LABORATORIO DI GEOMATICA PER LA MODELLAZIONE DELL'ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN ARCHITETTURA 2024-2025

Docenti: Chiabrando Filiberto, Spreafico Alessandra

Collaboratore: Borgogno Edward

GRUPPO 2

Favano Daria s323921

Gallo Victoria s310432

Gandi Carlotta s310272

Giacinto Elena s309699

Graziani Ileana s323921

Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design

INQUADRAMENTO TERRITORIALE
Il Castello del Valentino

L'inquadramento territoriale del Castello del Valentino è una fase preliminare fondamentale per comprenderne la **posizione nel contesto urbano e naturale** di Torino.
Situato **lungo le rive del fiume Po**, all'interno del Parco del Valentino, il castello è uno degli edifici più significativi della città.

La tavola che segue presenta una serie di carte storiche pubblicate online sul portale di Museo Torino, conservate nell'**Archivio Storico della città di Torino**, e carte moderne tratte dal **Geoportale di Torino**, che permettono di tracciare l'evoluzione del territorio circostante al Castello del Valentino.

In particolare, la nostra area (fig.1) di progetto riguarda l'ala sud delle campate d'ingresso al castello.

Fig.1 Foto della campata oggetto del caso-studio, 2024.

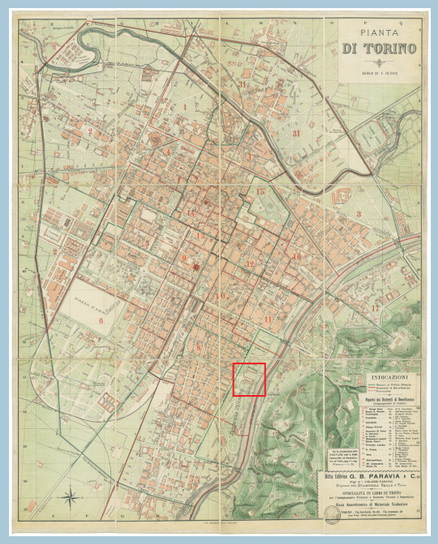




**Pianta di Torino, 1896. Scala originale 1:10000.
Archivio Storico della Città di Torino, Collezione Simeom, D 126.**

Permette di inquadrare il Castello del Valentino nel contesto storico-geografico di fine Ottocento, un periodo in cui Torino stava attraversando una **fase di espansione urbana significativa**, e il Castello, emergeva come un **elemento centrale sia dal punto di vista paesaggistico che urbanistico**.

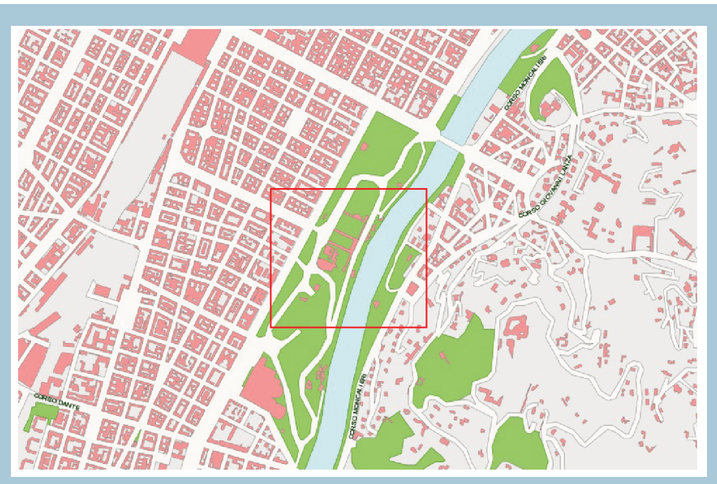
La carta consente di osservare il **ruolo strategico del Castello** all'interno del sistema cittadino dell'epoca, evidenziandone i **collegamenti viari con il centro storico e le aree in via di sviluppo** verso sud. Il rapporto del Castello con le infrastrutture del tempo, come i grandi viali e la vicinanza al fiume, testimonia l'importanza di questo luogo sia come **punto di riferimento storico-architettonico** sia come **nodo significativo nella configurazione della città ottocentesca**. Allo stesso tempo, la mappa mostra il Parco del Valentino nella sua configurazione dell'epoca, evidenziandone il valore paesaggistico.



**Pianta di Torino, 1915, Sarre Borioli. Scala originale 1:10000.
Archivio Storico della Città di Torino, Tipi e Disegni, rotolo 57 D.**

Permette di comprendere le **dinamiche di pianificazione e sviluppo urbano** della città nel contesto storico in cui è stata realizzata. Rappresenta in modo dettagliato i **due Piani Regolatori che interessavano le aree pianeggianti e quelle collinari** di Torino, sottolineando come queste fossero oggetto di politiche di ampliamento differenziate.

Il Castello del Valentino è inquadrato all'interno di un quadro urbanistico più ampio, evidenziando il suo rapporto con il Piano Regolatore della zona piana, in cui il **parco del Valentino fungeva da elemento di connessione tra la città compatta e l'espansione** verso sud. Evidenzia come l'area del Castello fosse considerata un **elemento strategico nel disegno urbano**, trovandosi in una posizione di transizione tra la città consolidata e le aree più naturali e verdi, che erano integrate nei progetti di ampliamento come polmoni urbani e spazi ricreativi.



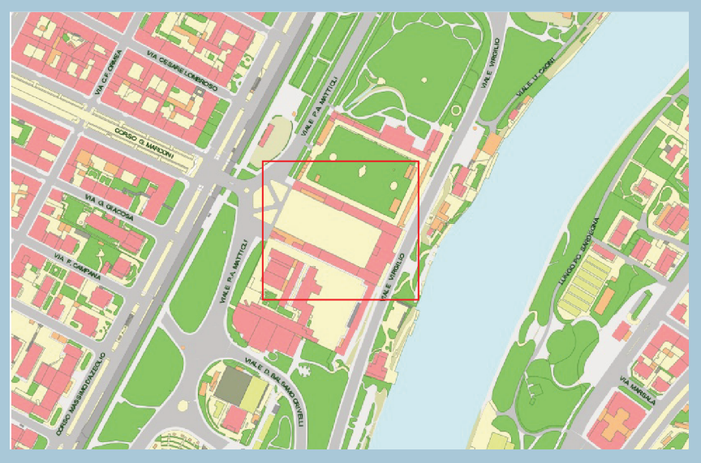
**Carta Tecnica della città. Scala originale 1:10000.
Geoportale della Città di Torino**

La carta tecnica mostra elementi infrastrutturali, edifici e strade. Fornisce informazioni sulla configurazione attuale del Castello e del Parco del Valentino, permettendo di analizzare la rete viaria e i confini del parco in relazione agli edifici circostanti.



**Ortofoto della città. Scala originale 1:5000. 2023.
Geoportale della città di Torino**

L'ortofoto offre una **visione realistica e dettagliata del territorio**. Permette di osservare l'aspetto attuale del Castello del Valentino e del parco con un livello di dettaglio che include **vegetazione, edifici, percorsi pedonali e altre caratteristiche del paesaggio**.



**Carta topografica della città. Scala originale 1:25000
Geoportale della città di Torino**

Questo tipo di mappa è utile per studi di dettaglio come l'analisi dell'**accessibilità al sito e la valutazione delle infrastrutture presenti** in relazione agli spazi verdi e il fiume.

aree verdi | edificato | aree calpestabili | strade | fiume

INQUADRAMENTO STORICO
Il Castello del Valentino

Il Castello del Valentino è uno dei più importanti e suggestivi edifici storici di Torino, situato lungo il fiume Po, all'interno del Parco del Valentino, un'area verde molto frequentata dai torinesi e dai turisti. Il castello è un esempio di **architettura rinascimentale e barocca**, con una pianta a forma di quadrilatero.

La **costruzione originale risale al XIV secolo**, quando fu eretto come residenza di caccia dai conti di Savoia. Nel corso dei secoli, il castello ha subito numerose modifiche, trasformandosi in una delle principali residenze nobiliari della dinastia sabauda.

Nel '**600**, sotto il regno di **Carlo Emanuele II**, il Castello del Valentino venne ristrutturato e abbellito in stile barocco, con interventi da parte di importanti architetti dell'epoca.
Il castello è noto anche per il suo **giardino all'italiana**, che si estende dietro l'edificio e che, un tempo, faceva parte della residenza nobiliare.

Una delle caratteristiche più affascinanti del castello è la sua **facciata simmetrica**, arricchita da **elementi decorativi** tipici dello stile barocco. Inoltre, al suo interno sono presenti **sale affrescate** e arredi d'epoca, che raccontano la storia del castello e delle famiglie che lo hanno abitato.

