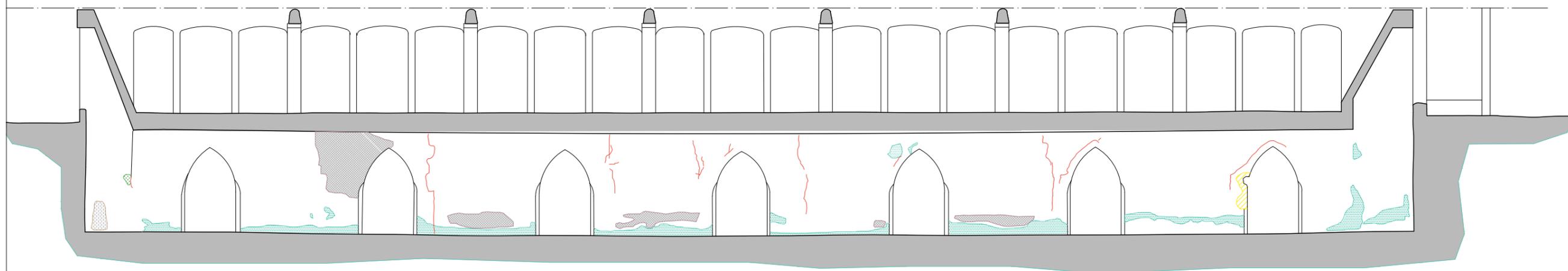


Figura 13 - *Sopra, sovrapposizione dell'immagine con l'elaborato 2D, con rappresentazione dei degradi, sezione A-A.*
Sotto, elaborato vettoriale senza immagine con la rappresentazione dei degradi, sezione A-A.

Legenda	
	Distacchi, affioramento di laterizi
	Patina scura
	Fessurazioni
	Efflorescenze
	Colature
	Asportazione di elementi metallici
	Vegetazione infestante



Sezione architettonica con immagine ortoproiettata



0 1 2 3 4 5 10 m

Figura 14 - *Sopra, sovrapposizione dell'immagine con l'elaborato 2D, con rappresentazione dei degradi, sezione B-B. Sotto, elaborato vettoriale senza immagine con la rappresentazione dei degradi, sezione A-A.*

Legenda	
	Distacchi, affioramento di laterizi
	Patina scura
	Fessurazioni
	Efflorescenze
	Colature
	Asportazione di elementi metallici
	Vegetazione infestante

6.2.1 Degradi riscontrati

Nel piano interrato la struttura si presenta generalmente in buono stato, sebbene siano presenti i segni del tempo.

Il fenomeno di degrado più diffuso è sicuramente l'efflorescenza, presente in maniera continua in quasi tutti i corridoi nella parte a contatto con la pavimentazione, più soggetta ad umidità.

Sulle pareti e sulle volte sono inoltre identificabili alcuni distacchi superficiali, dovuti principalmente a fenomeni di subflorescenza ed all'accostamento di materiali differenti, trattasi sempre di calcestruzzo ma appare chiaro immediatamente che si presenta in diverse composizioni e che sono stati effettuati interventi successivi per colmare lacune o distacchi che però hanno avuto come risultato la creazione di discontinuità di materiale e quindi di un successivo distacco.

Sulle volte e sulle murature sono identificabili anche alcune fessurazioni, di importanza minore, che in parte seguono le linee lasciate dalle casseforme del calcestruzzo.

In tutto il piano interrato sono presenti elementi metallici di varia conformazione, analizzati nel paragrafo 6.1, che creano il presupposto, in presenza di umidità, per lo sviluppo di attacchi chimici dovuti all'incompatibilità tra calcestruzzo e metallo, che in caso di ossidazione e relativa espansione, porta a fessurazioni e distacchi. I travetti con sezione più importante, che sostenevano in origine il binario di trasporto materiale, sono stati rimossi durante la fase di smantellamento dell'impianto ed hanno lasciato le loro tracce nelle pareti, che presentano chiaramente questi segni e che sono quindi più facilmente attaccabili da fenomeni di degrado in queste porzioni.

Puntualmente sono presenti colature dovute all'esposizione all'acqua meteorica (soprattutto nelle bocche di lupo) e patine nere presumibilmente dovute alle lavorazioni che venivano effettuate.

Nelle zone delle bocche di lupo è presente vegetazione infestante di piccola entità dovuta anch'essa alla penetrazione di acqua meteorica all'interno della struttura.



Figura 15 - Distacco di materiale con esposizione strato sottostante di laterizi.



Figura 16 - Patina scura sulle superfici.



Figura 17 - Efflorescenze ed effetti dell'umidità.



Figura 18 - Fessurazione.

6.3 DEM del piazzale, particolarità riscontrate

Una prima analisi dell'andamento altimetrico del piazzale è stata effettuata utilizzando come quote limite le estreme del piazzale, senza tenere in considerazione l'ingombro del paraboloide. Si può notare immediatamente un avvallamento della pavimentazione nell'angolo sud ovest del paraboloide, ma un'altra area attira anche l'attenzione.

Si tratta di un leggero abbassamento nella zona sud a ridosso del paraboloide che ad un primo esame parrebbe non avere troppa importanza.

Se però, in ambiente GIS e grazie alla georeferenziazione dei files, si sovrappone al DEM la geometria generale del piano interrato precedentemente elaborata, allora si nota che questo leggero avvallamento è in corrispondenza del corridoio centrale del piano interrato.

Il corridoio in questione risulta inaccessibile a causa della presenza di detriti di vario genere che impediscono la visibilità all'interno e quindi anche della parte qui d'interesse.

Tuttavia è molto probabile che si tratti di un cedimento localizzato della parete laterale del corridoio, che ha poi comportato l'abbassamento dell'estradosso del piazzale.

Questa osservazione è stata possibile solo con un limitato range d'analisi altimetrico.



Figura 19 - *Vista del piazzale.*



Figura 20 - *Vista del piazzale.*



Figura 21 - *Vista del piazzale.*

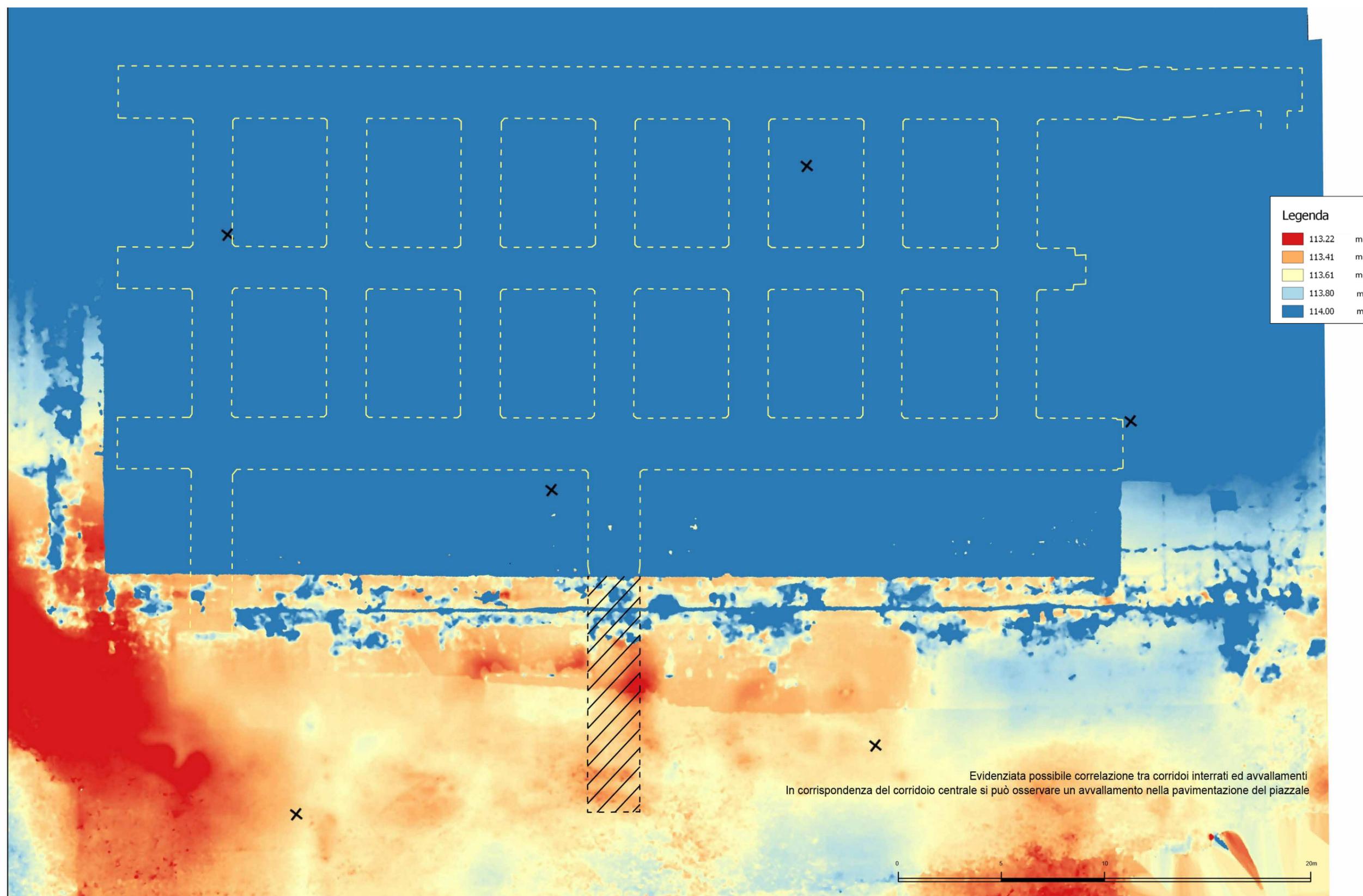


Figura 22 - DEM piazzale, sovrapposizione con la planimetria del piano interrato (tratteggio giallo) ed ipotesi della presenza di un corridoio ostruito (tratteggio nero).

