



**POLITECNICO DI TORINO**  
ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

**METODI REALITY BASED E HBIM PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO**  
Il caso studio della villa romana di Costigliole Saluzzo



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Relatore  
Spanò Antonia Teresa

Correlatore  
Chiabrando Filiberto

Candidato  
Dodero Podio Federico



Politecnico di Torino  
Facoltà di Architettura  
a.a 2017-2018



Corso di Laurea Magistrale in  
Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea

METODI REALITY BASED E HBIM PER IL  
PATRIMONIO ARCHEOLOGICO  
Il caso studio della villa romana di Costigliole  
Saluzzo

REALITY BASED METHODS AND HBIM FOR  
ARCHAEOLOGICAL HERITAGE  
The study case of roman villa of Costigliole  
Saluzzo

Relatore: *Spanò Antonia Teresa*

Correlatore: *Chiabrando Filiberto*

Candidato:  
*Dodero Podio Federico*



**REALITY BASED METHODS**



# INDICE

## 1. INTRODUZIONE

|                      |   |
|----------------------|---|
| Oggetto dell'analisi | 1 |
| Obiettivi            | 1 |

## 2. QUADRO METODOLOGICO DI RILIEVO E GESTIONE DATI

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Premessa   | 5  |
| 2.2 Il rilievo archeologico stratigrafico                                  | 6  |
| 2.2.1 Alcuni concetti alla base della stratigrafia                         | 6  |
| 2.2.2 Lo scavo archeologico stratigrafico                                  | 8  |
| 2.2.3 Rilievo stratigrafico applicato allo scavo                           | 10 |
| 2.3 Applicazione dei metodi reality-based al patrimonio archeologico       | 11 |
| 2.4 La rete di inquadramento   | 12 |
| 2.5 Il rilievo topografico in supporto al rilievo di dettaglio             | 14 |
| 2.5.1 Misurazione di punti con il metodo tradizionale:<br>la celerimensura | 14 |
| 2.5.2 La stazione totale   | 15 |
| 2.5.3 Sistemi GPS/GNSS   |    |
| 2.6 Rilievo di dettaglio attraverso la fotogrammetria                      | 23 |
| 2.6.1 La tecnica fotogrammetrica   | 23 |
| 2.6.2 Dalla stereoscopia alla fotogrammetria digitale                      | 25 |
| 2.6.3 Concetti generali  | 27 |
| 2.6.4 La fotogrammetria digitale   | 29 |
| 2.6.5 Ripresa dei fotogrammi   | 30 |
| 2.6.6 Prese fotogrammetriche terrestri                                     | 33 |
| 2.6.7 Prese fotogrammetriche aeree   | 38 |
| 2.7 Rilievo di dettaglio con tecnologia LIDAR                              | 41 |
| 2.8 I sistemi Informativi Geografici (GIS)                                 | 45 |
| 2.8.1 La geografia   | 46 |
| 2.8.2 Il sistema GIS e SIT   | 47 |
| 2.8.3 Sistemi di riferimento   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 2.9 Modellazione digitale: BIM                    | 49 |
| 2.9.1 La progettazione nel BIM                    | 50 |
| 2.9.2 Confronto tra la rappresentazione BIM e CAD | 52 |
| 2.9.3 L'evoluzione del BIM                        | 53 |
| 2.9.4 HBIM  | 55 |

### **3. SCELTA DEL CASO STUDIO: La villa romana di Costigliole Saluzzo**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Inquadramento territoriale, l'area del saluzzese                                    | 59 |
| 3.2 Il comune di Costigliole Saluzzo  | 70 |
| 3.3 Introduzione al caso studio: la villa romana di Costigliole Saluzzo                 | 72 |
| 3.4 Evoluzione storica dell'area Cisalpina e Cispadana tra il II sec a.C e il V sec d.C | 74 |
| 3.5 Ricostruzione delle connessioni del tessuto viario romano nell'Italia occidentale   | 80 |

### **4. CAMPAGNA DI MISURE**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Il rilievo 3D tramite il progetto 4DILAN | 85 |
| 4.2 Acquisizione dati sul campo              | 86 |

### **5. CREAZIONE DELLE NUVOLE PUNTI**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1 Controllo e correzione dei fotogrammi                  | 102 |
| 5.2 Elaborazione dati voli U.A.V                           | 103 |
| 5.3 Elaborazioni rilievo terrestre laser e fotogrammetrico | 108 |

## **6.LA VILLA: origine del manufatto e evoluzione del sito archeologico**

|  |     |
|--|-----|
| 6.1 Il complesso della villa romana di Costigliole Saluzzo | 119 |
| 6.2 Evoluzione storica del complesso                       | 121 |
| 6.3 Lo scavo archeologico                                  | 123 |
| 6.4 Ricostruzione volumetrica del complesso tramite L'HBIM | 130 |
| 6.4.1 Definizione dei locali                               | 130 |
| 6.4.2 Pavimentazioni                                       | 134 |
| 6.4.3 Apparati murari                                      | 136 |
| 6.4.4 Coperture  | 140 |
| 6.4.5 Elaborazione spaziale del complesso                  | 142 |
| 6.4.6 Approfondimento inerente al complesso vinicolo       | 146 |

## **7. CONCLUSIONI**

153

## **BILIOGRAFIA**

155

## **ALLEGATI**

160

**1.**

# **Introduzione**

# 1. INTRODUZIONE

## OGGETTO DELL'ANALISI

Il presente lavoro ha come oggetto l'applicazione dei metodi della geomatica rivolti allo studio del patrimonio archeologico, in questo preciso caso si andrà a trattare la villa romana sita nel comune di Costigliole Saluzzo, a pochi chilometri dal centro urbano di Saluzzo.

Costigliole Saluzzo ha goduto, fin dall'antichità, di una certa importanza dovuta alla sua posizione strategica legata allo sbocco in pianura del Varaita, sulla destra orografica del torrente, in prossimità del punto di raccordo tra il percorso vallivo di collegamento transalpino e l'itinerario pedemontano che verosimilmente univa i centri posti ai margini della pianura.

L'importanza di questa posizione viene rimarcata anche in epoca tardo-medievale (circa XIII-XV sec D.C) con la costruzione di tre separati fortificati: Il Castello Rosso, il Castellotto e il Castello Reynaudi.

La villa romana, sita in località cimitero, poco distante dal centro storico del piccolo paese, con la sua estensione di circa 3 ettari rappresenta un unicum in tutta l'Italia settentrionale per la tipologia dell'impianto.

Attualmente gli scavi sono ancora in corso e molte aree devono ancora essere esplorate, dove vi è stata già un'indagine sono stati ritrovati prevalentemente le pavimentazioni e le fondamenta delle murature senza contare ritrovamenti di suppellettili, oggetti utilizzati nella vita di tutti i giorni e alcune monete.

## OBIETTIVI

La tesi mira, grazie all'utilizzo dei metodi reality based e HBIM alla rappresentazione del territorio attraverso il GIS, a creare e fornire uno strumento di supporto alla comunicazione dei segni lasciati dalle popolazioni che hanno vissuto l'area nord-est padana. Le metodologie di rilievo geomatico rispondono all'esigenza di trattare in modo interdisciplinare e interoperabile grandi quantità di dati e di informazioni da questi derivate, di natura e caratteristiche diverse, rilevati con una crescente molteplicità di procedure e che devono essere necessariamente organizzati, elaborati, gestiti, rappresentati in cartografie e utilizzati in tempi brevi per una corretta rappresentazione e una buona conoscenza della situazione territoriale.<sup>1</sup>

Questa è la ragione per cui negli ultimi anni è diventato essenziale l'utilizzo delle più aggiornate tecniche di rilievo che beneficiano del grado d'automazione, la facilità di configurarsi con le diverse situazioni e velocità di acquisizione.