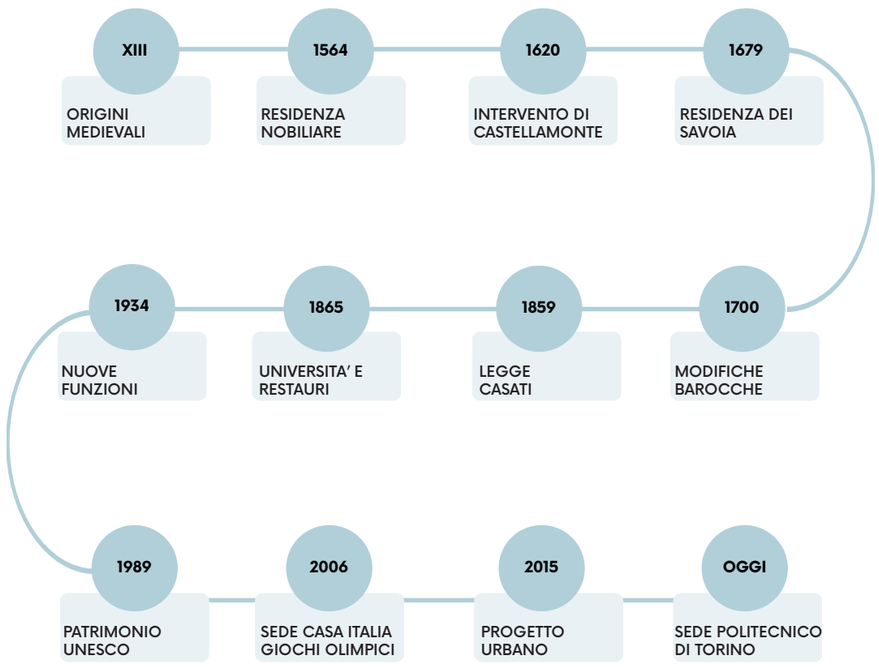




Fig.2
Fotografia Edizioni Brogi, n.3709.
Archivio Storico della Città di Torino.



Fig.3
Incisione di Angeti su disegno di Nicolosino.
Archivio Storico della Città di Torino.



Fig.4
Fotografia, 2023



Fig.5
Fotografia della campata del caso studio, 2024

1200



1200: ORIGINI MEDIEVALI

La prima documentazione del Castello del Valentino risale al XIII secolo. In origine, si trattava di una **fortificazione medievale costruita dai Signori di Valenza**, che utilizzarono l'area per scopi difensivi.

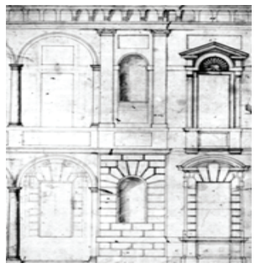
1564



1564: TRASFORMAZIONE IN RESIDENZA NOBILIARE

Il castello fu **acquistato da Emanuele Filiberto di Savoia** nel 1564 e ristrutturato lo stesso anno da Guido Balbo di Vinadio, che **ne fece una residenza signorile**. Durante questa fase, il castello assunse un aspetto più elegante, cominciando a prendere le sembianze di una residenza aristocratica piuttosto che di una fortezza.

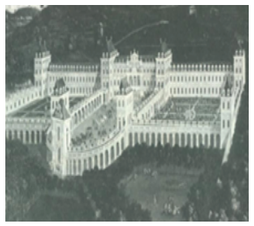
1620



1620: INTERVENTO DI CARLO CASTELLAMONTE

Carlo di Castellamonte, un architetto e ingegnere di corte, ristrutturò il castello nel 1620, trasformandolo in una delle **residenze più belle del periodo barocco**. A lui si deve l'ampliamento della struttura e la creazione di **eleganti giardini all'italiana**, che divennero uno dei tratti distintivi del castello.

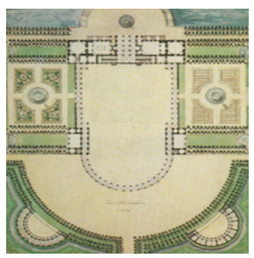
1679



1679: RESIDENZA DEI SAVOIA

Nel 1679, il castello passò in mano alla **famiglia Savoia**, che ne fece una **residenza di rappresentanza**. Fu rinnovato ulteriormente per ospitare i membri della corte, diventando un **luogo simbolo della potenza e dello splendore della dinastia**.

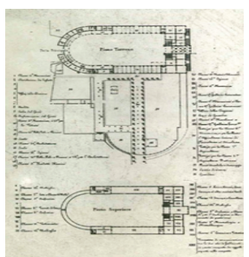
1700



1700: MODIFICHE BAROCCHE

Il Castello del Valentino subì nuove modifiche nel corso del XVIII secolo, con l'**aggiunta di decorazioni e rifiniture in stile barocco**.
Il giardino fu anche ampliato e migliorato, diventando uno dei parchi più affascinanti della città.

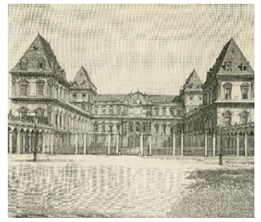
1859



1859: LEGGE CASATI

Il 13 novembre viene emanata la **Legge Casati che rende ufficiale la creazione della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri**.

1865



1865: UNIVERSITA' E RESTUARI

Nel 1865, dopo l'unità d'Italia, il castello fu **acquisito dallo Stato e destinato a sede dell'Accademia di Agricoltura di Torino**. Durante questo periodo furono effettuati restauri per adattare l'edificio alle nuove esigenze. Il castello perse parte della sua funzione nobiliare e divenne un'**importante istituzione educativa**.

1934



1934: NUOVE FUNZIONI

Nel 1934, l'edificio divenne **parte dell'Università di Torino**. Fu destinato a **ospitare la Facoltà di Architettura**, che ancora oggi occupa una parte significativa del castello. In questa fase, furono effettuati **lavori di restauro per preservare l'edificio**, che fu adattato alle esigenze.

1989

1989: PATRIMONIO UNESCO

Il Castello del Valentino, insieme ad altri palazzi e residenze della dinastia Savoia, è stato **inserito nel Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO nel 1989, riconoscendo l'importanza storica e architettonica del complesso.**

2006



2006: SEDE DI CASA ITALIA PER I GIOCHI OLIMPICI

Durante i **XX Giochi Olimpici Invernali** che si sono tenuti a Torino dal 10 al 26 febbraio il Castello del Valentino divenne **sede di Casa Italia, quartier generale della spedizione azzurra**.

2015



2015: PROGETTO URBANO ASSE DEL PO

Il Castello del Valentino diventa il **nucleo centrale del progetto urbano Asse del Po**. L'intervento è concepito come uno spazio aperto alla città ed alla molteplicità dei suoi fruitori.

OGGI



OGGI: SEDE DEL POLITECNICO DI TORINO

Oggi il Castello del Valentino è una **sede universitaria, ma è anche un luogo di interesse turistico**. La sua architettura barocca e i giardini sono una delle principali attrazioni turistiche di Torino. Il castello continua ad essere un simbolo della città ed un testimone della sua evoluzione storica e culturale.

STRUMENTI UTILIZZATI

I principali strumenti utilizzati per il rilievo diretto sono stati: il treppiede topografico, il miniprisma, il distanziometro, il cellulare e soprattutto la stazione totale.
L'utilizzo invece di carta e penna ci ha aiutato a segnare i punti rilevati e realizzare gli eidotipi.

TREPPIEDE TOPOGRAFICO
Dispositivo utilizzato come base di incastro per posizionare lo strumento della stazione totale.



MINIPRISMA LEICA
Specchio riflettente nei distanziometri per misurare la distanza tra esso e la stazione totale.



DISTANZIOMETRO KIPRIM LD50E
Strumento utilizzato per misurare la distanza tra il centro strumentale e il punto collimato.
Accuratezza: +- 1/16 di pollice
Distanza misurazione: fino a 50m
Classe laser: II (potenza di uscita >1mv



CELLULARE: IPHONE 15
Dispositivo utilizzato per le acquisizioni fotografiche per il fotoraddrizzamento e la fotogrammetria.

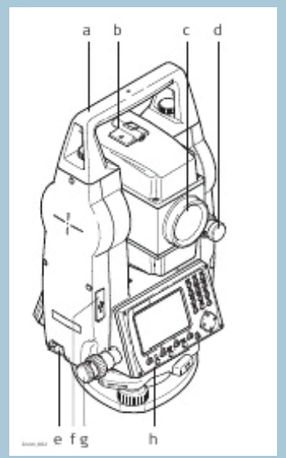
Distanza focale: 26 mm
Iso: 50
Tempo esposizione 1/544s
Apertura diaframma f1.6
Dimensione 5712 x 4284 pixel, pari a 24 MP
Dimensione pixel: 3,87 µm



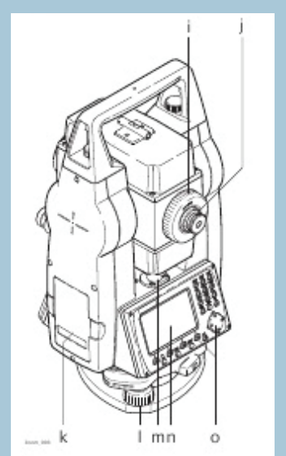
STAZIONE TOTALE GEOMAX ZOOM30

E' uno **strumento** utilizzato per il rilievo topografico indiretto.
Il rilievo indiretto è così denominato in quanto le **misurazioni** non vengono prese direttamente dall'oggetto in questione, ma vengono **acquisite dal risultato di calcoli ed elaborazioni complesse**.
Grazie a questo dispositivo è possibile **misurare angoli (sia orizzontali che verticali) e distanze oblique,** con la relativa gestione grazie ad un display e software correlato.