6.4 Ricostruzione delle geometrie delle volte

Avvalendosi degli elaborati prodotti dalle fasi precedenti, si possono effettuare determinate analisi sull'edificio e sul suo contesto, al fine di conoscerne al meglio elementi che altrimenti difficilmente salterebbero all'occhio.

Essendo in possesso dei modelli tridimensionali del paraboloido, è possibile analizzarlo in modo puntuale per ricercare la presenza di simmetrie, geometrie particolari e metodologie costruttive. Questo strumento si è rivelato particolarmente adatto e dalla ampie possibilità grazie alla completezza raggiunta nei modelli tridimensionali.

Grazie agli elaborati bidimensionali (in questo caso le sezioni) è stato possibile ricostruire le geometrie di tracciamento delle volte dei corridoi del piano interrato. Il modulo B si ripete per tutti i corridoi (eccetto A-B e E-F) e denota una leggera eccentricità verso un lato, anch'essa costante in tutta la struttura.

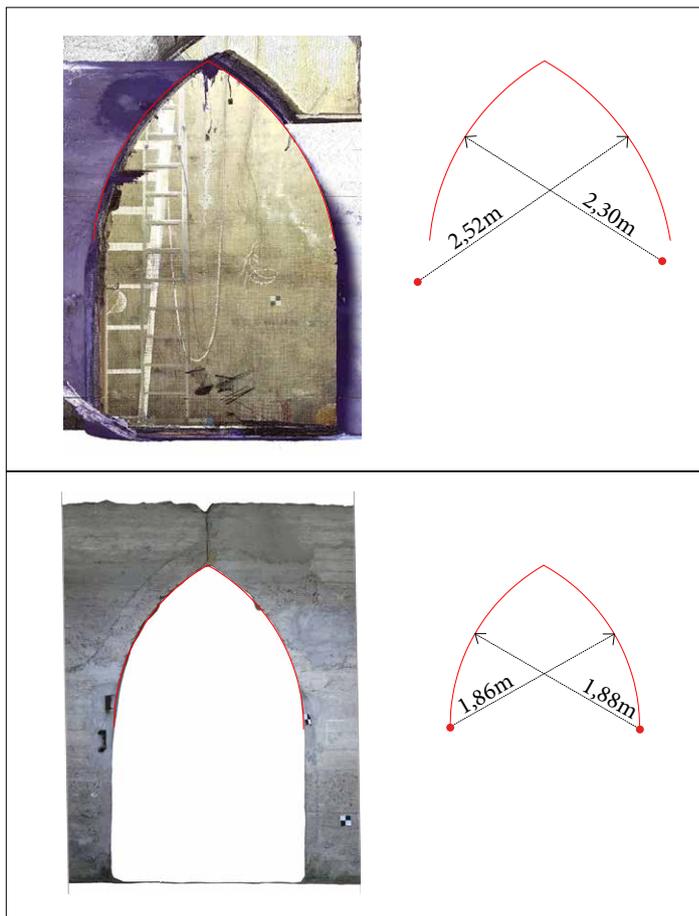


Figura 23 - In alto, Modulo A. Geometrie delle volte dei corridoi A-B e E-F. Archi di cerchio non simmetrici tra loro. Esempio estratto dalla sezione O-O.

In basso, Modulo B. Geometrie delle volte dei corridoi trasversali e del corridoio C-D. Archi di cerchio simmetrici tra loro. Si può notare un piccolo scarto costante in tutte le sezioni. Esempio estratto dalla sezione B-B.

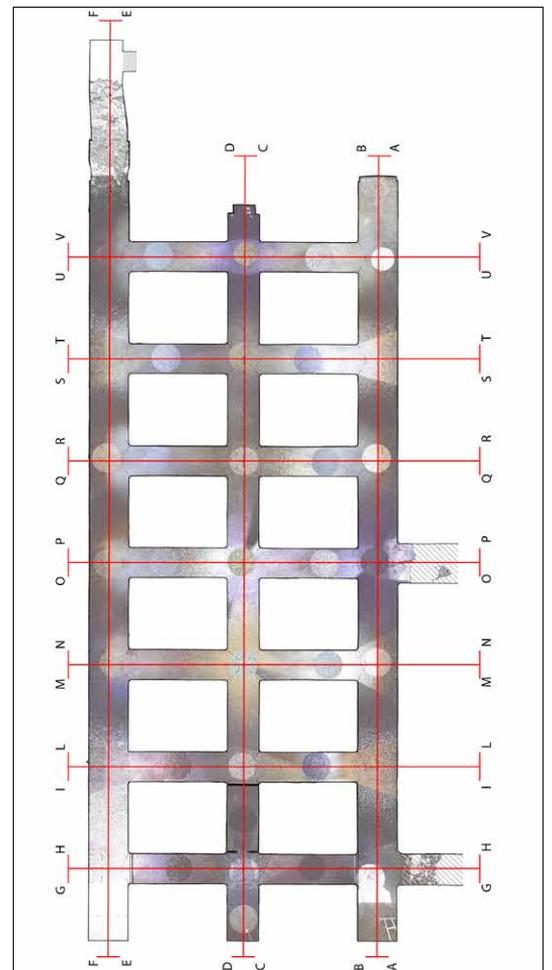


Figura 24 - Key plan.

6.5 Relazioni tra piano interrato e piano terreno

È di immediato riconoscimento la simmetria generale che permea la struttura. Pilastri, travetti e volta del piano terreno sono perfettamente allineati tra loro e creano una maglia regolare, ma questa precisione è presente anche nel piano inferiore. Come è stato infatti riscontrato nel capitolo 4, i corridoi erano sormontati dalle tramogge e da esse ne derivano le geometrie ancora oggi presenti.

Senza limitarsi ad un'ossequazione delle planimetrie dei singoli livelli ma sovrapponendole tra di loro, si possono notare gli allineamenti della struttura nel suo insieme.

Da questa sovrapposizione in particolare vanno notate due cose:

a) I pilastri centrali alla struttura, che sorreggono le travi trasversali, poggiano non in corrispondenza del centro delle volte a crociera degli incroci dei corridoi del livello inferiore, bensì scaricano il loro peso sull'asse dei corridoi stessi, nella loro mezzeria. Riguardo all'origine di queste strutture trave-pilastro, sono state formulate varie ipotesi, alcune affermano che sono state inserite per creare un effetto tirante e mantenere legata la struttura, altre legano la presenza di questi elementi alla temporanea funzione di deposito legname svolta del paraboloide ed infine potrebbero essere presenti sin dall'origine. Dopo l'analisi della struttura, l'ipotesi più convincente è l'inserimento di questi elementi durante la fase di utilizzo come deposito, in quanto presentano una differente tipologia costruttiva e difficilmente potrebbero svolgere azione tirante avendo punti di contatto ridotti.

b) Il corridoio E-F, in direzione est, prosegue oltre la struttura esterna superiore, arrivando in una zona che in origine era destinata allo scarico di additivi per la produzione del cemento e che da quel punto venivano introdotti nella catena di miscelazione.

Sovrapponendo le planimetrie è inoltre possibile determinare, in caso di necessità di indagini diagnostiche dal piano terreno verso l'interrato (in particolare si fa riferimento ad endoscopie o comunque perforazioni ed indagini invasive), dove intervenire per intercettare un determinato corridoio o una zona tra essi. In particolare sarà essenziale in previsione di un intervento indagare sulle zone un tempo occupate dalle tramogge, per stabilire come e con quale tipo di materiale sono state colmate.



Figura 25 - Corridoio inaccessibile nella parte est del corridoio E-F.



Figura 26 - Localizzazione del corridoio presente nel piano interrato.