“La continua evoluzione delle tecniche di rilievo e modellazione 3D basate su sensori e lo sviluppo di sistemi sempre più performanti per la visualizzazione di dati digitali evidenziano il valore aggiunto dato dall'uso di queste metodiche nell'ambito archeologico. In particolare appare sempre più chiaro il contributo attivo che tali tecnologie possono fornire nella fase interpretativa, nella conservazione e archiviazione dei dati e

<sup>1</sup>:Enciclopedia Treccani

nella valorizzazione del bene attraverso il web.”<sup>2</sup>

Il rilievo ,oggetto di questo studio, si è svolto grazie a una collaborazione con i professori Diego Elia e Valeria Meirano dell’Università degli Studi di Torino che coordinano gli scavi archeologici presso la villa romana di Costigliole Saluzzo.

Durante lo stage e successivi incontri, è stato raccolto il materiale su cui si basano le elaborazioni presenti in questa trattazione, il team studentesco 4DILAN (4th dimension in landscape and artifacts) invece ha eseguito la campagna misure in loco.

Si realizzerà un modello architettonico mirato alla ricostruzione dell’intero organismo della villa, che ora si presenta con limitati alzati e alcune pavimentazioni, utilizzando come punto di partenza il materiale ottenuto dal rilievo tramite sistemi di fotogrammetria aerea, in particolare vi è stato l’impiego di un UAV (Unmanned Aerial Vehicles) che ha permesso di avere immagini aeree d’insieme ad alta risoluzione della superficie interessata e prossima agli scavi, per poi procedere aumentando il dettaglio sino a giungere a un’analisi puntuale con l’utilizzo di modelli 2D e 3D.

Inoltre, grazie allo strumento BIM (Building Information Modeling), si cercherà di integrare al modello volumetrico le informazioni rilevate e selezionate dagli archeologi, in modo da ottenere una documentazione affidabile, consultabile e implementabile in tempi successivi.

Essendo un bene culturale, fondamentale è il promuoverne lo studio, la conoscenza e la libera fruizione in modo da incrementare lo sviluppo della cultura.

2:G. Guidi, F. Remondino, M.Russo, Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico, 2012

**2.**

**Quadro  
metodologico  
del rilievo e  
gestione dati**

## 2.1 PREMESSA

Il rilievo è il massimo strumento per registrare, leggere e discretizzare tutto l'insieme di dati e informazioni generati dalla storia e cultura di una determinata area.

Analizzando il processo della ricerca il rilievo dell'architettura ne risulta un elemento fondamentale e, di egual valore, è la preparazione metodologica e conoscitiva attraverso la verifica pratica creando così un forte legame con le strutture e i materiali della costruzione.

Attraverso questo campo di studi possiamo quindi pensare di risalire alle tecniche, conoscenze in ambito edilizio, delle popolazioni che hanno edificato l'edificio fino a giungere all'insieme realizzato ricreandone sostanzialmente la storia, le forme.

Il rilievo indica una dissezione dell'oggetto in analisi in modo da analizzarlo per conoscere il più dettagliatamente possibile le sue dimensioni, proporzioni, le relazioni che lo connettono ad altre parti dell'oggetto e che fanno in modo da poterlo percepire come un unico organismo anche se in alcuni casi, come il nostro, i resti a noi pervenuti sono molto limitati.

L'elemento cardine del rilevare sono le misurazioni perché sono il mezzo più immediato per rispondere alle domande che ci poniamo sull'oggetto ma, anche queste sottostanno al concetto di selezione che rappresenta un'ulteriore passo verso una "raffigurazione misurabile".<sup>1</sup>

Trattando l'architettura, l'iter della rilevazione, al fine di giungere a una esaustiva conoscenza del manufatto, deve basarsi su una approfondita documentazione a carattere generale fino a giungere a restituire un elaborato grafico con dei rapporti dimensionali ma anche con valori formali.

I dati che ne conseguono identificano quindi la base conoscitiva basilare per compiere una lettura critica e interpretativa strettamente connessa allo sviluppo del sito.

Inoltre è necessaria per prevedere gli interventi richiesti dal caso per il restauro e la conservazione.

Essenziale è quindi evidenziare la duplice funzione documentativa e di interpolazione, il rilievo risulta la base su cui strutturare tutte le indagini mirate a creare un catalogo ordinato dell'esistente.

Importante è considerare all'interno di un rilievo soprattutto di un oggetto storico o di un sito archeologico i rilievi eseguiti precedentemente, a volte cartacei, oppure restituzioni digitali perché, in alcuni casi, rappresentano l'unica testimonianza delle fasi precedenti al nuovo studio.

Considerando uno scavo archeologico, le metodologie di scavo prevedono la rimozione graduale dei vari strati di terreno per arrivare ai reperti più antichi, i rilievi effettuati costituiscono l'unica testimonianza di questa stratigrafia rimossa.<sup>2</sup>

Da quando Saint Aubin o altri autori hanno pubblicato i loro libri riguardanti il rilievo, i metodi di produzione di informazioni spaziali sono stati stravolti a causa di una straor

1: Jean-Paul Saint Aubin, Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura, Moretti e Vitali, 1999, p20-23

2: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012, prefazione

dinaria innovazione tecnologica portata dallo sviluppo di nuove tecniche e metodologie legate alla rivoluzione digitale, basti pensare alla tecnologia LiDAR o alla fotogrammetria integrata agli algoritmi SFM (Structure From Motion).

Sostanziali cambiamenti sono stati anche apportati al metodo in cui il prodotto del rilievo viene reso più efficace e facilmente utilizzabile da altre tecnologie attraverso una archiviazione digitale e quindi una più facile condivisione. "L'interoperabilità semantica" è la soluzione per una gestione e condivisione di questi dati, sia un'interoperabilità di banche dati e quindi condivisione e riutilizzo di informazioni sia la loro interpretazione utilizzando "un'otologia di dominio" come riferimento.<sup>3</sup>

## 2.2 IL RILIEVO ARCHEOLOGICO STRATIGRAFICO

### 2.2.1 ALCUNI CONCETTI ALLA BASE DELLA STRATIGRAFIA

L'archeologia ha come obiettivo la ricostruzione storica della presenza delle popolazioni in una determinata area geografica sulla base delle tracce arrivate fino a noi.

Attraverso il processo di stratificazione del terreno queste tracce, questi reperti si sono conservati.

Possiamo quindi identificare lo scavo moderno non solo come attività d'estrazione di reperti ma anche come interpretazione dei segni umani.

Il terreno è portatore di una moltitudine di informazioni celate e prodotte da un divenire continuo: lo scavo stratigrafico è lo strumento usato dall'archeologia per analizzare delle aree che costituiscono un microcosmo a se stante.<sup>4</sup>

Le stratificazioni del suolo sono il prodotto di continui eventi di accumulo ed erosione, vi è un continuo alternarsi tra fasi di equilibrio e periodi di attività a cui possono essere ricollegati ogni variazione del territorio che ci circonda.

Sulla base di concetti provenienti dalla geologia, il collegamento di ogni singolo strato di terreno a un periodo dipendono dalla collocazione di quest'ultimi.

Se non vi sono stati stravolgimenti portati da fenomeni tettonici, gli strati più profondi sono anche gli strati più antichi e possono essere datati in base al particolato fossile contenuto, principalmente vegetali e specie animali.

La tecnica stratigrafica archeologica si basa su questa relazione ma, proprio per la sua finalità intrinseca di studio delle attività umane, risulta più ricca e complessa da un punto di vista delle informazioni quindi necessita di essere osservata da una scala più ravvicinata per cogliere tutte quelle differenze legate alle trasformazioni del territorio in cui una popolazione ha vissuto.