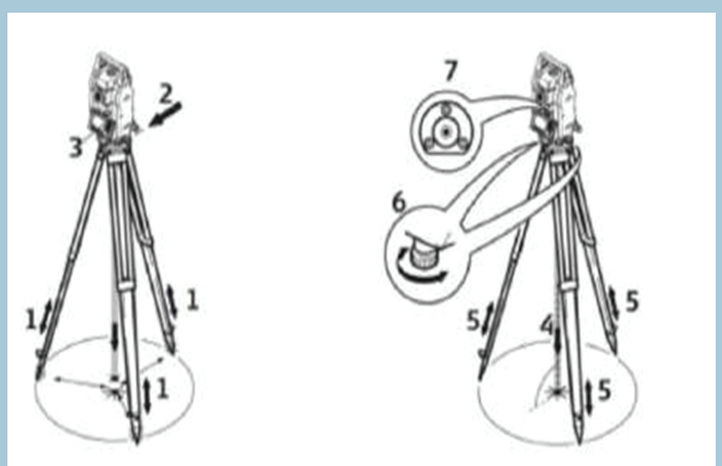
a) Maniglia di trasporto amovibile con vite di montaggio
b) Mirino
c) Obiettivo con Misura Elettronica della Distanza (EDM) integrata
d) Vite micrometrica verticale
e) Interfaccia seriale RS232/USB
f) Porta host USB



i) Ghiera di messa a fuoco immagine del cannocchiale
j) Oculare; reticolo di messa a fuoco
k) Coperchio per batteria
l) Vita calante
m) Livella sferica
n) Display
o) Tastiera

LA MESSA IN STAZIONE

1. Estendere le gambe del treppiede fino ad ottenere una posizione di lavoro comoda.
   Posizionare il treppiede in corrispondenza del punto contrassegnato sul terreno, centrandolo con la massima precisione possibile.
2. Fissare il basamento e lo strumento al treppiede.
3. Accendere lo strumento.
   Se la correzione dell'inclinazione è impostata su un asse, il piombo laser si attiva automaticamente.
4. Muovere le gambe del treppiede (1) e utilizzare le viti calanti (6) del basamento per centrare il piombo (4) in corrispondenza del punto a terra.
5. Regolare le gambe del treppiede (5) per mettere in bolla la livella sferica (7).
6. Utilizzando la livella elettronica, mettere in bolla lo strumento ruotando le viti calanti (6) del basamento.
7. Centrare con precisione lo strumento in corrispondenza del punto a terra spostando il basamento sulla piastra del treppiede (2).
8. Ripetere i passi 6 e 7 fino a quando non si è raggiunta la precisione richiesta.



OPERAZIONI DI MISURAZIONE

FASE PRELIMINARE E RILIEVO DIRETTO

La fase preliminare vede una **prima analisi dell'edificio**, in particolar modo dell'ala sud porticata del Castello del Valentino.

Essa è stata effettuata mediante la realizzazione di **EIDOTIPI** (fig.1), comprendendone così i diversi rapporti volumetrici e i dettagli costruttivi.
Per un'analisi più accurata e puntuale sono state **annotate le misure** su di essi e sono stati **individuati circa cinquanta punti** da collimare in fase di rilievo con la stazione totale.

Successivamente si è svolta la **fase di cattura fotografica** (esempi di alcune fotografie: fig.2-3-4-5) sia a scala più estesa che di dettagli della facciata necessaria per la realizzazione del fotoraddrizzamento.

È una **metodologia di studio e documentazione delle caratteristiche architettoniche di un sito preso in considerazione che coinvolge la misurazione diretta sul campo di tutte le dimensioni ed i dettagli utili per restituire le informazioni** necessarie ed è possibile, appunto, il confronto diretto tra l'oggetto e un "campione" di dimensione nota.

Per il nostro rilievo diretto è stato utilizzato il **distanziometro**. Il lavoro è stato svolto rilevando le misure e annotando i punti presi in considerazione sugli eidotipi. I dati forniti da questo rilievo diretto saranno poi utili alla **restituzione del prospetto dell'edificio**.

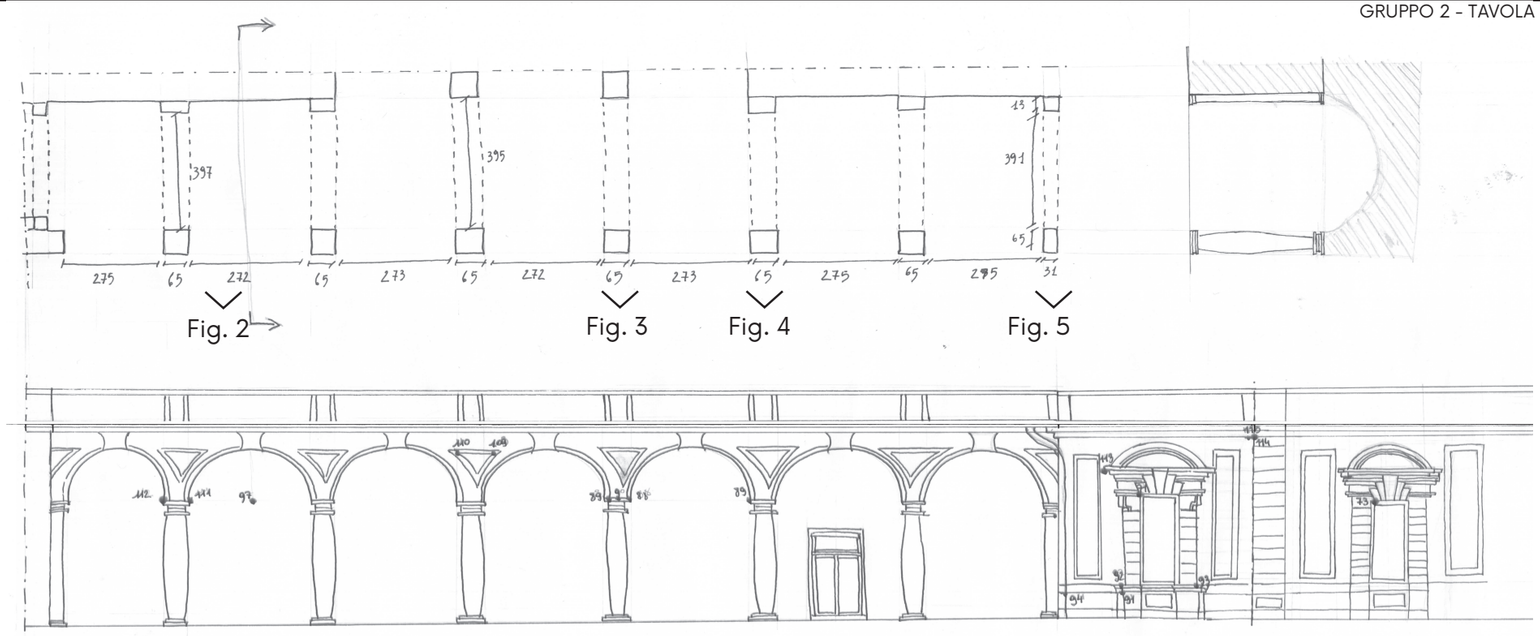


Fig. 1: EIDOTIPO



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



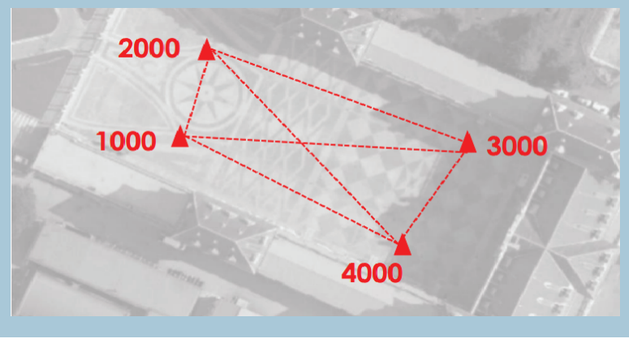
Fig. 5

Per la fase di cattura fotografica ci siamo posizionati a quattro metri dalla campata del nostro caso studio.

coni ottici

FASE DI RILIEVO CON LA STAZIONE TOTALE

Procedendo con le fasi di rilievo si è provveduto con il **posizionamento della stazione totale sul punto 1000** (vd. libretto di campagna), allineando l'asse verticale della stazione in corrispondenza del punto di stazione, già noto ed evidenziato come punto di riferimento.
Individuati i punti utili da rilevare sulla facciata, è iniziata la fase di rilievo sui vari livelli della campata, individuando i **punti che potessero restituire anche aggetti e modanature dell'edificio** per un maggior livello di dettaglio.





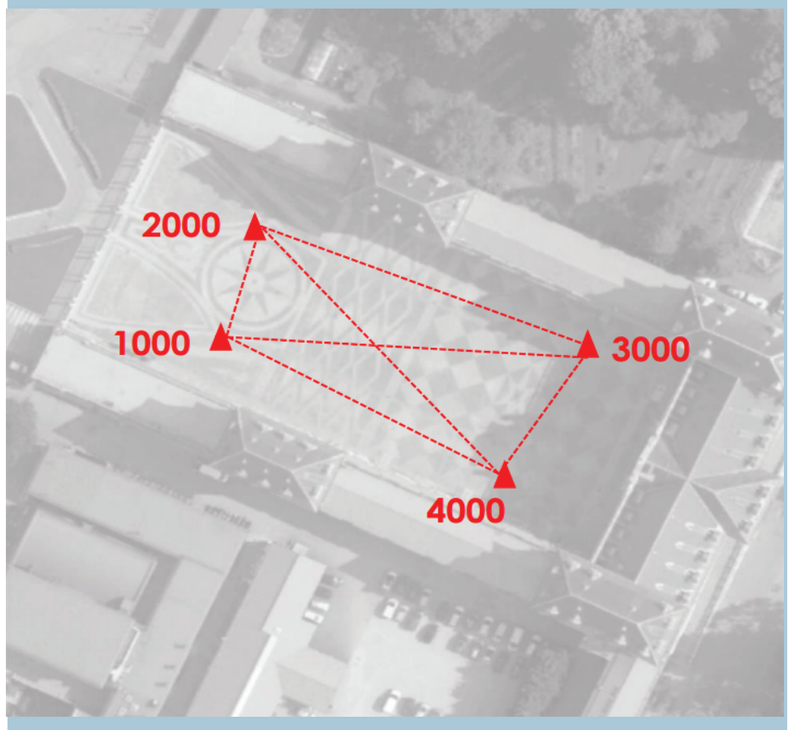




LIBRETTO DI CAMPAGNA

Il libretto di campagna raccoglie i **dati e le misure della rete di inquadramento**, eseguite dalla docenza grazie a un rilievo topografico tramite stazione totale.