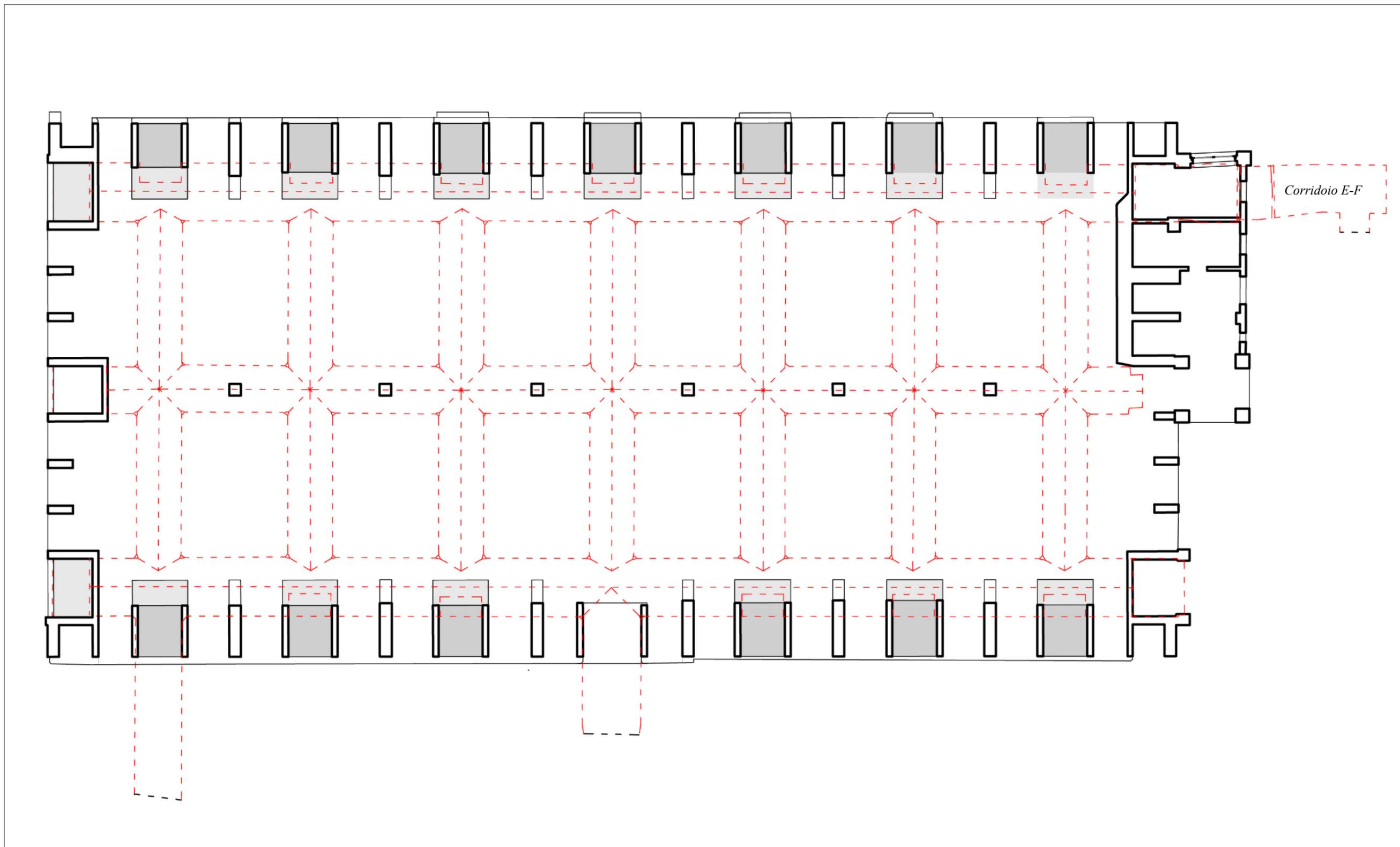


Figura 27 - Sovrapposizione delle planimetrie del piano interrato (tratteggiato in rosso) e del piano terreno.

6.6 Analisi dei dislivelli del piano interrato

Dall'estrazione di un DEM dalla nuvola di punti del piano interrato si possono notare numerose differenze di quota che seguono una disposizione ben precisa, convergendo nella direzione del corridoio A-B. La presenza di queste differenze di quota è da ricollegare al fatto che nei corridoi del piano interrato correvano i binari per le linee di carrelli che trasportavano i materiali di produzione del cemento. Unendo il fatto che la zona di scarico era posizionata nel lato nord¹, come si è visto anche dalla presenza in origine di una stazione ferroviaria dedicata al trasporto dei materiali utilizzati (situata appunto in quella zona) e da un accesso mediante scala a pioli (oggi murata), l'ipotesi che le pendenze dei corridoi servissero per facilitare il movimento dei carrelli a pieno carico sembra essere la più attendibile.

Sempre dal modello tridimensionale globale è risultato semplice verificare che l'inclinazione del binario sospeso segue quella del piano di calpestio mediante il confronto dell'asse della rotaia con la linea della pavimentazione, cosa che avviene per tutti i corridoi tranne in quello denominato A-B, dove non è chiaro come fosse organizzato in origine l'impianto di lavorazione.

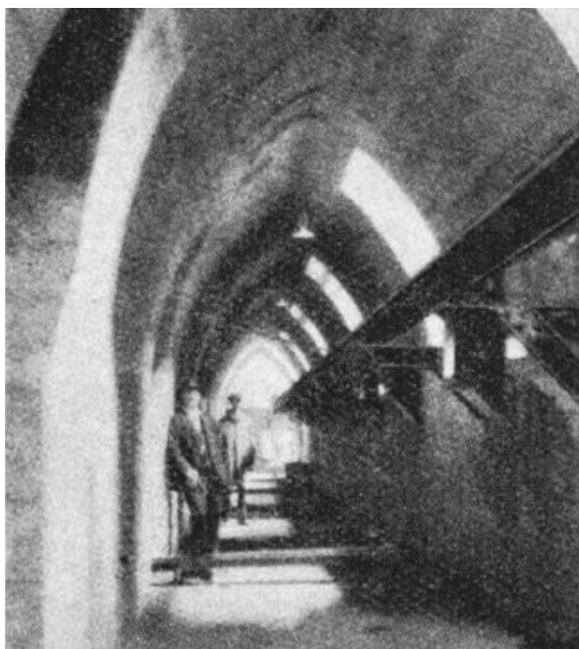


Figura 28 - Binario sospeso presente in origine.

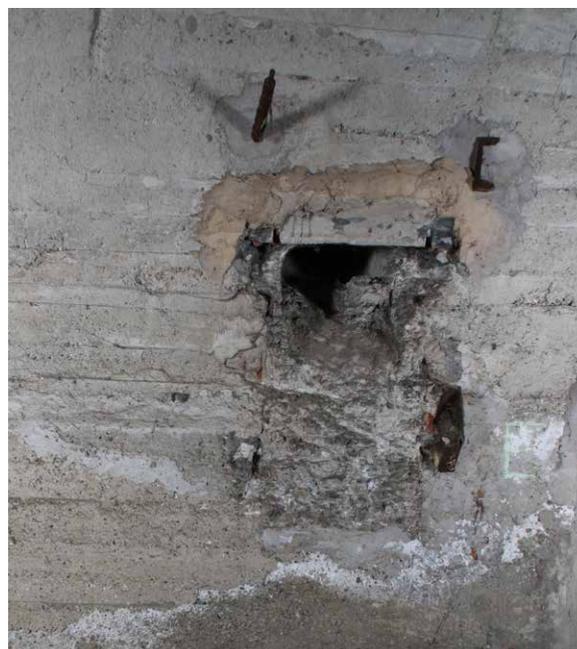


Figura 29 - Segno lasciato dalla rimozione del binario sospeso.

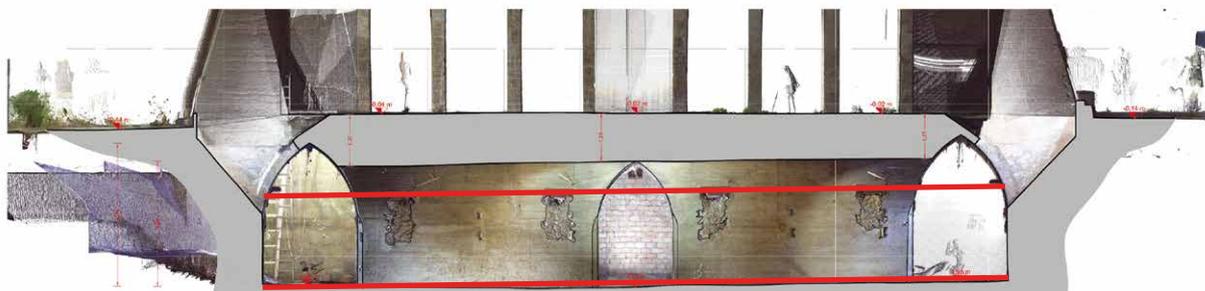


Figura 30 - Sezione Q-Q, evidenziati in rosso l'asse del binario sospeso e la linea del pavimento che presentano la stessa inclinazione.¹

¹ CLARA BERTOLINI, in A&RT, *Marne, cave, cementifici del Monferrato casalese, Atti e rassegna tecnica*, Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, aprile 2011.

² LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926.