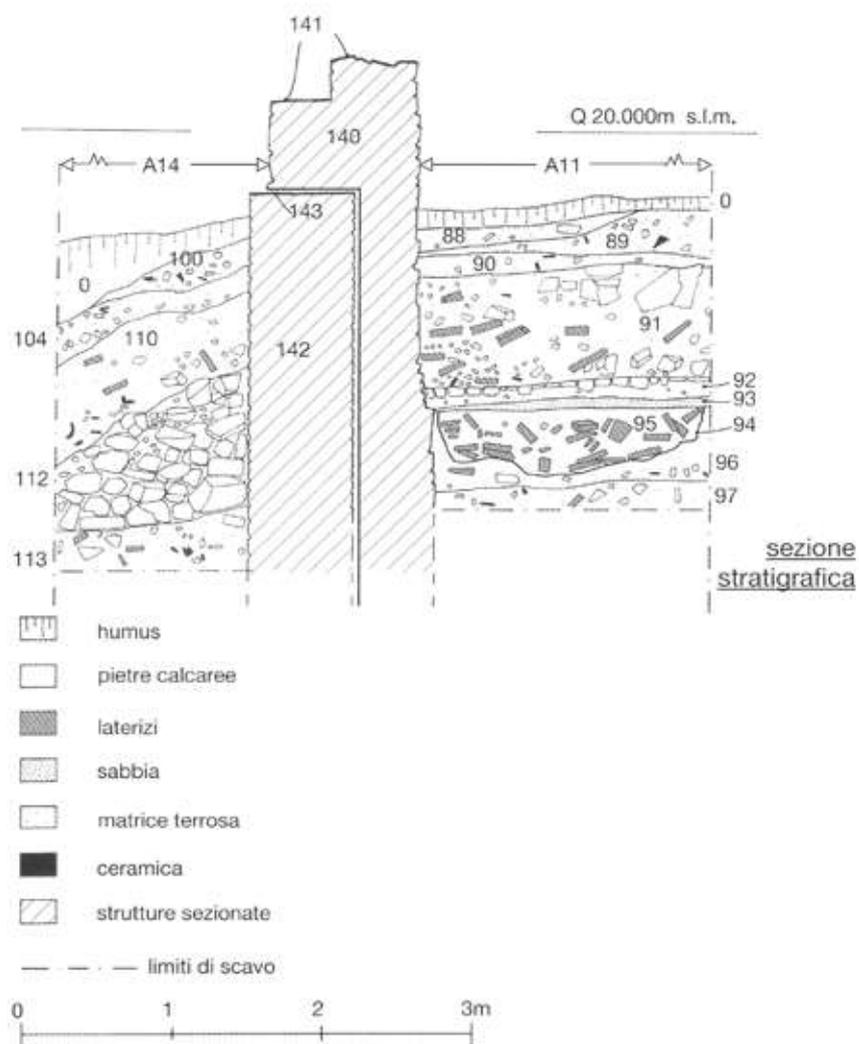
Questa tecnica possiede tante affinità con la geologia, se quest'ultima indaga principalmente le conformazioni rocciose, la stratificazione archeologica studia il sovrapporsi di strati superficiali e incoerenti.

Tutto ciò però crea una separazione importante legata ai legami reciproci tra gli strati

3: D. Brocchinia, F. Chiabrando, E. Colucci, G. Sammartano, A. Spanò, L. Teppati Losè, A. Villa, The geomatics Contribution for the valorisation project in the rocca of San Silvestro Landscape Site, 2017.

4: Daniele Manacorda, Il Mondo dell'Archeologia, 2002

e alla presenza al loro interno di manufatti.<sup>5</sup>(FIG 1)



5:Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2003, p133-136

FIG 1:Sezione stratigrafica  
Fonte:Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2003, p.143

La lettura stratigrafica archeologica studia il sovrapporsi delle diverse componenti chiamate unità stratigrafiche che sono il prodotto di azioni naturali e umane nel tempo. Nei casi in cui gli agenti atmosferici sono più rilevanti, come siti rurali e siti abbandonati per molto tempo, i depositi archeologici possono essere il risultato di azioni di crescita che semplificano il riconoscimento e la stratigrafia può risultare più semplice da leggere. Le stratificazioni si differenziano in positive, frutto di attività di accumulo e costruzione e negative, prodotto di attività di uso e distruzione.

Queste due tipologie di stratificazione si possono trovare in relazione tra di loro in:

- sovrapposizione
- uguaglianza
- assenza

L'insieme di queste caratteristiche definisce la sequenza stratigrafica, prodotto dell'analisi archeologica.<sup>6</sup>

Questa tecnica di rilievo si basa su quattro leggi fondamentali formulate da Harris:

-Sovrapposizione: considerando una sequenza stratigrafica come insieme di strati e interfacce, le unità presenti più in superficie sono più recenti, mentre quelle più basse sono le più antiche perché ognuna deve essere depositata su una base preesistente o deve essere frutto della sua rimozione.

-Successione stratigrafica: ogni unità stratigrafica è collocata all'interno di una sequenza la cui posizione è compresa tra altre due stratigrafie una superiore e una inferiore

-Orizzontalità originaria: uno strato depositato non consolidato tenderà ad assumere una conformazione il più possibile orizzontale.

Uno strato prodotto da un deposito inclinato è determinato o dalle condizioni di contorno oppure si sono già posizionati inizialmente con questa conformazione

-Continuità originaria: ogni deposito è limitato in area definita bacino di deposito, avremo minori strati andando verso il margine e un numero maggiore verso l'interno.

Per questo motivo una parte del margine deve essere erosa o rimossa con le attività di scavo, la sua continuità deve essere quindi cercata, o in caso di assenza, ricreata e spiegata se è possibile.

Questo approccio con una preponderante visione geometrica degli strati è un po' disgiunto dalla componente interpretativa che invece è un aspetto basilare dell'indagine archeologica.

Possiamo quindi affermare che il lavoro dell'archeologo sta nell'identificare e catalogare in una sequenza stratigrafica le singole unità e gli eventi caratterizzanti che hanno portato alla loro trasformazione nel tempo.<sup>7</sup>

### 2.2.2 LO SCAVO ARCHEOLOGICO STRATIGRAFICO

L'investigazione proposta nell'archeologia sta nel cercare tracce e informazioni a ritroso nel tempo.

Lo scavo stratigrafico è il mezzo che utilizza questa procedura di retrospettiva e va ad agire sulle stratificazioni smontandole, azione che porta alla loro completa distruzione. In molti casi durante uno scavo, soprattutto se pluristratificato, bisogna considerare quanti strati, a volte anche rilevanti, bisogna asportare e distruggere per arrivare a un periodo più remoto.

Solitamente queste scelte vengono prese sulla base di valutazioni della qualità e della quantità dei resti sepolti.

Negli anni sono stati sviluppati molti modi di impostare l'azione di scavo di un sito, ma solamente due approcci:

-Metodo arbitrario

-Metodo stratigrafico

Il metodo arbitrario consiste nel decidere una quota precisa in cui fermarsi durante lo

6:A Boato, 2008, p.55-59

7:Harris, Principi di stratigrafia archeologica, Roma 1983

scavo, la sua funzione è quella di riportare alla luce strutture e reperti.

Tutto ciò citato fino a ora in questo metodo non è contemplato, si andranno a distruggere tutte le unità stratigrafiche e quindi anche tutti i loro legami fino a raggiungere la quota prefissata.

Un ulteriore metodo di sterro è anche quello "per livelli", eseguito rimuovendo parti orizzontali e parallele di terreno con spessore determinato.

Questa tipologia di scavo applica il concetto della sovrapposizione che concepisce la successione storica

degli eventi in base alla profondità di recupero: un elemento rinvenuto più in profondità sarà meno recente di uno rinvenuto meno in profondità.

Il metodo stratigrafico invece non asporta il terreno ma lo indaga, ogni singolo reperto viene isolato e esportato seguendo un ordine diametralmente opposto a quello legato alla quota.

Ogni elemento di rilievo viene isolato, rilevato e poi se possibile rimosso in modo da poter accedere agli strati sottostanti.

La lavorazione della porzione di stratificazione porta quindi a una distinzione analitica che compone la base per una ricomposizione delle informazioni lette alla luce delle relazioni spaziali, temporali e culturali.

Applicando questa metodologia avremo l'area di intervento con relativa forma e dimensione dettata dalla massimizzazione dei risultati, riducendone l'impatto.<sup>8</sup>

Solitamente in prima fase, in uno scavo archeologico, si effettua l'eliminazione del primo strato di terreno superficiale essendo inutilizzabile a causa delle troppe interferenze dovute a interventi recenti.