Per la **misura di vertici topografici sono state utilizzate le letture coniugate** (calcolo delle determinazioni mediante Regola di Bessel e formula Semidifferenza) ripetute su più strati, con l'obiettivo di minimizzare l'influenza degli errori sistematici.



Schema di rete del Castello del Valentino

CONTENUTI PRINCIPALI DEL LIBRETTO DI CAMPAGNA

Valori forniti dalla docenza:
-Letture coniugate (cerchio sx e dx) della direzioni azimutali e angoli zenitali (strati per ogni punto)
- Distanze inclinate
- Altezze strumentali (della stazione e del prisma)

Valori utilizzati per la nostra elaborazione:
- Valori degli angoli, tramite la Regola di Bessel (d. azimutali) e la Formula della semi-differenza (angoli zenitali)
- Valori medi di angoli e distanze
- Distanze orizzontali

		h	Hz	V	Di	DIST ORIZZONTALE
P	1000	1,504				
v	2000	1,538				
	2001	1,538	352,419	100,12	19,077	
	2002	1,538	152,42	299,882	19,077	
			352,42	100,119		
	2003	1,538	352,419	100,12	19,077	
	2004	1,538	152,42	299,881	19,077	
			352,419	100,12		
	2005	1,538	352,419	100,122	19,077	
	2006	1,538	152,42	299,882	19,077	
			352,42	100,12		
MEDIA			352,42	100,12	19,077	19,077
	3000	1,570				
	3001	1,587	36,8870	100,235	56,271	
	3002	1,587	236,8870	299,7690	56,271	
			36,887	100,233		
	3003	1,587	36,8879	100,234	56,271	
	3004	1,587	236,890	299,768	56,271	
			36,8889	100,233		
	3005	1,587	36,8854	100,2340	56,271	
	3006	1,587	236,886	299,769	56,271	
			36,8856	100,232		
MEDIA			36,8872	100,233	56,271	56,271
	4000	1,624				
	4001	1,624	69,8774	100,309	46,051	
	4002	1,624	269,879	299,693	46,051	
			69,8783	100,308		
	4003	1,624	69,8803	100,309	46,051	
	4004	1,624	269,881	299,693	46,051	
			69,8806	100,308		
	4005	1,624	69,8798	100,308	46,051	
	4006	1,624	269,88	299,693	46,051	
			69,8798	100,307		
MEDIA			69,8795	100,308	46,051	46,050

LEGENDA

- P = PUNTO DI STAZIONE
- h = ALTEZZA STRUMENTALE
- v = VERTICE RISPETTO CUI SI RIFERISCONO LE MISURE
- Hz = LETTURA DIREZIONE AZIMUTALE
- V = LETTURA ANGOLO ZENITALE
- Di = DISTANZA INCLINATA

ELABORAZIONE DATI DEL LIBRETTO DI CAMPAGNA

Per la correzione degli errori del cerchio orizzontale abbiamo applicato la regola di Bessel.
Se la lettura cerchio sinistra è maggiore rispetto a quella del cerchio destra, allora verranno sommati 200 gradi centesimali, in caso contrario, verranno sottratti.
In seguito abbiamo calcolato la media per ottenere la lettura della direzione azimutale.

Per le letture al cerchio verticale si è applicata la formula della semidifferenza per le letture di prima e seconda posizione. Infine si calcola nuovamente la media.

Prendendo in considerazione le distanze inclinate, si calcola la media.

Come ultima cosa abbiamo calcolato la distanza orizzontale utilizzando i dati ricavati precedentemente.

REGOLA DI BESSEL

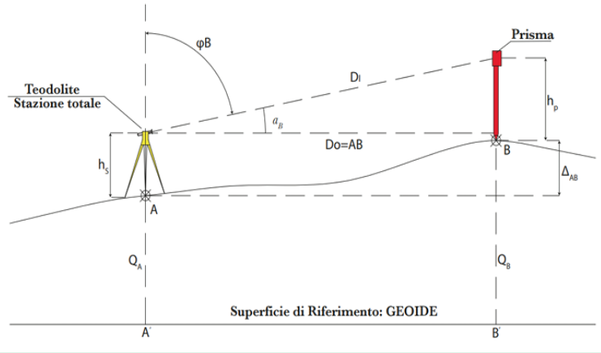
$$L = \frac{L_{CS} + (LCD \pm 200^g)}{2}$$

FORMULA DELLA SEMIDIFFERENZA

$$Z = \frac{L_S + (LD + 400^g)}{2}$$

DISTANZA ORIZZONTALE

$$D_o = Di. \sin \varphi B$$



COMPENSAZIONE PLANIMETRICA

Il calcolo della compensazione è stato eseguito tramite l'interfaccia **software di StarNet**, un programma in grado di compensare al "minimi quadrati" la più generale rete topografica.

Per la compensazione planimetrica si deve impostare:
- **Adjustment Type:** 2D (rete planimetrica)
- **Units:** unità di misura lineare (metri) ed angolare (gons)
- **Chi square Significance Level:** 5%
- **Coordinate:** Est-Nord con Nord = Y
- **Error Propagation:** confidence level 68%

FASI

1. rete con coordinate approssimate e vertici noti (1000, 2000, 3000, 4000)
- Queste coordinate mostrano al programma quale sia all'incirca la geometria della rete.
- Abbiamo inserito le coordinate approssimate con il codice C.
- I due punti esclamativi (!!) indicano che si tratta dell'origine del sistema di riferimento.
- Il codice B indica l'orientamento (l'angolo formato tra l'asse delle Y e la congiungente 1000-2000).

```
1  C    1000      100 100 !!
2  C    2000      100 119
3  C    3000      146 128
4  C    4000      146 100
5
6  B    1000-4000    100 !
```

2. direzioni azimutali da una stazione agli altri 3 vertici
- Questi dati si estraggono dal libretto di campagna.

Trattandosi di rete planimetrica, saranno estratte la direzione azimutale e la distanza orizzontale.
Questi comandi sono stati ripetuti per tutte le stazioni fatte e riportate sul libretto di campagna (nel nostro caso 4).
- DB rappresenta il punto della stazione totale di riferimento.
- DN rappresenta il punto collimato.
- DE rappresenta il termine della stazione.

```
 9  DN   2000      352.4196
10  DN   3000      36.8872
11  DN   4000      69.8795
12  DE
13
14  DB   2000
15  DN   3000      185.8366
16  #DN  4000      218.9196
17  DN   1000      279.4766
18  DE
19
```

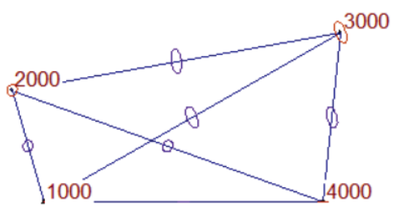
3. distanze dalle stazioni ai vertici
- Abbiamo inserito delle diverse distanze orizzontali.
- D rappresenta la distanza orizzontale ottenuta dal libretto di campagna

```
33  D    1000-2000    19.077
34  D    1000-3000    56.271
35  D    1000-4000    46.050
36
```

4. controllo degli errori e rete di inquadramento
Una volta eseguita la compensazione dal programma, abbiamo controllato i risultati (Output>Listing). Ricevuto il risultato Exceeded Upper Bound, è stata individuata l'osservazione con valori alti. Escludendola dal calcolo con il codice #, abbiamo superato il chi-square test.

Per concludere abbiamo individuato la rete di inquadramento attraverso il comando Adjust Network.

```
Warning: The Chi-Square Test at 5.00% Level Exceeded Lower Bound
Lower/Upper Bounds (0.606/1.395)
```



COMPENSAZIONE ALTIMETRICA

Per la compensazione altimetrica le impostazioni preliminari sono le stesse che si inseriscono per la compensazione planimetrica.