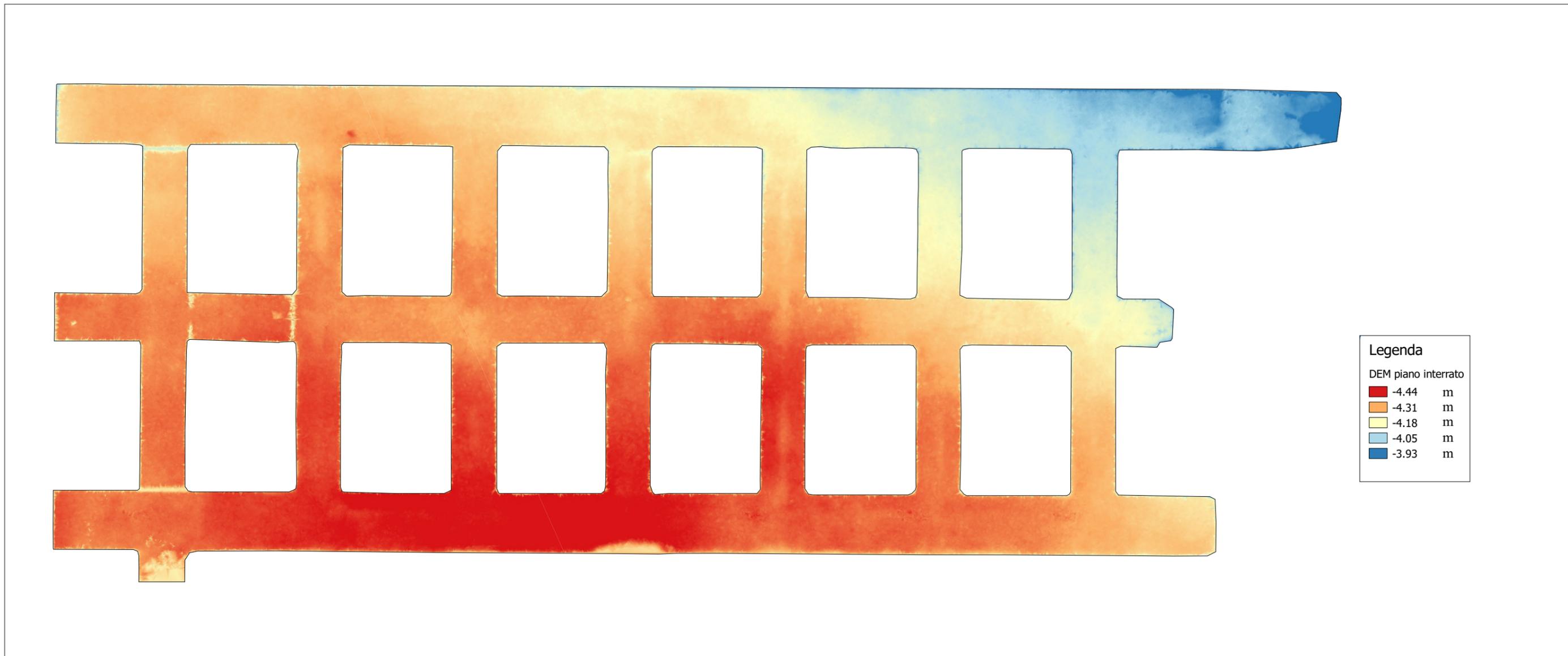


Figura 31 - DEM del piano interrato, si può notare l'andamento convergente delle pendenze. Quota zero del sistema locale definita a 113,727 metri.

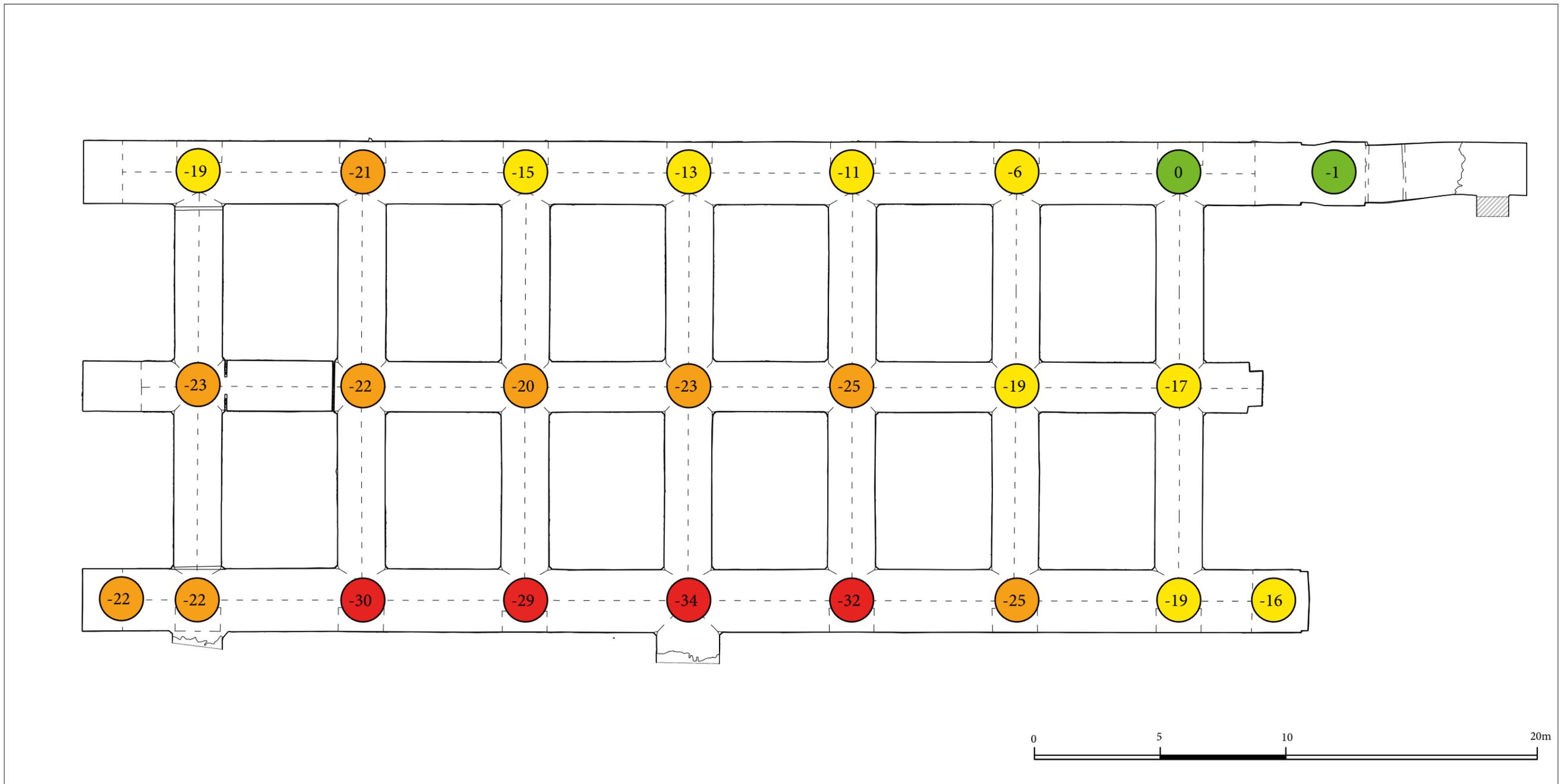


Figura 32 - Rappresentazione della variazione di quota in CENTIMETRI (es. -22 = dislivello di -22 centimetri rispetto alla quota zero impostata).
 Quota zero per questo elaborato impostata a 109,487 m rispetto al sistema globale, ovvero il punto più elevato della pavimentazione del piano interrato.

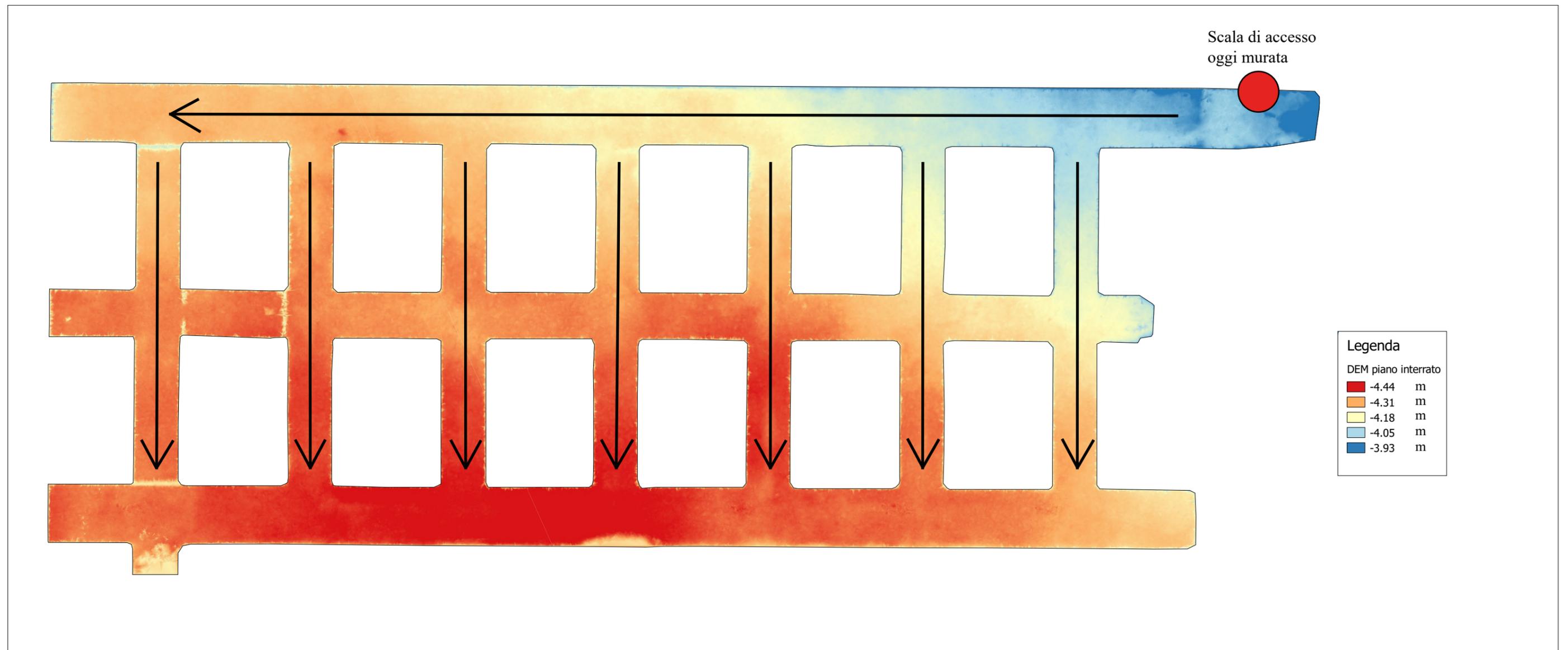


Figura 33 - Rappresentazione della ipotetica direzione di movimento dei carrelli su rotaia in relazione alle pendenze, il corridoio A-B presenta una doppia pendenza verso la parte centrale.