Tali "scortecciamenti" possono portare alla luce una prima parte di materiale sepolto come le creste di eventuali murature, perimetri di ambienti.

La loro funzione è quindi quella di diversificare le strutture dall'intorno andando a delineare la forma complessiva dell'elemento causando però una separazione degli edifici dal resto della stratificazione, disgiungendo le relazioni esistenti tra strutture e elementi.

E' possibile anche ricavare delle trincee stratigrafiche che seguono i corpi murari ritrovati; sono particolarmente adatte nel caso di strade o mura, ma anche in questo caso si andranno a eliminare alcuni legami con l'insieme, permettendo però di creare una base su cui programmare ulteriori indagini.<sup>9</sup>

In molti casi la soluzione più indicata ed efficace è basare le ricerche suddividendole con una rete di saggi di piccole/medie dimensioni.

Questa permetterà di ottenere delle informazioni efficaci e attendibili sulla topografia e sulla storia di un data area del complesso.

Questa metodologia, anche chiamata sistema Wheeler elaborata a metà del XX secolo,

8: Marco Bianchini, *Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia*, Aracne, 2008,

9: Daniele Manacorda, *Il Mondo dell'Archeologia*, 2002

prevede lo scavo di una serie di più o meno numerosi saggi di forma quadrata, posti uno di seguito all'altro, andando a formare un reticolo geometrico in cui le porzioni di terreno residue sono l'unica traccia rimasta della stratigrafia scavata.

Un'ulteriore evoluzione metodologica, oggi anche la più utilizzata, è quella definita "per grandi aree", la base di partenza metodologica è quella precedentemente citata ma elimina i saggi di piccole dimensioni per uno scavo unico di tutto l'oggetto procedendo l'affondo per ogni singola unità stratigrafica su tutta la sua estensione.<sup>10</sup>

### 2.2.3 RILIEVO STRATIGRAFICO APPLICATO ALLO SCAVO

Poiché lo scavo stratigrafico consiste in una rimozione sequenziale di strati di terreno a livello pratico avremo una progressiva rimozione di unità stratigrafiche che devono essere accuratamente documentate.

Gli studi e le esperienze archeologiche hanno delineato che è possibile riassumere questo procedimento in alcune tappe fondamentali:

-Delimitazione dell'area e del bacino di sedimentazione andando ad analizzare l'unità stratigrafica più recente sino al suo margine. (Questa fase rappresenta una complessità ingente legata alla definizione dell'area del bacino proprio perché il suo limite a volte non è così facilmente individuabile.)

-L'area di scavo va inquadrata all'interno di un sistema di punti di rilievo su cui si baseranno tutte le misure della documentazione stratigrafica.<sup>11</sup>

-Prima operazione di rilievo fotografico, grafico in modo da documentare la situazione prima degli scavi.

-In base alle unità stratigrafiche e alle caratteristiche del terreno si andrà a scegliere le attrezzature di scavo più consone.

-Per ogni strato su cui si andrà ad intervenire bisognerà redigere la pianta e bisognerà rilevare le quote.<sup>12</sup>

Le quote vengono rilevate utilizzando un teodolite messo in stazione su un vertice del sistema di punti materializzati e una stadia che andrà posizionata sull'unità stratigrafica.

Inoltre va sempre prodotta una accurata documentazione fotografica

Questa operazione va effettuata per ogni livello perché, quando si andrà a verificare l'unità successiva, non si avrà più nessuna traccia o testimonianza di quella precedente. È facile intuire la mole di lavoro e i tempi che queste tecniche richiedono per ottenere un prodotto.

Bisogna anche considerare che una prolungata esposizione del sito a agenti atmosferici può causare un degrado del reperto.<sup>13</sup>

L'archeologia ha già apportato molte migliorie al suo metodo come la georeferenziazione e l'utilizzo della tecnologia GPS/GNSS velocizza notevolmente la fase di rilievo delle quote.

-Terminata la fase di rilievo e documentazione l'unità stratigrafica viene rimossa e tutti i reperti vengono catalogati.<sup>14</sup>

10: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2003, p.62-66

11: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.59-62,

12: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.98-99

13: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.139-144

14: Marco Bianchini, Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia, Aracne, 2008, Capitolo V

## 2.3 APPLICAZIONE DEI METODI REALITY-BASED AL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

I metodi reality-based hanno la finalità di restituire una copia informatizzata del modello reale andando a creare quasi un “calco digitale” con una geometria e una caratteristica materica il più possibile concorde con l’oggetto originale.

Questo metodo può assumere due diverse dedinzioni in base alle condizioni al contorno e alle caratteristiche dei manufatti rilevati.

Considerando aree o manufatti con geometrie elementari e limitazioni operative a livello economico o temporali del progetto si può ricorrere a un rilievo/modellazione speditiva che ha come prodotto un dato finale che media tra la qualità del dato e le limitazioni di progetto.

Trattando invece aree o manufatti complessi a livello geometrico e o materico si può ricorrere all’unione di più metodologie di rilievo e modellazione 3D in modo da giungere a un risultato ottimale, da un punto di vista qualitativo del dato, in relazione alla complessità reale del manufatto.

Avremo, in entrambi i casi, un prodotto rappresentato da una mesh (superficie poligonale complessa) implementata attraverso un processo di texturizzazione, cioè attraverso la proiezione di fotogrammi sulla superficie.

E’ quindi evidente, nell’ambito del rilievo dello scavo archeologico, come queste metodologie di rilievo indiretto possano essere utilizzate in supporto alle metodologie più tradizioni e strutturate nel tempo.<sup>15</sup>

Lo stesso Bianchini, nel suo “Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia” afferma che :

“Il rilievo diretto è un passaggio fondamentale e ineliminabile nella documentazione dei resti antichi, rispetto al quale non possono esserci scorciatoie. Ci dà modo di renderci immediatamente conto dei nostri errori di misurazione e di interpretazione e di porvi rimedio verificando sul campo le possibili alternative.

Ma soprattutto, come avvertiva Giuliani trent’anni fa, è un metodo che ci consente di vivere dentro il monumento e di familiarizzare con esso; toccarlo e osservarlo in ogni sua parte mentre si prendono le misure è il modo più efficace per fare la sua conoscenza, capire i problemi, cercare le soluzioni.

Il rilievo diretto dunque deve essere la tecnica protagonista della documentazione archeologica. Il rilievo indiretto non deve sostituirlo, ma deve essere messo al suo servizio.”<sup>16</sup>

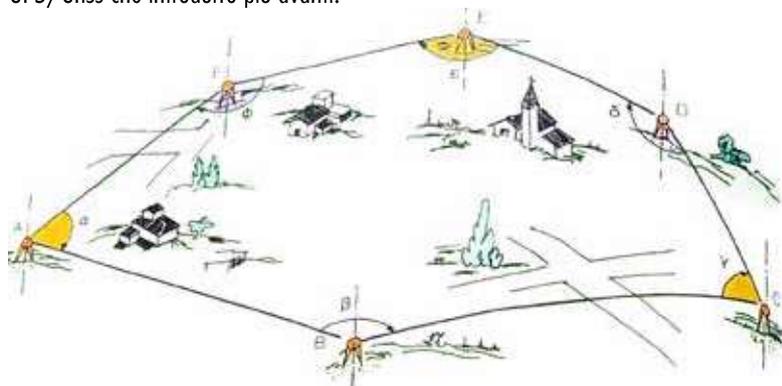
<sup>15</sup>: Russo, Guidi, La modellazione digitale reality-based ed interpretativa per la valorizzazione del patrimonio culturale, 2011

<sup>16</sup>: Bianchini, Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, Rilievo diretto e indiretto, Aracne, 2008

## 2.4 LA RETE DI INQUADRAMENTO

Tutte le metodologie impiegate in geomatica come i metodi reality based sono costruiti su un termine comune che permette l'interoperabilità dei dati di input e di output, la georeferenziazione.