Per eseguire tale calcolo abbiamo bisogno dei seguenti dati:
- Punto di quota nota: nel nostro caso lo assegneremo ad un punto della rete (solitamente l'origine del sistema)
- Dislivelli tra i punti misurati durante le operazioni di misura e calcolate nel libretto di campagna
- Distanze approssimate tra i punti rispetto ai quali viene calcolato il dislivello

FASI

1. vertice origine quota e relativa quota
- Con il codice E si indica l'origine del sistema di riferimento (in questo caso è impostato sul 100)

2. dislivelli e distanze approssimate tra i vertici
- Inserimento dei dislivelli e delle distanze approssimate
- Con il codice L si indicano i dislivelli tra i punti di stazione e il punto collimato

3. controllo degli errori
Dopo aver riportato tutti i dati, abbiamo visualizzato le coordinate e gli errori. L'errore non superava i 2 cm.

```
 1  E    1000     100 !

 4  L    1000-2000    -0.070   19
 5  L    1000-3000    -0.272   56
 6  L    1000-4000    -0.343   46
 7
 8
 9  L    2000-3000    -0.196   55
10  #L   2000-4000    -0.259   54
11  L    2000-1000    0.072    19
12
13  L    3000-4000    -0.068   28
14  L    3000-1000    0.268    56
15  L    3000-2000    0.205    55
16
17  L    4000-3000    0.070    28
18  L    4000-2000    0.271    54
19  L    4000-1000    0.340    46
```

RISULTATI DELLE COMPENSAZIONI

COORDINATE PLANIMETRICHE

STATIONS	COORDINATES		ERRORS	
	meters		meters	
Station	X	Y	X	Y
1000	100.0000	100.0000	0.000000	0.000000
2000	94.8336	118.3641	0.001165	0.001393
3000	148.8814	127.8763	0.001524	0.002503
4000	146.0518	100.0000	0.001224	0.000000

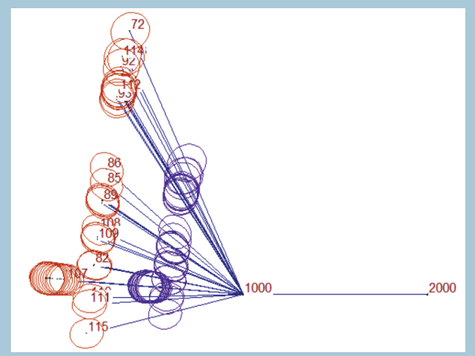
COORDINATE ALTIMETRICHE

STATION	COORDINATES	ERRORS
	meters	meters
Station	Z	StdDev
1000	100.0000	0.000000
2000	99.9292	0.000854
3000	99.7287	0.001044
4000	99.6591	0.001060

CALCOLO CELERIMETRICO

Con le stesse impostazioni preliminari delle altre compensazioni, impostando il **sistema di riferimento 3D**, l'adjustment type sarà diverso.
Per calcolare le coordinate dei punti rilevati con l'utilizzo della stazione totale, si usano le coordinate ottenute dalla compensazione planimetrica e da quella altimetrica.

Nel programma si inseriscono i seguenti dati:
- coordinate x, y, z delle stazioni 1000 e 2000 (ottenute dalle compensazioni) e la d. azimutale 1000-2000
- direzioni azimutali tra la stazione 1000 e i punti rilevati (es. "DN 70... ')
- angoli zenitali tra la stazione 1000 e i punti rilevati (es. "V 1000-70... ')
- distanze inclinate tra la stazione 1000 e i punti rilevati (es. "D 1000-70... ')



PUNTI	COORDINATE CALCOLATE		
	m		
	x	y	z
72	88.272	125.955	103.950
73	86.959	119.447	101.484
74	87.052	120.022	105.203
75	85.445	109.223	104.525
76	85.449	109.215	104.530
77	85.418	109.221	104.372
78	84.951	105.640	103.518
79	84.947	105.642	103.479
80	84.558	102.856	103.440

FASI

1. inserimento coordinate
- codice C, nome del punto, coordinata in x, coordinata in y, coordinata in z, tre punti esclamativi per fissare le tre coordinate.

```
2  C   1000     100      100      100      !!!
3  C   2000     119.077  100      99.929   !!!
4  C   3000     113.597  45.396   99.729   !!!
5  C   4000     87.528   55.669   99.659   !!!
```

2. inserimento angoli orizzontali
- Inserimento degli angoli orizzontali compresi tra il vertice di stazione e i punti individuati sul piano, ottenuti dal rilievo celerimetrico
- DB rappresenta il punto della stazione totale di riferimento
- DN rappresenta il punto collimato

```
 8  DB  1000
 9  DN  2000     231.07503
10  DN  70       095.73532
11  DN  71       295.72444
12  DN  72       104.05624
13  DN  73       093.46845
14  DN  74       094.52917
15  DN  75       067.03095
16  DN  76       067.01616
17  DN  77       066.97150
39  DN  99       036.11251
40  DN  100      036.11244
41  DN  101      036.11250
42  DN  102      036.11247
43  DN  103      036.11251
44  DN  104      036.11255
45  DN  105      036.11253
46  DN  106      036.11253
47  DN  107      036.11255
```

3. inserimento angoli verticali
- Inserimento degli angoli verticali compresi tra il vertice di stazione e i punti individuati sul piano, e il rapporto tra l'altezza di stazione e l'altezza del prisma.
- I valori sono quelli che si leggono sul cerchio verticale: (altezza punto di stazione, codice/altezza prisma o punto misurato)

```
111  V   1000-70 093.13453   1.321/0.000
112  V   1000-71 306.85251   1.321/0.000
113  V   1000-72 094.14096   1.321/0.000
114  V   1000-73 099.55698   1.321/0.000
115  V   1000-74 089.72559   1.321/0.000
116  V   1000-75 088.29716   1.321/0.000
117  V   1000-76 088.27220   1.321/0.000
118  V   1000-77 088.85564   1.321/0.000
```

4. inserimento distanza inclinata e altezze
- Inserimento della distanza inclinata e il rapporto tra l'altezza di stazione e l'altezza del prisma.
- D è distanza inclinata

```
59  D   1000-70 24.424   1.321/0.000
60  D   1000-71 24.423   1.321/0.000
61  D   1000-72 28.603   1.321/0.000
62  D   1000-73 23.416   1.321/0.000
63  D   1000-74 24.158   1.321/0.000
64  D   1000-75 17.526   1.321/0.000
```

RADDRIZZAMENTO FOTOGRAFICO

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo di dettaglio che sfrutta il contenuto metrico delle immagini acquisite da sensori digitali.

L'immagine non è immediatamente impiegabile a scopi metrici poichè affetta da deformazioni prospettiche; non munita delle necessarie caratteristiche del disegno cartografico; non ha una scala costante; non è una proiezione ortogonale dei punti della superficie dell'edificio o del terreno; non è inquadrata in un sistema di riferimento noto.

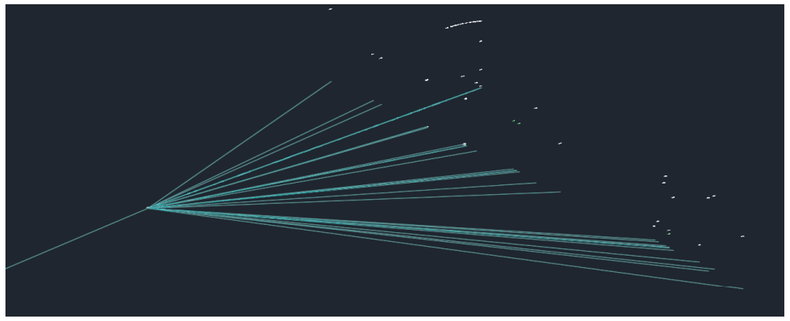
Con la tecnica del raddrizzamento si è in grado di **geo-riferire un'immagine**, associando i vantaggi della fotografia a quelli di una rappresentazione cartografica tradizionale. Viene dunque sfruttata l'immagine per estrapolare le informazioni necessarie, dopodichè questa viene **rielaborata tramite un processo geometrico o analitico, per la restituzione di un prospetto**.
È necessario conoscere le coordinate di almeno 4 punti sull'oggetto opportunamente distribuiti sull'immagine. Le coordinate che vengono utilizzate sono quelle precedentemente ottenute dal rilievo celerimetrico.

Per trasformare una prospettiva centrale in una proiezione ortogonale, vengono messi in gioco 8 parametri fondamentali:
- Due traslazioni
- Una rotazione
- Una variazione di scala in x
- Una variazione di scala in y
- Uno sbandamento
- Una convergenza in x
- Una convergenza in y

FASI

1. rototraslazione su autocad
- Una volta elaborate su Star*Net, le coordinate dei punti misurati durante il rilievo celerimetrico sono state importate su Autocad.
- L'asse x è stato ruotato di 90° così da avere, impostando la vista piana, una visualizzazione bidimensionale dei punti su un piano x-y.

```
77 1.8783 2.0184
78 0.2090 0.8002
84 -3.4049 -3.5434
87 3.3569 0.0484
88 0.4047 0.0016
89 0.000 0.000
90 0.2075 -0.0025
93 13.5212 -2.3245
94 10.2832 -2.5703
115 14.5601 1.9046
```



RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE COORDINATE X-Y-Z DEI PUNTI

2. raddrizzamento fotogrammetrico digitale RDF
Dopo aver scelto l'immagine e i punti, giacenti sullo stesso piano, da utilizzare, si esegue il processo di raddrizzamento con il programma RDF secondo i seguenti passaggi:
- si sceglie il tipo di raddrizzamento da effettuare, in questo caso **analitico** (i punti misurati vengono usati per calcolare i parametri della trasformazione omografica);
- dopo aver aperto la **Tabella coordinate immagine**, si vanno a collimare i punti direttamente sull'immagine e nella tabella vengono registrate le loro coordinate in pixel;
- nella **Tabella coordinate oggetto** si inseriscono le coordinate reali dei punti;
- nella **Tabella coordinate unione** le coordinate in pixel vengono associate alle coordinare reali;
- dopo aver aperto la **Tabella dei residui**, si possono far calcolare al programma i parametri diretti della trasformazione omografica;
- si selezionano i quattro vertici dell'**Area di ricampionamento**, ossia la porzione di immagine da raddrizzare;
- nella finestra **Scala dell'immagine corretta** si inseriscono il valore in metri di un pixel e la risoluzione dell'immagine corretta.