Sezioni del piano interrato con riportate le pendenze dei pavimenti e dei binari rimossi

Sono stati analizzati i dislivelli e le pendenze della pavimentazione di ogni corridoio e delle tracce presenti derivanti dalla rimozione dei travetti metallici che sostenevano il binario di trasporto. È chiaro come le due pendenze, calcolate ed elencate nella figure da 34 a 44, siano simili tra loro e dimostrino che i binari sono allineati alla pavimentazione. Il corridoio A-B è un'eccezione in quanto presenta una doppia inclinazione e nella sua parte destra l'andamento dei travetti è meno accentuato. È stata analizzata una sezione per ogni corridoio.

La determinazione di dislivelli e pendenze segue la direzione $sx \rightarrow dx$.

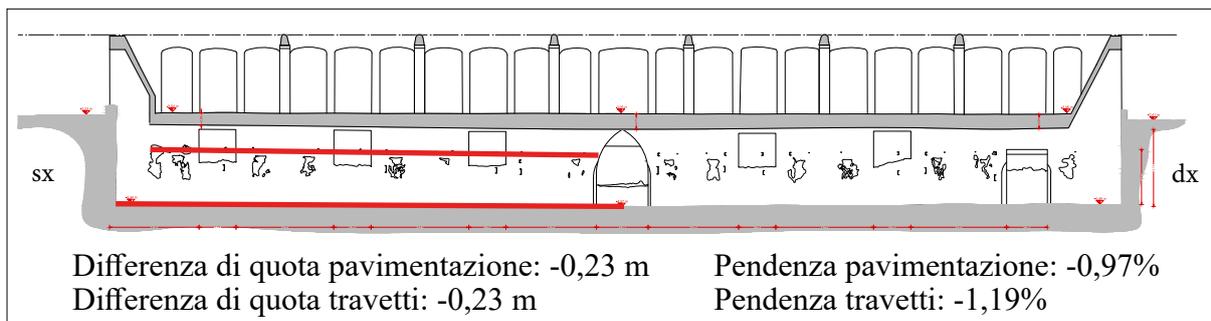


Figura 34 - Pendenze sezione A-A parte sinistra (A1).

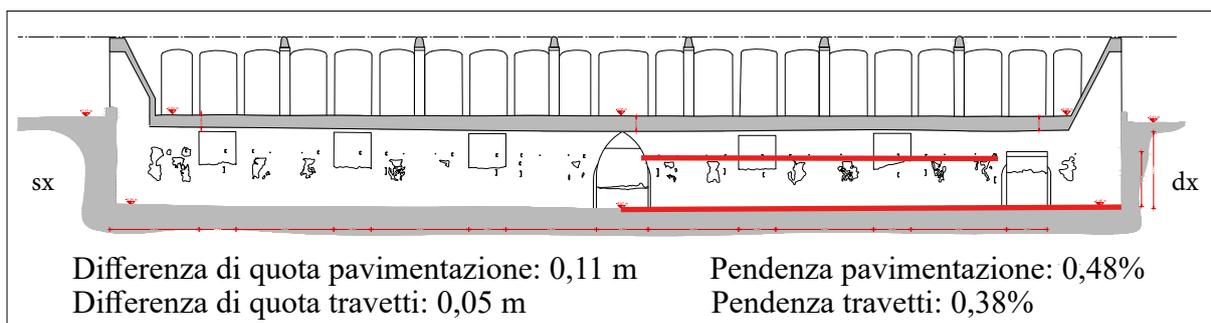


Figura 35 - Pendenze sezione A-A parte destra (A2).

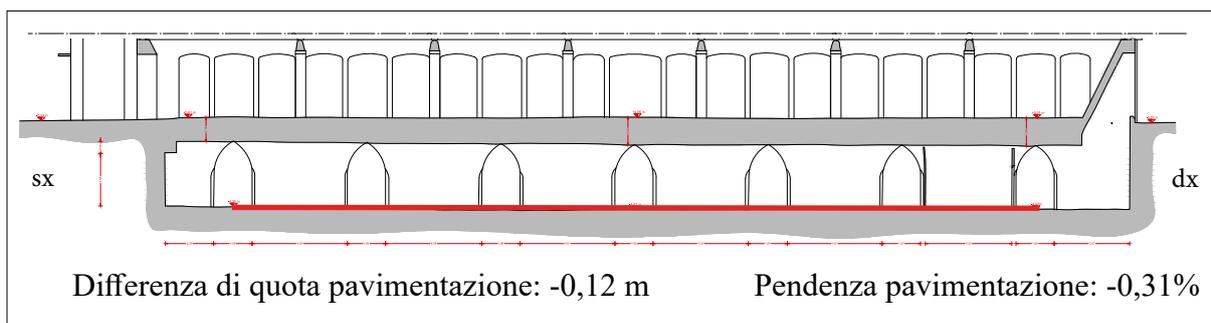


Figura 36 - Pendenze sezione C-C, non sono presenti elementi metallici.

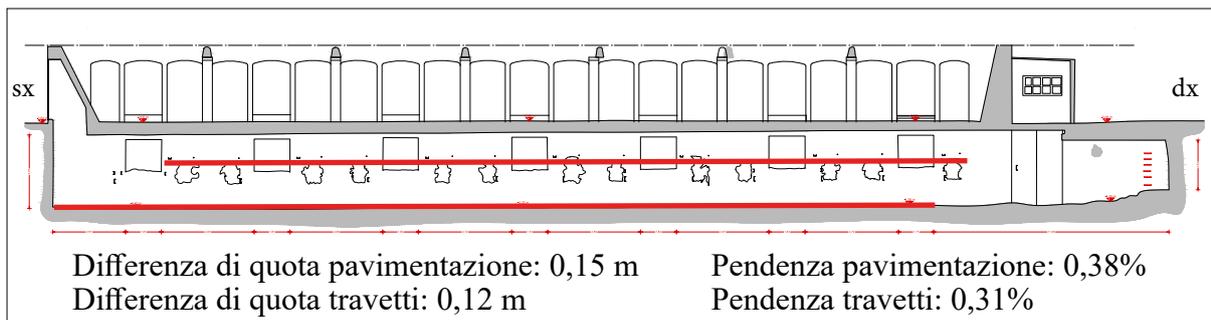


Figura 37 - Pendenze sezione F-F.

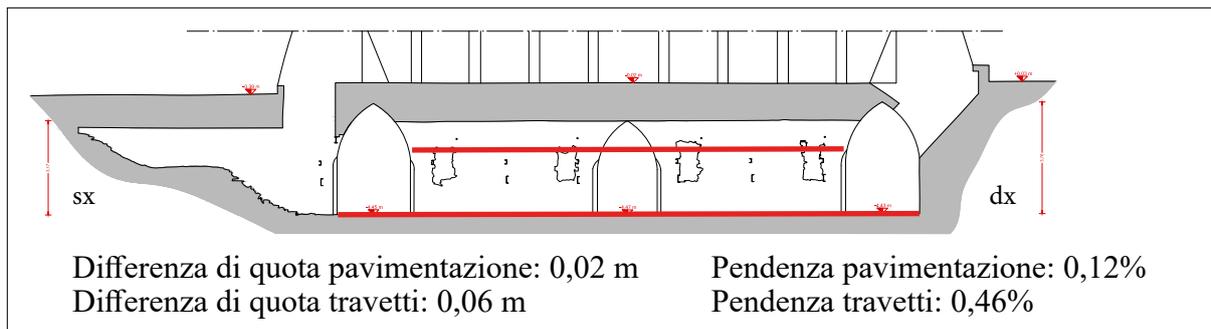


Figura 38 - Pendenze sezione G-G.