La georeferenziazione serve ad attribuire a un determinato dato un'informazione legata alla sua dislocazione geografica espressa secondo un sistema geodetico di riferimento. La rete di inquadramento è il mezzo che ci permette questa operazione e consiste in una maglia di punti perimetrali all'oggetto con una serie di segmenti che vanno a definire una poligonale. (Fig. 1). Questo inquadramento viene effettuato utilizzando uno strumento che è la stazione totale, ma è sempre più spesso utilizzata la tecnologia GPS/Gnss che introdurrò più avanti.



Da questi vertici verranno eseguite le misure di dettaglio sull'elemento da rilevare.

Il principio basilare è che non sia corretto impostare il rilievo di edificio o di spazio architettonico iniziando da una porzione e man mano giustapponendo parti successive. Il criterio valido è quello di abbracciare il manufatto o lo spazio nel suo complesso, eseguendo raffittimenti di vertici in tutte le porzioni da documentare e ponendo le condizioni per confrontare ogni singola porzione o elemento all'insieme di cui fa parte. La poligonale deve essere preferibilmente chiusa e formata sugli elementi da rilevare che saranno in rapporto a questi vertici e linee, inoltre deve presentare una scelta di vertici abbastanza ampia e ben collocati in modo da agevolare le collimazioni reciproche e facilitarne la misura.

I punti di presa comunemente vengono chiamati stazioni o vertici e devono essere annotati sul libretto di campagna e sulle monografie.

I vertici devono essere tra loro intervistabili quindi facilmente collimabili e non su un terreno troppo accidentato.

Le poligonali possono essere o chiuse o vincolate agli estremi e avere un'estensione topografica, con lati nell'ordine del centinaio di metri o geodetiche che si sviluppano su un campo sferico maggiore.<sup>17</sup>

Un'ulteriore classificazione può basarsi sull'importanza che ha la rete, se su di essa fonda l'intero lavoro o se ha funzione di integrare dei vertici alla rete principale.

Fig 2: Esempio di poligonale chiusa  
Fonti: Cannarozzo, Misure Rilievo Progetto

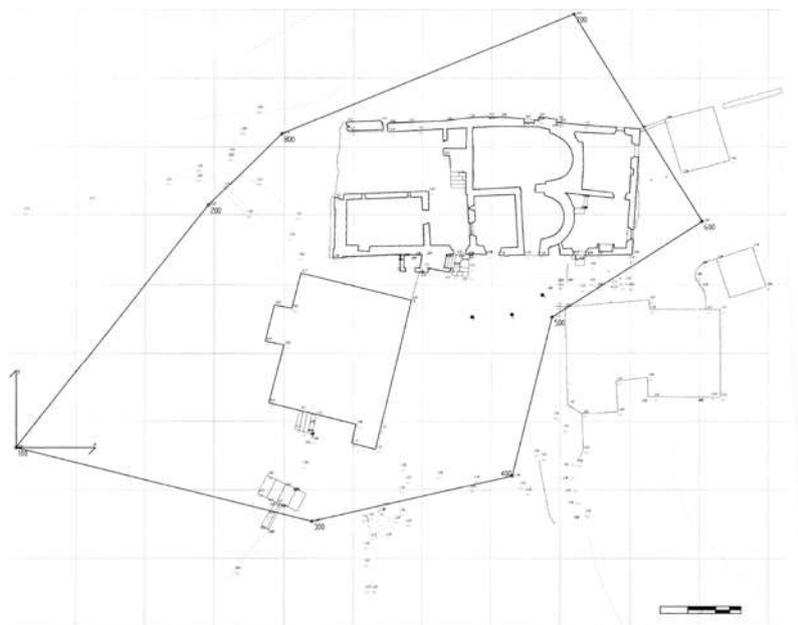
<sup>17</sup>: Bianchini, Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, capitolo V

Possiamo parlare di una poligonale di grande precisione se rientra nell'ordine dei  $u=1''-5''$  o ordinaria con una  $u=10''-1'$ .

Terminato il progetto della poligonale si procede alla materializzazione dei punti sul terreno attraverso l'impianto di elementi univoci che possono essere chiodi dalla testa grande, tasselli, o elementi ben distinguibili del sito.

Per ogni materializzazione va eseguita una monografia puntuale con almeno due misure da punti naturali ben distinguibili, va segnata la loro posizione in pianta ed è utile scattare alcune foto per semplificare l'eventuale ricerca in un momento successivo.

Le misurazione delle distanze e degli angoli tra i vertici va eseguita almeno due volte e lo scarto dovrà rientrare nella tolleranza stabilita, va considerato anche che la collimazione su tratti corti è meno precisa per quanto riguarda le misure angolari.



Il controllo da eventuali errori nella poligonale deve essere rigoroso sia nelle misure degli angoli sia nelle distanze perché in caso di errore questo si andrà a ripercuotere sui valori delle coordinate dei punti.

Gli errori effettuati nell'impianto della rete non rimangono localizzati e quindi più difficili da individuare rispetto a quelli di dettaglio che rimangono localizzati.

Un maggiore numero di misurazioni permetterà un maggior controllo del lavoro oltre che una migliore compensazione attraverso metodi trigonometrici o software dedicati.<sup>18</sup>

I punti della poligonale possono essere materializzati principalmente seguendo due metodologie differenti:

- metodo tradizionale che lavora su un sistema spaziale locale dove le misurazioni dei vertici e dei punti di controllo vengono effettuati utilizzando una stazione totale.

- metodo GPS permette di effettuare il progetto della poligonale georeferenziandola per poi procedere al rilevamento, non necessita di chiuse o intervisibilità che sono elementi tipici del metodo tradizionale<sup>18</sup>

Fig 3:Costruzione di un rilievo topografico su una poligonale chiusa

Fonti:Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

<sup>18</sup>: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 58-60, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

## 2.5 RILIEVO TOPOGRAFICO IN SUPPORTO AL RILIEVO DI DETTAGLIO

Il rilievo topografico ha la funzione di determinare, mediante misure, la posizione completa dei punti individuati sul terreno, calcolandone le coordinate plano-altimetriche X, Y, Z (Q).

I punti necessari a definire una rappresentazione cartografica possono essere distinti in due categorie: punti di inquadramento o di appoggio.

Ogni rilievo, come precedentemente citato, procede sempre dal generale al particolare, ciò porta in primo luogo a fissare una poligonale dalla quale verranno rilevati i dettagli dell'oggetto garantendone la sua qualità.

I punti di inquadramento o di appoggio, sono solo una piccolissima percentuale dei punti rilevati e la loro posizione viene definita mediante le operazioni topografiche di triangolazione, intersezione e poligonazione. Questi punti costituiscono il punto di partenza per il rilievo dei particolari topografici che permettono la descrizione del territorio.

La posizione dei punti di dettaglio, che costituiscono la grande maggioranza dei punti rilevati, si ricava collegandoli con misure angolari o lineari ad uno o più punti della rete di inquadramento.<sup>19</sup>

### 2.5.1 MISURAZIONE DI PUNTI CON IL METODO TRADIZIONALE: LA CELERIMENSURA

Per determinare i vertici e i punti di raffittimento di un rilievo vi sono differenti metodologie.

Il più diffuso si basa sulle misurazioni celerimetriche, ideate a metà del XIX secolo da Ignazio Porro legate a una stazione totale.

Per la collimazione dei vertici e dei punti di dettaglio si utilizzano punti notevoli dell'oggetto architettonico e del suo intorno.

L'aspetto fondamentale alla base di questa tecnica è quello di abbinare contemporaneamente al rilievo planimetrico per coordinate polari, una livellazione che permette di determinare il dislivello tra la stazione e il punto considerato.

Con la misura delle distanze, degli angoli orizzontali e verticali e dei dislivelli è quindi possibile calcolare le coordinate X, Y, Z di ogni punto rilevato.

Se del punto di stazione sono note le coordinate plano-altimetriche è possibile, mediante calcoli trigonometrici, calcolare le coordinate totali di tutti i punti rilevati rispetto allo stesso sistema di riferimento a cui sono riferite le coordinate del punto di stazione (vale per i sistemi locali o orientati).