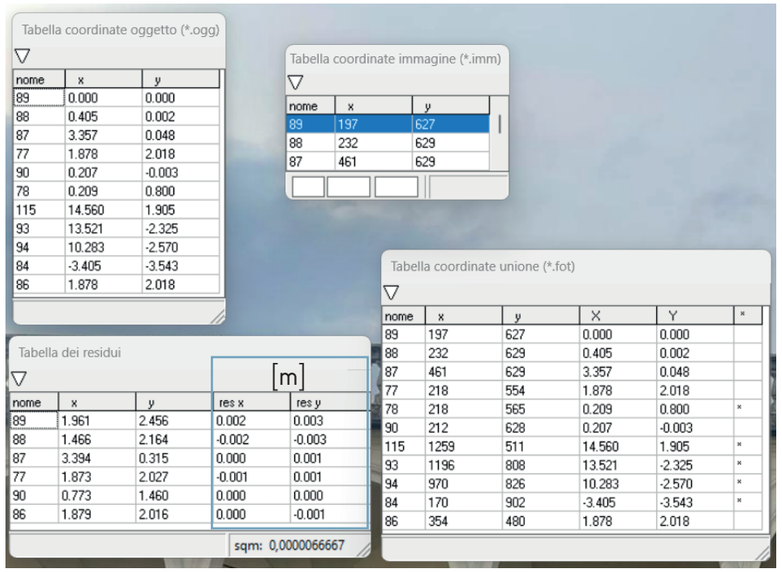


Tabella coordinate oggetto (*.ogg)

nome	x	y
89	0.000	0.000
88	0.405	0.002
87	3.357	0.048
77	1.878	2.018
90	0.207	-0.003
78	0.209	0.800
115	14.560	1.905
93	13.521	-2.325
94	10.283	-2.570
84	-3.405	-3.543
86	1.878	2.018

Tabella coordinate immagine (*.imm)

nome	x	y
89	197	627
88	232	629
87	461	629

Tabella dei residui [m]

nome	x	y	res x	res y
89	1.961	2.456	0.002	0.003
88	1.466	2.164	-0.002	-0.003
87	3.394	0.315	0.000	0.001
77	1.873	2.027	-0.001	0.001
90	0.773	1.460	0.000	0.000
86	1.879	2.016	0.000	-0.001

sqm: 0,0000066667

Tabella coordinate unione (*.fot)

nome	x	y	X	Y	*
89	197	627	0.000	0.000	
88	232	629	0.405	0.002	
87	461	629	3.357	0.048	
77	218	554	1.878	2.018	
78	218	565	0.209	0.800	*
90	212	628	0.207	-0.003	
115	1259	511	14.560	1.905	*
93	1196	808	13.521	-2.325	*
94	970	826	10.283	-2.570	*
84	170	902	-3.405	-3.543	*
86	354	480	1.878	2.018	



FOTO DI PARTENZA (FUORISCALA)



RISULTATO DEL FOTORADDRIZZAMENTO FOTOGRAMMETRICO DIGITALE RDF IN SCALA 1:100

ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA

La fotogrammetria è una **tecnica di rilievo di dettaglio** che permette di **determinare la posizione 3D di punti-oggetto a partire da misure effettuate su immagini** digitali.

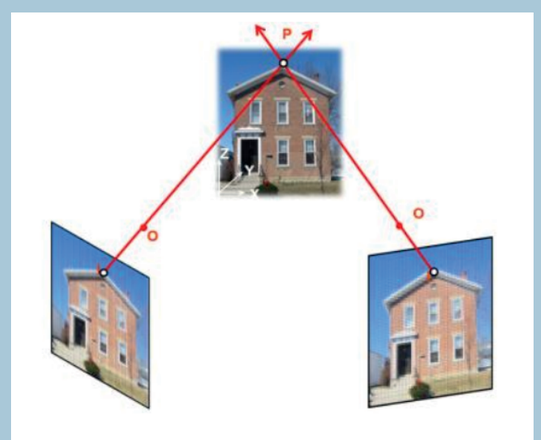
Le **fasi** principali della fotogrammetria digitale da noi utilizzata sono le seguenti:
1. acquisizione di **immagini**;
2. **orientamento** interno ed esterno delle immagini affrontate automaticamente e contemporaneamente;
3. **collimazione** di punti di controllo e valutazione dei risultati;
4. **restituzione** di prodotti metrici: nuvole di punti, ortofoto, modelli digitali di superficie...

Gli algoritmi fotogrammetrici sfruttano l'**assimilabilità delle immagini fotografiche a prospettive centrali**.
La proiezione centrale produce una corrispondenza tra i punti oggetto (3D) e i punti immagine (2D), ossia la loro proiezione centrale.

Per utilizzare il metodo fotogrammetrico è necessario avere **almeno due immagini con punti di vista differenti**, in quanto qualsiasi punto oggetto coincide con l'intersezione di due raggi proiettanti che passano attraverso i corrispondenti punti immagine.

A livello matematico, la fotogrammetria si basa sul presupposto che il **punto oggetto, il centro di proiezione e il punto immagine giacciono sulla stessa linea.** Questo concetto geometrico è espresso dalle **equazioni di collinearità**, che collegano le coordinate di un punto immagine con le coordinate del punto oggetto, attraverso i parametri di orientamento interno ed esterno.

$$x_i = x_0 - c\frac{a_{11}(X-X_0)+a_{12}(Y-Y_0)+a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)}$$
$$y_i = y_0 - c\frac{a_{21}(X-X_0)+a_{22}(Y-Y_0)+a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)}$$

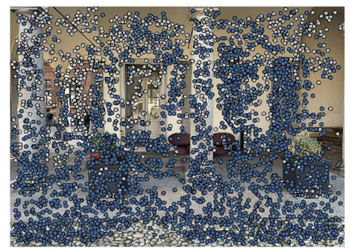


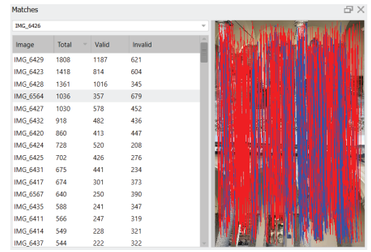
LA TECNICA SFM (STRUCTURE FROM MOTION)

La tecnica SFM ha l'obiettivo di **ricostruire la struttura 3D di una scena statica attraverso una serie di misurazioni proiettive rappresentate da un insieme di immagini 2D**, tramite la stima del movimento della camera che ha acquisito le immagini.

Le 3 **fasi** principali sono:
- **estrazione** di caratteristiche dalle immagini;
- **stima** del movimento della camera;
- **generazione della struttura** tridimensionale dell'oggetto

Il **workflow (flusso di lavoro)** si basa sull'utilizzo dei seguenti punti:
- **Key points:** punti di interesse.
- **Tie points (TP):** punti di legame.
- **Ground control point (GCP):** punti di appoggio.
- **Check point (CP):** punti di controllo.


KEY POINTS

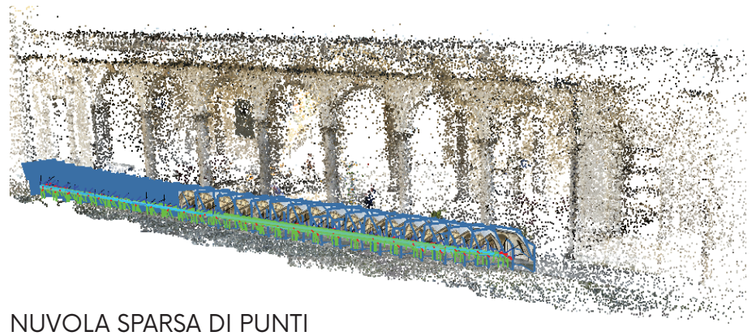


TIE POINTS

Per realizzare la procedura abbiamo utilizzato il programma Agisoft Metashape.

AGISOFT METASHAPE

1. Dopo aver aperto la finestra Workflow > Add Photos abbiamo inserito le immagini (circa 200) con cui abbiamo deciso di lavorare. Se sono presenti informazioni sulla posizione delle camere vanno rimosse in quanto spesso sono affette da errori troppo alti.


NUVOLA SPARSA DI PUNTI
86115 POINTS

2. Abbiamo scelto i valori dei seguenti fattori:
- **Accuracy:** medium (l'accuratezza dell'immagine in base a quanti pixel il programma andrà ad analizzare).
- **Key point limit**, che indica il numero massimo di punti di interesse che il programma può estrarre da ogni immagine.
- **Tie point limit**, ovvero il numero massimo di punti di legame usati per unire le immagini.

Al termine di questa fase di allineamento abbiamo una **stima della posizione delle camere** e al contempo una **nuvola sparsa**, composta dai Tie Points estratti dalle immagini.