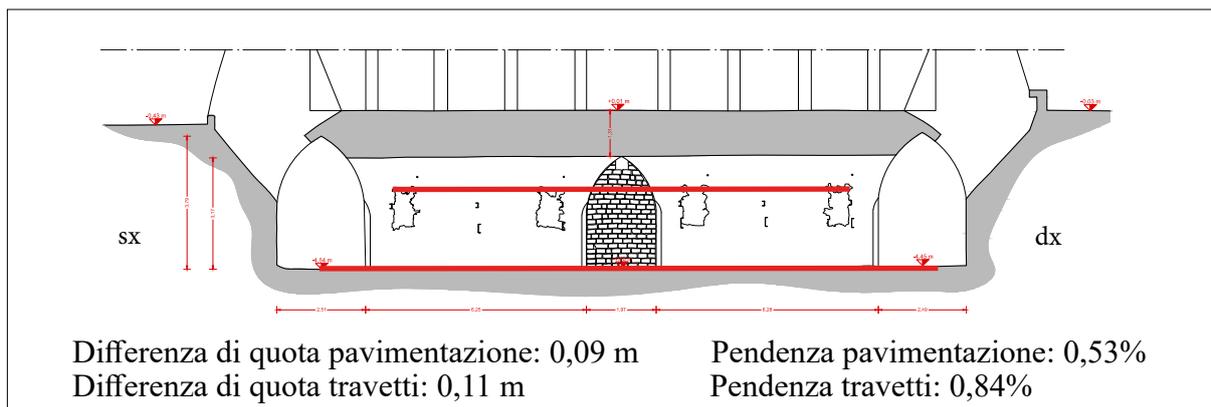


Figura 39 - Pendenze sezione I-I.

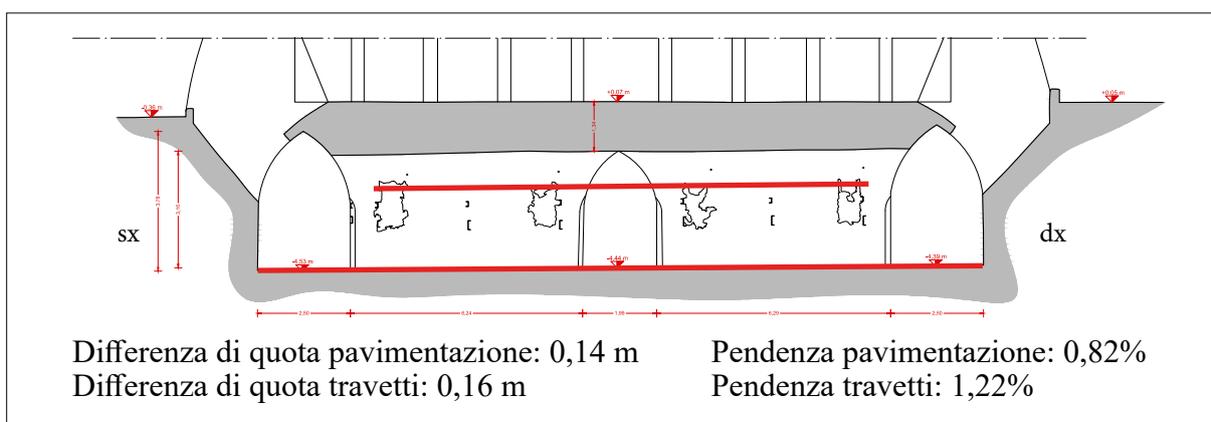


Figura 40 - Pendenze sezione M-M.

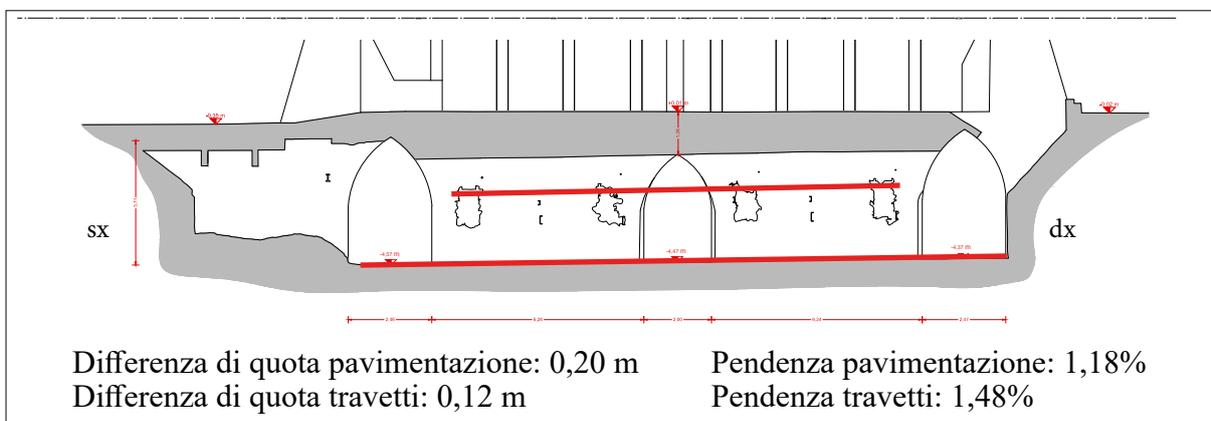


Figura 41 - Pendenze sezione O-O.

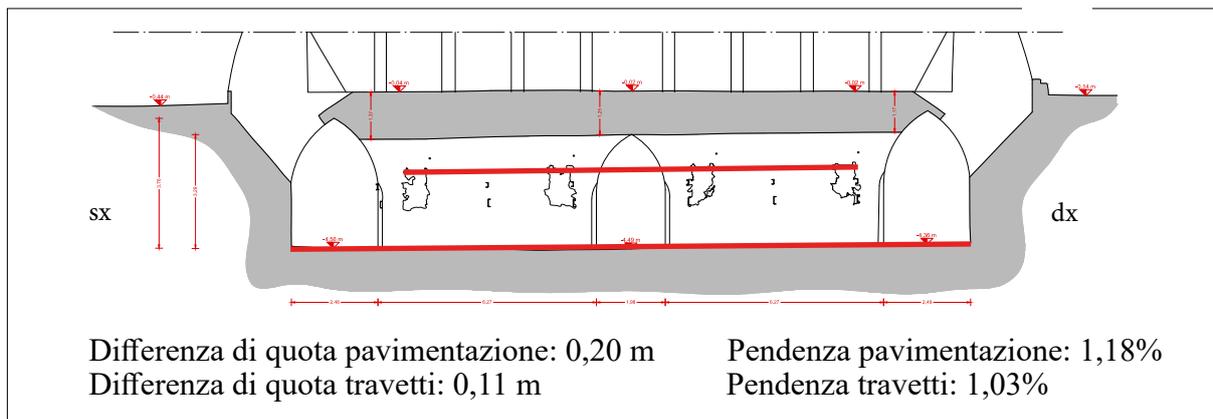


Figura 42 - Pendenze sezione Q-Q.

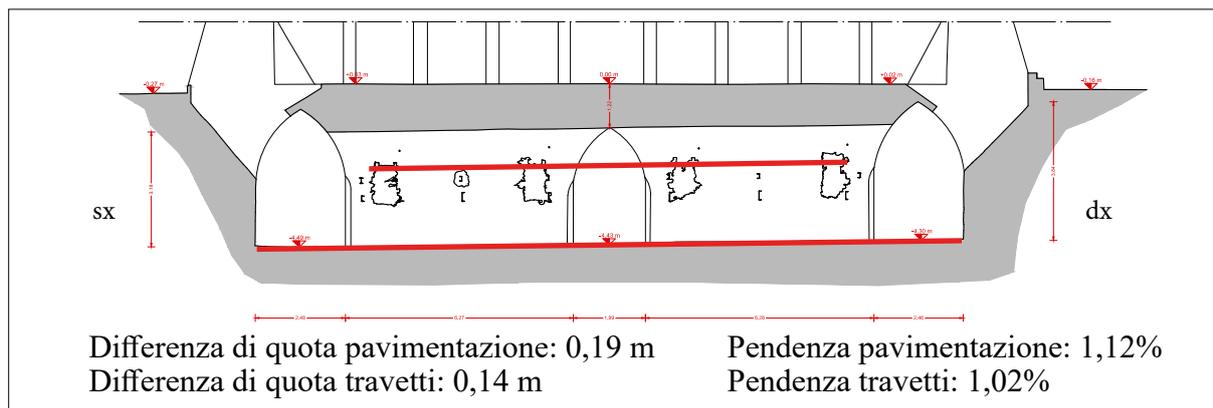


Figura 43 - Pendenze sezione S-S.