Nella esecuzione di un rilievo celerimetrico è spesso necessario utilizzare due o più stazioni per rilevare particolari non visibili dalla prima stazione. Le operazioni di campagna che permettono di risolvere questo problema prendono il nome di collegamento tra stazioni.

<sup>19</sup>: Bianchini, Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, capitolo II

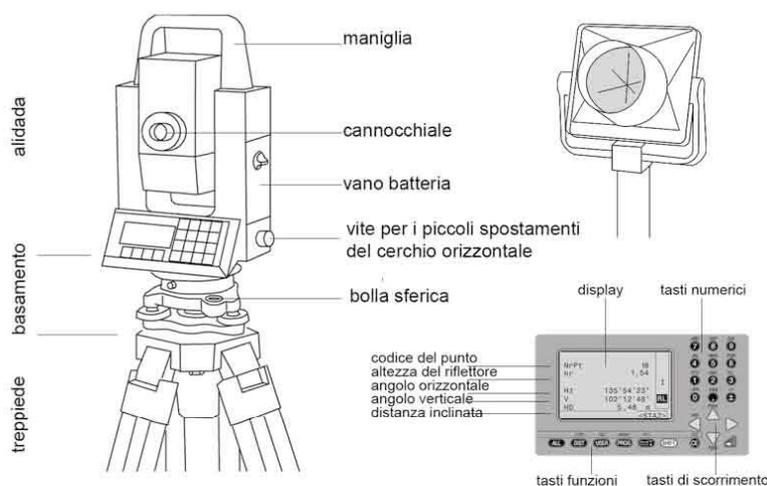
Attualmente la tecnica celerimetrica è largamente in uso per la misura dei punti di controllo necessari per il processamento dei dati LiDAR e fotogrammetrici (appoggi fotogrammetrici).<sup>20</sup>

## 2.5.2 LA STAZIONE TOTALE

La stazione totale ha la peculiarità di permettere una misura elettronica delle distanze e degli angoli in tempo reale.

L'integrazione tra il distanziometro laser e il teodolite elettronico ha prodotto uno strumento completo che consente di memorizzare le misure durante il rilievo senza aver il bisogno di redigere un libretto di campagna cartaceo, le misure raccolte vengono salvate su una SD scaricabile grazie a un computer.

La struttura di questo strumento trova ancora molte similitudini con il suo antenato, il teodolite ottico, riproponendo sia le parti essenziali come basamento, alidada, cannocchiale, livella sferica, ma anche nei movimenti e negli assi.<sup>21</sup> (FIG 3)



### Il basamento:

È costituito da una parte superiore e da una parte inferiore smontabile a contatto con il coperchio orizzontale.

La parte superiore è provvista di un piombino ottico in modo da poter posizionare lo strumento perfettamente in asse con il punto di stazione.

La tricuspidè forma la parte inferiore ed è formata da una piastra metallica che va connessa grazie a una piastra e una vite al tripiede.

La parte inferiore e superiore sono connesse grazie a tre viti calanti che, insieme alla livella sferica, permettono la messa in stazione dello strumento.

20:Riggio, Carlucci, Topografia di base, EPC Editore, 2015, p.505-511

21:Bianchini, Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, capitolo IV; Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Introduzione al rilievo metrico, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

FIG 3:Schema componenti stazione totale

Fonte: Bianchini, Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, capitolo IV

mediante la regolazione delle gambe del tripode e di un piombo laser che, proiettando sul terreno un segno rosso serve per disporre lo strumento perfettamente sul vertice.

#### Il cannocchiale:

Il cannocchiale topografico è uno strumento ottico atto a osservare oggetti lontani ed è formato da un corpo metallico tubolare, una lente obbiettiva, una lente interna con la capacità di traslare grazie a una regolazione esterna al cannocchiale, un reticolo stampato su una lastrina di vetro e una lente oculare.

Entrambe le lenti sono delimitate da superfici sferiche i cui centri devono essere allineati. Si può quindi definire la retta che unisce il centro di fuoco della lente con il centro del reticolo asse di collimazione.

Considerando un cannocchiale a lunghezza costante, obiettivo e reticolo sono fissati a distanza fissa su un unico corpo, mentre la lente interna è montata su un supporto coassiale che può essere regolata esternamente permettendo adattare la distanza e di collimare mirino con il target.

Il cannocchiale può ruotare intorno all'asse RR così da permettere la collimazione sia con il cerchio zenitale a sinistra che a destra dell'operatore; le letture così eseguite si definiscono coniugate.<sup>22</sup>

#### L'alidada

È la parte superiore dello strumento formata da due bracci che reggono il cannocchiale, ruota attorno l'asse ZZ o asse principale dello strumento.

Internamente è provvista dei cerchi per le letture angolari, i sensori e la parte elettronica che permette il funzionamento dello strumento.

Nella parte inferiore è fissato lo schermo con la tastiera che permette l'interazione dell'operatore con lo strumento.

#### I cerchi graduati:

Vi sono due cerchi graduati: uno orizzontale e uno verticale.

Il primo è solidale alla base mentre quello verticale al cannocchiale, entrambi sono strumenti ottico-meccanici e vengono realizzati in vetro ottico con una finissima graduazione effettuata con una macchina a dividere o con procedimento fotografico.

Nelle stazioni totali moderne non si ha più una lettura ottica ma digitale di questi cerchi ma attraverso metodi di lettura assoluta o incrementale in base alla tipologia del goniometro che lo strumento monta.

Le misurazioni angolari possono essere osservate in tempo reale sul display dello strumento.<sup>23</sup>

22: I goniometri e la misura degli angoli, RCS Libri S.P.A.,  
Divisione Education, Milano

23: Appunti di Topografia, strumenti di misura

### 2.5.3 SISTEMI GPS E GNSS

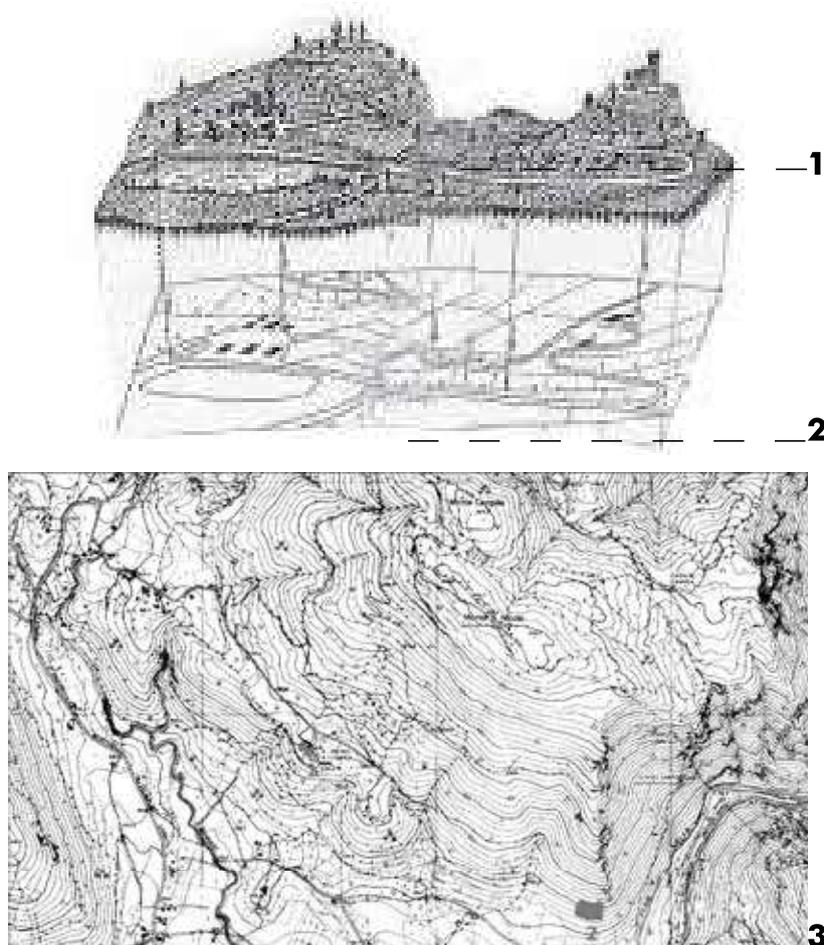
Lo scopo del sistema GPS (Global Positioning System, Sistema di Posizionamento Globale) è quello di determinare la posizione di un qualsiasi punto della superficie terrestre a partire dalla posizione di una serie di satelliti.