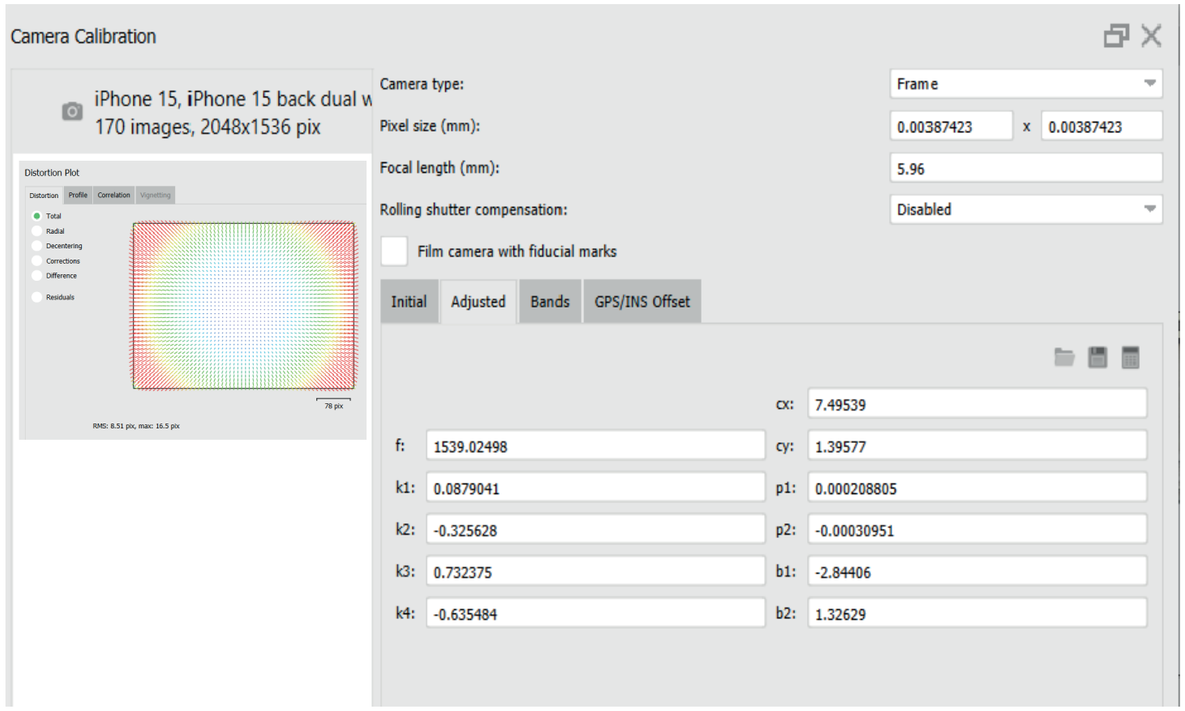


3. Abbiamo iniziato la **collimazione dei punti**, utilizzando l'eidotipo e le coordinate dei punti di controllo; con il comando Reference > Import si importano le coordinate all'interno del programma;

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)
97	79.666600	101.617100	103.503200	0.005389
112	84.066900	99.046400	103.494800	0.005495
73	88.271600	125.955100	103.949800	0.007071
77	85.449200	109.215400	104.530300	0.015105
71	87.202300	120.635900	103.949900	0.019882
113	87.190500	120.044100	104.788800	0.026821
114	87.835900	123.394600	105.480110	0.037187
Total Error				
Control points				0.015646
Check points				0.028382

4. Cliccando su View errors, si verifica che **gli errori sulle coordinate dei punti** non siano troppo elevati, ossia che si mantengano **sotto i due centimetri**.

5. Dopo aver aperto la finestra Tools > Camera Calibration, visualizziamo i **dati relativi alla calibrazione della fotocamera**;

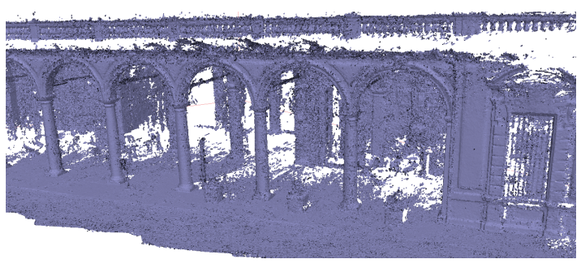


6. Successivamente abbiamo creato una **nuvola densa a partire dalla nuvola sparsa** con il comando Workflow > Build Dense Cloud e della quale abbiamo impostato i seguenti parametri:
- **Quality:** ultra-high (più alto è questo parametro, maggiore sarà la risoluzione della nuvola di punti e di conseguenza la sua densità).
- **Depth filtering:** mild (permette di applicare diversi livelli di filtri alla nuvola di punti in modo da ridurne il rumore ed eliminare i c.d. outliers).
- **Calculate point colors:** "spunta" (fa in modo che ad ogni punto della nuvola densa che verrà calcolato saranno associate anche le informazioni radiometriche oltre a quelle spaziali).
Questo processo ci mostra l'immagine tridimensionale in maniera non uniforme.

7. Per migliorare il modello deve essere realizzata una mesh, ovvero una superficie continua che si forma utilizzando la nuvola densa con l'unione dei punti in tanti triangoli.
A questo punto possiamo visualizzare un modello 3D che non è più discontinuo.



NUVOLA DENSA
32181926 POINTS - ULTRA HIGH QUALITY



MESH
619718 FACES - HIGH QUALITY

8. A questo punto abbiamo generato la texture per ricavere ulteriori informazioni sul caso studio (il colore in particolare) direttamente dalle immagini e non dalla nuvola di punti, per aver un modello più vicino alla realtà.

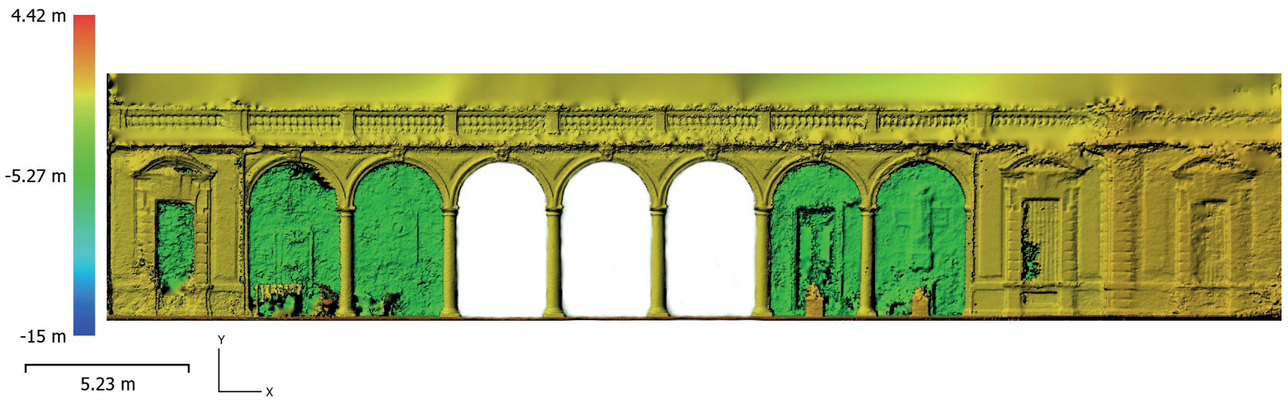
9. Infine, siamo passate all'elaborazione del DEM (Digital Elevation Model) che permette di descrivere planetricamente e altimetricamente ciò che è stato rilevato e fotografato, per la ricostruzione digitale dell'edificio.
Il modello che si è generato però non è ancora utilizzabile per la realizzazione del prospetto: abbiamo quindi generato un ortofoto che inseriremo poi su AutoCAD, dove si moltiplica la larghezza del pixel per la sua dimensione: il valore ottenuto è la scala dell'immagine che si va ad inserire sotto la voce "scala".