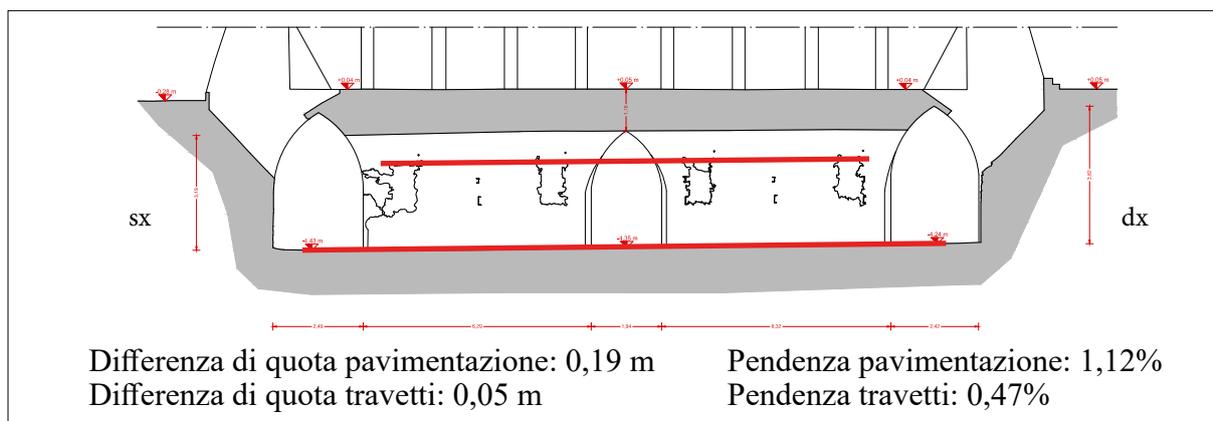


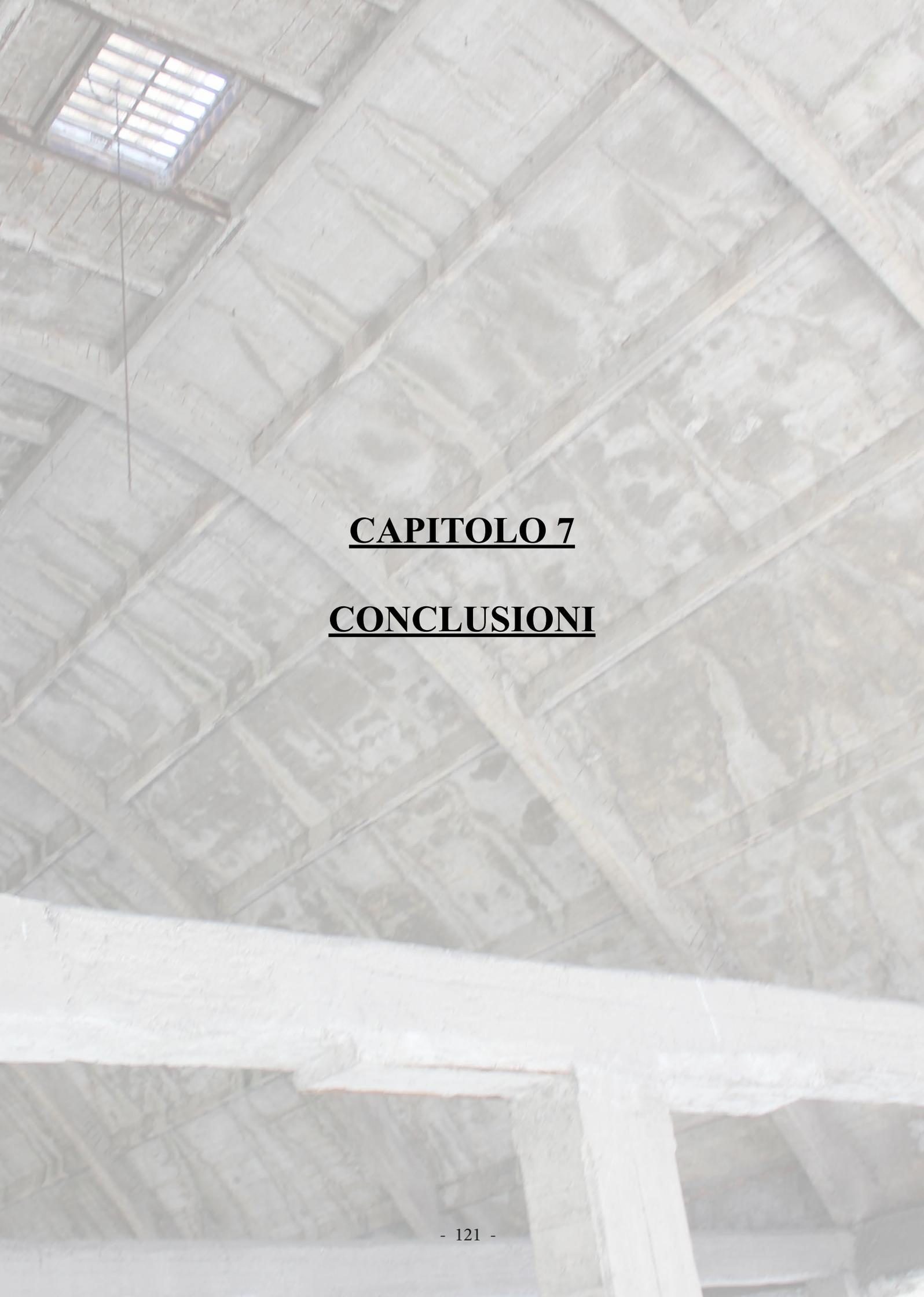
Figura 44 - Pendenze sezione U-U.

TABELLA DI CALCOLO PAVIMENTAZIONI

Sez.	Differenza di quota [m]	Distanza di calcolo [m]	Pendenza [%]
A1	-0,23	23,65	-0,97
A2	0,11	23,06	0,48
C	-0,12	39,05	-0,31
F	0,15	39,06	0,38
G	0,02	17,00	0,12
I	0,09	17,00	0,53
M	0,14	17,00	0,82
O	0,20	17,00	1,18
Q	0,20	17,00	1,18
S	0,19	17,00	1,12
U	0,19	17,00	1,12

TABELLA DI CALCOLO TRAVETTI

Sez.	Differenza di quota [m]	Distanza di calcolo [m]	Pendenza [%]
A1	-0,23	19,24	-1,19
A2	0,05	12,94	0,38
C	-	-	-
F	0,12	39,22	0,31
G	0,06	13,07	0,46
I	0,11	13,07	0,84
M	0,16	13,09	1,22
O	0,12	8,10	1,48
Q	0,11	10,67	1,03
S	0,14	13,76	1,02
U	0,05	10,71	0,47

The background of the page is a photograph of a wooden roof structure. The roof is composed of numerous wooden beams and planks arranged in a complex, overlapping pattern. In the upper left corner, there is a square skylight with a grid of small panes, through which some light is visible. The overall color palette is muted, consisting of various shades of grey, brown, and beige.

CAPITOLO 7

CONCLUSIONI

7. CONCLUSIONI

L'applicazione delle tecniche di rilievo metrico e la loro integrazione reciproca rivoluzionano il modo di effettuare lavori che prima erano svolti con dispendio di sforzo e di tempo maggiore. Un rilievo effettuato nel migliore dei modi dal quale è possibile estrarre una nuvola di punti o comunque un modello tridimensionale globale di un edificio o di una porzione di territorio, rappresenta la possibilità di effettuare analisi riguardanti ambiti anche lontani tra loro, come per esempio la ricostruzione storica ed i calcoli strutturali.

Come si è visto dal caso appena trattato infatti, da un modello completo sono stati estratti elaborati architettonici tridimensionali, planimetrie a scala territoriale, rappresentazioni di variazioni di altezza ed ortofoto.

Tutte queste elaborazioni ci portano a possedere una serie di strumenti da analizzare, confrontare ed integrare tra loro per poter indagare su particolari nascosti e difficilmente individuabili, come per esempio correlazioni tra planimetrie e dislivelli, ma anche degradi e loro cause.

Inoltre ogni rilievo si presenta con caratteristiche ben diverse ed è quindi fondamentale conoscere le possibilità ed i limiti di ogni tecnica di acquisizione per poter scegliere l'iter migliore per ogni situazione.

Sono apparsi chiari i limiti e le potenzialità delle singole metodologie di rilievo.

Nel piano interrato la fotogrammetria ha trovato difficoltà d'impiego data la scarsa luminosità e con gli strumenti a scansione laser sono state necessarie molteplici acquisizioni che hanno richiesto parecchio tempo. La tecnologia SLAM invece ha dimostrato tutte le sue potenzialità in questo ambiente, sia come risultati che come tempi di acquisizione.

I droni UAV hanno permesso di rilevare parti che prima erano irraggiungibili ed hanno dato ottimi risultati, mostrando anche alcuni problemi derivanti dalla temperatura ambientale.

Sicuramente il metodo qui descritto troverà altre applicazioni ed integrazioni con altre tecnologie di visualizzazione e gestione, come i software BIM.



CAPITOLI 8 e 9

BIBLIOGRAFIA

e

RINGRAZIAMENTI

8. BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

J. BEDFORD, B.BLAKE, P. BRYAN, *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, English Heritage, 2009.*

VANESSA BENIGNO, *Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il restauro e valorizzazione del patrimonio, Geomatica e archeologia industriale : l'Arco parabolico di Morano sul Po: aspetti morfologici e dimensionali*, Relatori Prof. ANTONIA TERESA SPANÒ, FILIBERTO CHIABRANDO, Politecnico di Torino, 2015.

BERTOLINI C., CHIABRANDO F., SPANÒ A.T., *La geomatica per il progetto di recupero e valorizzazione del parabolico di Casale*, in MANUEL RAMELLO, *La riconversione del patrimonio industriale, il caso del territorio casalese nella prospettiva italiana ed europea*, Alinea Editrice, 2013.

CLARA BERTOLINI, in A&RT, *Marne, cave, cementifici del Monferrato casalese, Atti e rassegna tecnica*, Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, aprile 2011.

BROCCHINI, D.; CHIABRANDO, FILIBERTO; COLUCCI, ELISABETTA; SAMMARTANO, GIULIA; SPANO', ANTONIA TERESA; TEPPATI LOSE', LORENZO, VILLA, ALICE, *The geomatics contribution for the valorisation project in the rocca of san silvestro landscape*, in: International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2017, VOL. XLII-5/W1, PP. 495-502.

Carta di Atene, 1931.

ATTILIO CASTELLI, DIONIGI ROGGERO, *Casale, immagine di una città*, Piemme, 1986.