Questo sistema impiega tecnologie molto avanzate ma concettualmente è molto semplice come funzionamento.

Il GPS ha invertito il normale approccio alla cartografia tradizionale perché, grazie a questa tecnologia è possibile ricavare direttamente coordinate X,Y,Z di un punto sulla superficie fisica della terra nel sistema geocentrico e quindi passante per le coordinate  $j, l, h$ .

Già in passato si era individuato il modo di far corrispondere punti della superficie fisica della terra con punti dell'ellissoide e poi ancora relazionare il tutto con la proiezione cartografica gaussiana.

Inoltre si era dimostrato possibile creare una rete trigonometrica di vertici in modo da permettere ai topografi di determinare la posizione dei punti sulla superficie fisica terrestre nella posizione gaussianama non posizionandoli sull'ellissoide.<sup>24</sup>(Fig 4)



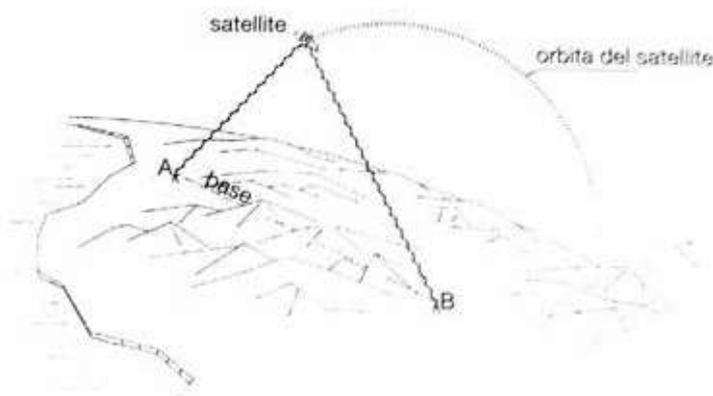
24: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.44-47

FIG 4: Schema riassuntivo riguardante l'oggetto della rappresentazione cartografica cioè la rappresentazione di un ellissoide su cui sono stati proiettati dei punti della superficie terrestre.

Abbiamo rappresentato:  
1: Superficie fisica terrestre  
2: ellissoide  
3: piano della carta

Con il GPS la misurazione coincide con la determinazione delle coordinate X, Y, Z di un punto nel sistema geocentrico, si passa poi alle corrispondenti  $i, l, h$  e quindi a quelle N, E della proiezione di Gauss.

Le misurazioni del sistema GPS consistono nella misurazione del tempo impiegato da un segnale emesso da un satellite a raggiungere l'antenna sulla superficie terrestre.<sup>25</sup> Questo sistema ha molte potenzialità di applicazione infatti, oltre quella pocanzi citata, presenta utilità nel campo del rilievo catastale, topografico, monitoraggio ambientale, rilievi batimetrici e georeferenziazione immagini satellitari. (Fig.5)



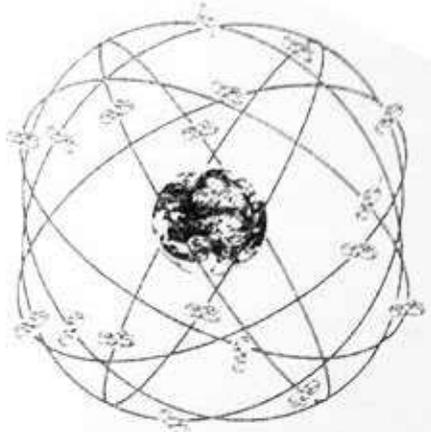
I componenti fondamentali di questo sistema sono:

-24 satelliti in orbita fissa attorno alla terra a una quota di 20000km.

Affinchè le misure siano caratterizzate da una buona precisione il sistema necessita di orologi estremamente precisi e elaboratori per eliminare gli errori portati dall'attraversamento dell'atmosfera da parte del segnale.

Per questo motivo su ogni satellite è montato un orologio atomico che basandosi sul decadimento di un isotopo radioattivo ha valori di precisione molto alti, tutti gli orologi sono sincronizzati sulla stessa ora.

Per determinare la distanza di un punto incognito sulla superficie terrestre e satellite è necessario conoscere la posizione esatta del satellite, per questo motivo sono presenti delle stazioni che monitorano la loro esatta posizione nello spazio. (Fig.6)



25: Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Gps/Gnss, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

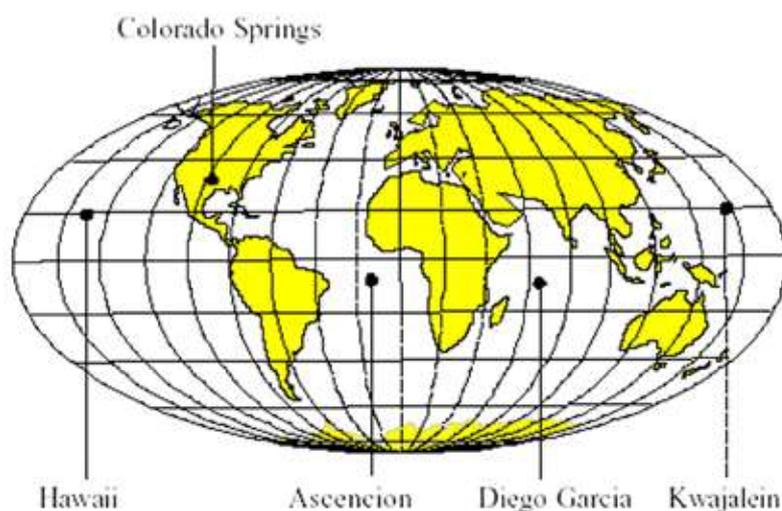
FIG 5:Funzionamento del sistema di rilevamento satellitare  
Fonti: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.45

FIG 6:Organizzazione orbitale sistema GPS  
Fonti: Cina A., 2014, Dal GPS al GNSS (Global Navigation Satellite System). Per la geomatica, CELID.

-5 stazioni di controllo terrestre. L'orbita di ogni satellite è nota e decisa già prima del lancio ma vi possono essere delle minime variazioni orbitali definite come errori delle effemeridi.

Le stazioni sulla superficie della terra hanno il compito di rilevare con continuità la posizione dei satelliti determinando l'orbita reale.

-Gli strumenti di ricezione del segnale satellitare comprendono un'antenna di ricezione e un apparato ausiliario che permette la ricezione del segnale, di elaborarlo e archivarlo. (Fig 7)



Per ogni satellite è nota in ogni istante la posizione in termini di coordinate geocentriche X, Y, Z e emettono con continuità un segnale in forma di onde elettromagnetiche; ogni segnale trasporta delle informazioni e una di queste è l'istante di emissione del segnale.

L'apparecchio ricevente è dotato anch'esso di un orologio di precisione ed è sincronizzato con i satelliti.<sup>26</sup>

#### COME SI DETERMINANO LE COORDINATE DI UN PUNTO

L'apparato ricevente determina per ogni satellite lo sfasamento e l'ora dello strumento sulla base delle informazioni che sono contenute nel segnale satellitare.

Moltiplicando la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche per lo sfasamento si va ad ottenere la distanza tra strumento e satellite.

La determina del punto avviene secondo un metodo simile all'intersezione topografica classica.

Dal punto di vista geometrico, possiamo considerare che avendo determinato una prima distanza del punto dal primo satellite, possiamo esser certi che il punto appartenga ad una sfera di centro coincidente con la posizione del suddetto satellite. Se misuriamo una seconda distanza a partire da un secondo satellite, il punto dovrà appartenere all'intersezione tra le due sfere, cioè ad una circonferenza.