MESH TEXTURIZZATA

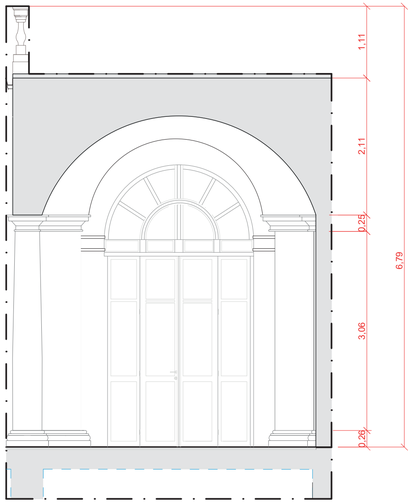


ORTOMOSAICO IN SCALA 1:200

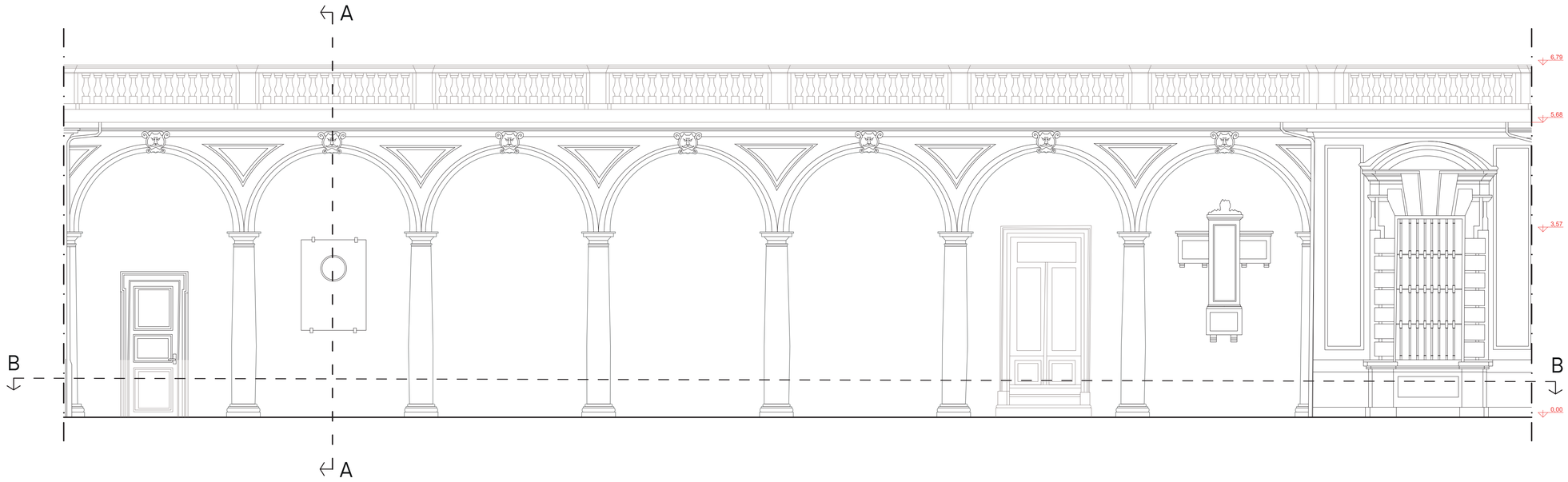


BUILD DEM IN SCALA 1:200

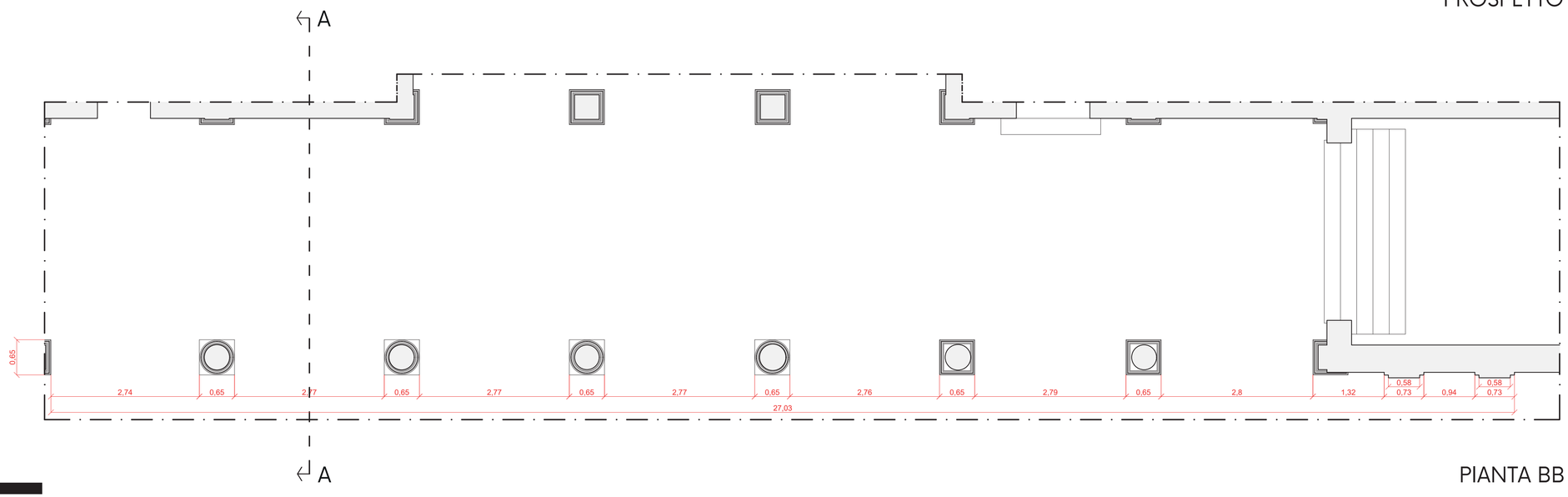
RESTITUZIONE GRAFICA



SEZIONE AA



PROSPETTO



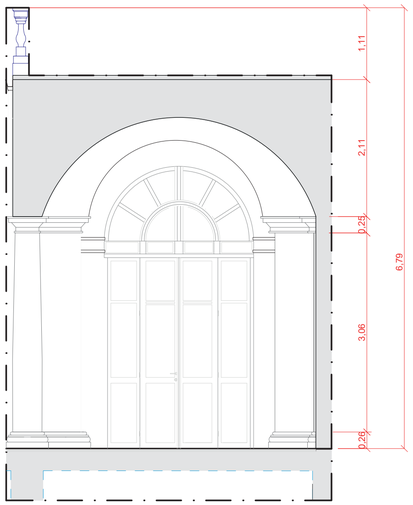
PIANTA BB

LINEA DI TERRA
LINEA IN SEZIONE
LINEA IN PROIEZIONE 1° LIVELLO
LINEA IN PROIEZIONE 2° LIVELLO (IPOTIZZATO)
LINEA IN PROIEZIONE 3° LIVELLO
QUOTE
LINEA DI SEZIONE
FONDAZIONI IPOTIZZATE

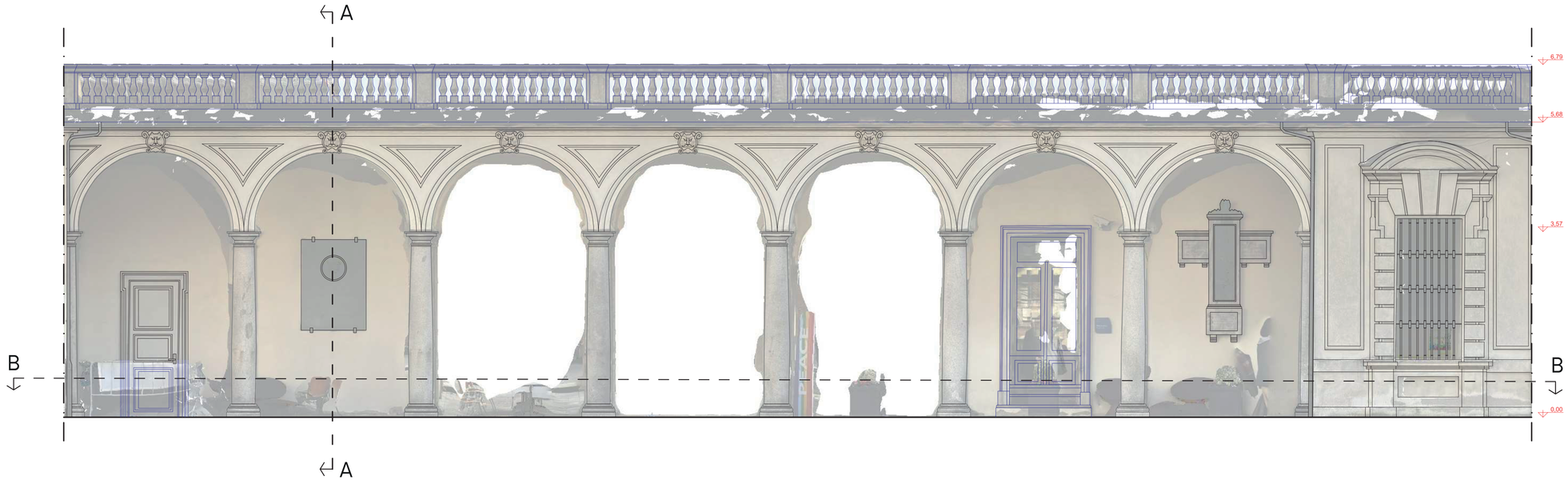
SCALA 1:50

0 5 10

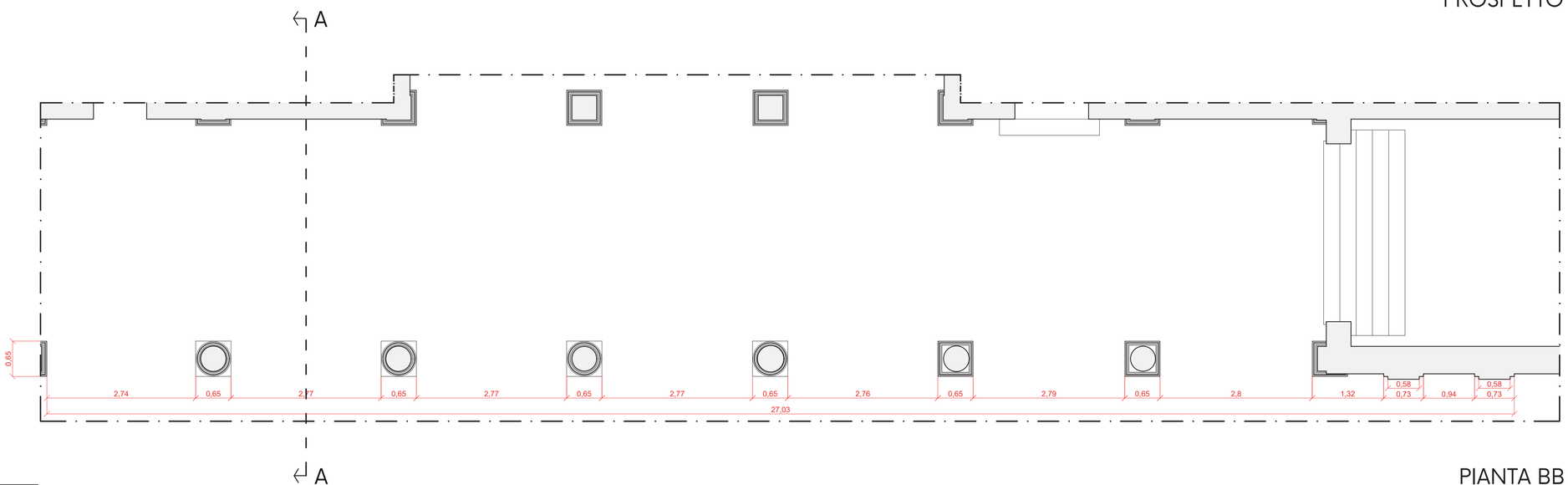
CONFRONTO SU ORTOFOTO



SEZIONE AA



PROSPETTO



PIANTA BB

LINEA DI TERRA
LINEA IN SEZIONE
LINEA IN PROIEZIONE 1° LIVELLO
LINEA IN PROIEZIONE 2° LIVELLO (IPOTIZZATO)
LINEA IN PROIEZIONE 3° LIVELLO
QUOTE
LINEA DI SEZIONE
FONDAZIONI IPOTIZZATE

SCALA 1:50

0 5 10