CHIABRANDO F., LINGUA A., PIRAS M., *La pianificazione dell'acquisizione LIDAR terrestre in Tecnologie di Geomatica - Laserscanner 3D*, 2015.

ALBERTO CINA, *Dal GPS al GNSS (Global Navigation Satellite System), Per la Geomatica*, Celid, Torino, 2014.

D.L.22 gennaio 2004 n.42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*.

CAROLINA DI BIASE, *Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento*, collana: Biblioteca di architettura, Maggioli Editore, 2009.

ANDREA DE FRANCESCO, *Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Modellazione agli elementi finiti per la verifica ed il recupero del parabolico di Casale Monferrato*, Relatore Prof. STEFANO INVERNIZZI, Politecnico di Torino, Marzo 2016.

CARLO GORUA, *I° Parte, Cemento, storia tecnologia, applicazioni* (VARI AUTORI) , Fabbri, 1976.

LAURA GUARDAMAGNA, *Casale Monferrato, i cementifici*, collana: Beni culturali in provincia di Alessandria, Edizioni dell'Orso, Alessandria, 1988.

KARL KRAUSS, *Fotogrammetria*, Libreria Universitaria Levrotto e Bella, Torino, 1994.

D. G. Lowe, *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*, International journal of computer vision, 60, 2.

LUIGI MARINO, *Il rilievo per il restauro, Ricognizioni - Misurazioni - Accertamenti - Restituzioni - Elaborazioni*, HOEPLI, 1994.

FABRIZIO MENI, *Quando i tetti erano bianchi, Casale e il Basso Monferrato dal Fascismo alla resistenza*, collana: Studi e ricerche, Edizioni dell'orso, 2000.

PENSABENE CIMINO P., *Cenni storici sul cemento casalese*, Società Tipografica, Casale Monferrato, 1937.

MANUEL RAMELLO, *La riconversione del patrimonio industriale, il caso del territorio casalese nella prospettiva italiana ed europea*, Alinea Editrice, 2013.

BRUNO ROSSI, GIAN MARIO ROSSINO, *Appunti di storia dell'industria dei leganti nel Monferrato*, Associazione "Il Cemento", Casale Monferrato, 2010.

FRANCESCO RUSCICA, *Strutture a paraboloidi iperbolici*, Università degli studi di Trieste, CISM, Trieste, luglio 1973.

LUIGI SANTARELLA, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali*, Hoepli, Milano, 1926.

LUIGI SCARPA, *Lo spazio geografico nei GIS, Sistemi Informativi Geografici: concetti, tecnologie ed applicazioni*, CUEN, Napoli, 2001.

ANTONIA SPANÒ, FILIBERTO CHIABRANDO, ELISABETTA DONADIO, GIULIA SAMMARTANO, *La tecnologia laser scanning per la valutazione statica delle strutture storiche*, estratto da: Geomedia n. 4, pp. 12-17, ISSN 1128-8132, 2016.

ANTONIA TERESA SPANÒ, *Slide workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3d per il rilievo di beni culturali*, Politecnico di Torino, 2017.

GABRIELLA VIGETTI, *Tesi del Corso di laurea specialistica in Architettura (restauro e valorizzazione), Metodi e strumenti per la rifunzionalizzazione del patrimonio industriale: il caso Casale*, Relatori CLARA BERTOLINI, MANUEL FERNANDO RAMELLO, Politecnico di Torino, 2007.

Sitografia

<https://archeologiaindustriale.net/>
(ultima consultazione ottobre 2017)

<http://cobra.enea.it/>
(ultima consultazione ottobre 2017)

<http://www.comune.casale-monferrato.al.it/>
(ultima consultazione novembre 2017)

<http://www.ilcemento.it/>
(ultima consultazione novembre 2017)

<https://www.ilmonferrato.it/>
(ultima consultazione ottobre 2017)

<http://www.italcementi.it/it>
(ultima consultazione novembre 2017)

<http://www.monferratopaesaggi.org>, (ANDREA FERRAROTTI, *Dalla Pangea al Monferrato*).
(ultima consultazione novembre 2017)

<https://triesteabbandonata.wordpress.com>
(ultima consultazione novembre 2017)

<https://www.sardegnaabbandonata.it/>
(ultima consultazione novembre 2017)

<http://www.unipd.it/ilbo/node/5162/>
(ultima consultazione ottobre 2017)

<https://it.wikipedia.org/wiki/Italcementi>
(ultima consultazione novembre 2017)

9. RINGRAZIAMENTI

La stesura di questa tesi è avvenuta in un periodo di grandi cambiamenti a livello personale, sia belli che brutti. Un doveroso ringraziamento va quindi a tutte quelle persone che mi hanno sempre incoraggiato a non mollare mai e a continuare dritto per la mia strada, i miei genitori, i miei zii, mio nonno e tutti gli amici più cari. Grazie anche a chi ha mi ha sopportato e spronato nei momenti più grigi, Fra.

Ringrazio inoltre la mia relatrice, la professoressa Spanò, che ha saputo motivarmi sempre e che mi ha affiancato nella stesura di questo lavoro in modo impeccabile, come anche il professor Chiabrando. Un grazie anche a tutto il Laboratorio di Geomatica del DAD del Politecnico di Torino: Lorenzo, Giacomo, Elisabetta, Giulia, Alessio, Stefano ed Andrea. Ho trovato questo ambiente molto stimolante e sicuramente ha portato in me una crescita personale non indifferente.

Grazie a tutti.

Daniele

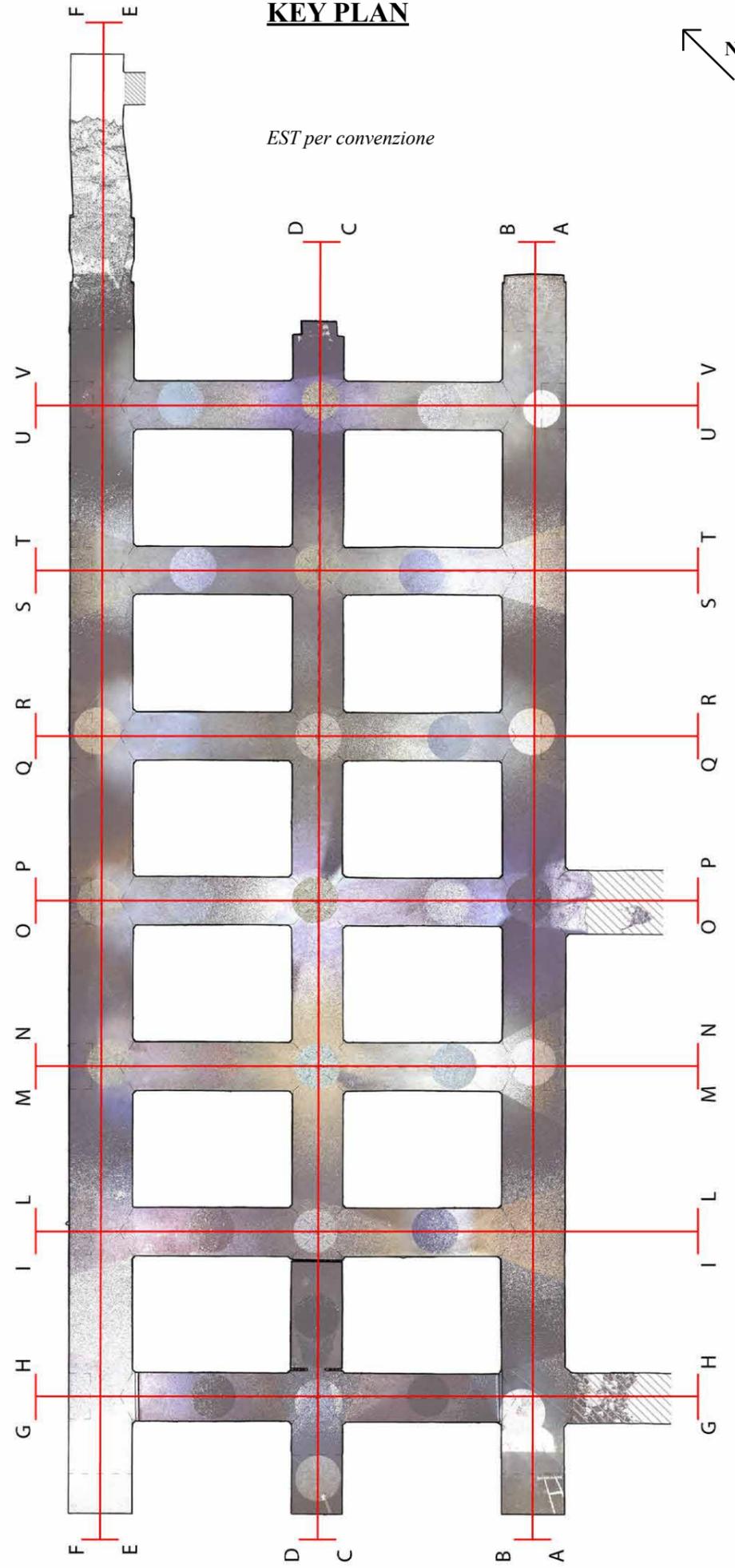
KEY PLAN



EST per convenzione

NODR per convenzione

SUD per convenzione



OVEST per convenzione