L'intersezione con una terza sfera, data dalla misura della distanza da un terzo satellite,

FIG 7: Posizione delle 5 stazioni di controllo terrestre  
Fonti: Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Gps/Gnss, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

26: Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Gps/Gnss, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

conduce a individuare due possibili posizioni del punto.

Il sistema GPS utilizza varie tecniche per risolvere l'ambiguità; è importante infatti considerare che prima del lancio dei satelliti le loro orbite sono state studiate in modo da garantire che in ogni punto della Terra sia possibile vedere contemporaneamente almeno 4 satelliti, in modo che il posizionamento sia risolvibile con solo tre distanze. E' sufficiente eseguire le osservazioni da un quarto satellite per stabilire senza ambiguità la posizione del punto P. In sostanza comunque, si può considerare che ogni determinazione ulteriore rispetto alla distanza da tre satelliti abbia il ruolo principale di affinare la precisione della determinazione della posizione del punto.<sup>27</sup>

27: A. Cina, Dal GPS al GNSS, Torino, 2014

#### ERRORI LEGATI AL SISTEMA GPS

Utilizzando programmi di calcolo complessi è possibile arrivare a precisioni di misurazione di pochi centimetri nella determinazione delle coordinate assolute.

La principale tipologia di errore del sistema GPS, come precedentemente già detto, è legato ai principali componenti del sistema.

I possibili errori sono:

- Errore delle effemeridi—variazione delle orbite reali dei satelliti rispetto a quelle di progetto.  
Sfasamento orologi dei satelliti—provoca errori nella misura del tempo da parte degli orologi sui satelliti.
- Ritardi dovuti alla ionosfera e troposfera—rallentamento della velocità di trasmissione delle onde elettromagnetiche a causa della variabilità della densità dell'atmosfera.
- Selective availability—errori intenzionali introdotti dal Dipartimento della difesa americano che gestisce il sistema per ragioni di sicurezza.
- Sdoppiamento del segnale (multipath)—il segnale può non arrivare direttamente al ricevitore ma essere sdoppiato perché incontra ostacoli o viene riflesso. Tale problema determina una non corretta ricezione che influisce su misura.

Riferendoci ad applicazioni topografiche, una precisione nell'ordine di alcuni centimetri non è soddisfacente, attraverso l'utilizzo di procedimenti differenziali è possibile incrementare la precisione reciproca di due punti arrivando nell'ordine del millimetro ma non è possibile incrementare la precisione assoluta.

Praticamente il sistema determina le differenze di posizione degli estremi del vettore che unisce due punti, che è detta base.

La tecnica differenziale utilizza due strumenti ricevitori per determinare un certo numero di punti, uno posizionato su un punto di riferimento mentre l'altro su uno degli altri punti.

Anche nelle applicazioni di rilievo metrico-ambientale, finalizzato alla documentazione dei beni culturali, la comodità del sistema GPS ha portato a una sua larga diffusione e utilizzo.

Non necessita di due punti traguardabili tra loro ma devono essere visibili da almeno da 4 satelliti per ciascun punto.

Per ridurre i tempi di stazione per ogni punto da rilevare con il gps si utilizza il metodo cinematico che consiste nell'impostare un ricevitore fisso in una posizione e rilevare le varie posizioni con un secondo itinerante.

Oggi lo sviluppo tecnologico e quello di reti di stazioni permanenti distribuite sul territorio consente di utilizzare la metodologia RTK, con accuratezze della misura dei punti simili ai metodi differenziali.<sup>28</sup>

| modo  | istantaneo, anche in movimento | statico   |
|---|--------------------------------|---|
| GPS non differenziale                         | 15 m senza SA                  | 8-12 m in particolari condizioni                                  |
| codice C/A                                    | 150 m con SA                   | con 8-24 ore di registrazione                                     |
| differenziale C/A (DGPS) tempo reale          | 5 m, connessione radio         |   |
| DGPS post-processing                          | 2-5 m                          | 1 m in 1 ora  |
| differenziale submeter                        | 0,8 m                          | 0,2 m in 1 ora  |
| GPS differenziale, misure di fase, L1         |                                | 5 mm in 1 ora fino a 1 km<br>5 mm fino 10-15 km<br>ma con più ore |
| GPS differenziale, misure di fase, L1/L2      |                                | 10 mm + 1 mm/km   |
| GPS fast static L1/L2                         |                                | 10 mm in 8 minuti   |
| GPS misure di fase, in movimento (cinematico) | 5 cm con particolari procedure |   |
| GPS RTK L1/L2 con OTF con radiolink           | 5 cm con 2' di inializzazione  | 1 cm con 2' di inializzazione                                     |
| GLONASS                                       | 8 m                            |   |
| GPS + GLONASS                                 | 7 m                            |   |
| DGPS + GLONASS                                | 0,5 m                          |   |
| DGPS + DGLONASS                               | 0,5 m                          |   |

28: Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Gps/Gnss, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

FIG 8: Precisione del rilevamento con GPS  
Fonti: Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2006, p.47

## LE RETE DI STAZIONI PERMANENTI

Le stazioni permanenti sono dei presidi dotati di una strumentazione articolata su un ricevitore satellitare di tipo geodetico.

Solitamente sono collocate in luoghi in cui la ricezione satellitare è buona in ogni ora della giornata per tutto l'anno perchè il punto d'installazione è noto e calcolato con grande precisione.

In Italia le prime installazioni del genere risalgono al 1996, attualmente sono più di 100 e costituiscono delle vere e proprie reti di tipo locale e Nazionale.

Queste stazioni sono dotate di un'antenna geodetica con alta immunità alla ridondanza del segnale, di un ricevitore doppia frequenza di elevate prestazioni, un orologio esterno al rubio, una centralina meteo che fornisce con continuità i dati barometrici e un'unità di smistamento in grado di inviare i dati di correzione e di osservazione su più canali radio-modem e su più canali GSM.

Un computer infine gestisce la stazione svolgendo le funzioni di colloquio e di scambio dei dati tra i vari elementi del sistema.<sup>29</sup>

Le utilità rappresentate da questa rete sono svariate ma nel nostro particolare caso, quello legato alle tecniche geomatiche, sempre più stazioni fisse offrono il servizio per applicazioni cinematiche in tempo reale RTK.

Questa tecnica ha la peculiarità di permettere misurazioni GPS in tempi ridotti proprio grazie ai valori di correzione sulla posizione ricavati dalle stazioni permanenti.

La base fissa invierà tutte le sue posizioni e le osservazioni del satellite al rover che le combinerà per ottenere una posizione.

Quest'ultima viene stimata sulla base di algoritmi RTK

L'obiettivo di questa tipologia di rete è quello di limitare gli errori dovuti alla distanza sul calcolo della posizione del rover.

Il software fissa le ambiguità dei satelliti all'interno della rete e utilizza i dati forniti da tutte le stazioni di riferimento per generare le correzioni da inviare.

I vantaggi portati da questa tecnologia sono un principio di funzionamento relativamente semplice e la possibilità di mantenere la tracciabilità sulla base del reference, applicate su un punto di coordinate note.

Inoltre non richiede la necessità di installare una stazione di riferimento se ve ne sono disponibili nella zona.

Avremo un'accuratezza migliore nella determinazione della posizione del rover.<sup>30</sup>

29: Bellone Roggero Piras Pesenti, Serie temporali da stazioni permanenti GPS: metodi di analisi di discontinuità, 2008

30: Leica Geosystem, Introduzione alle reti RTK

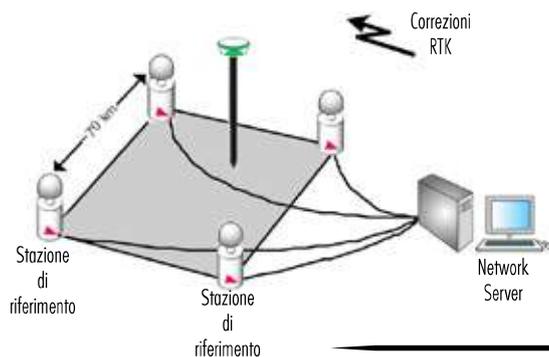


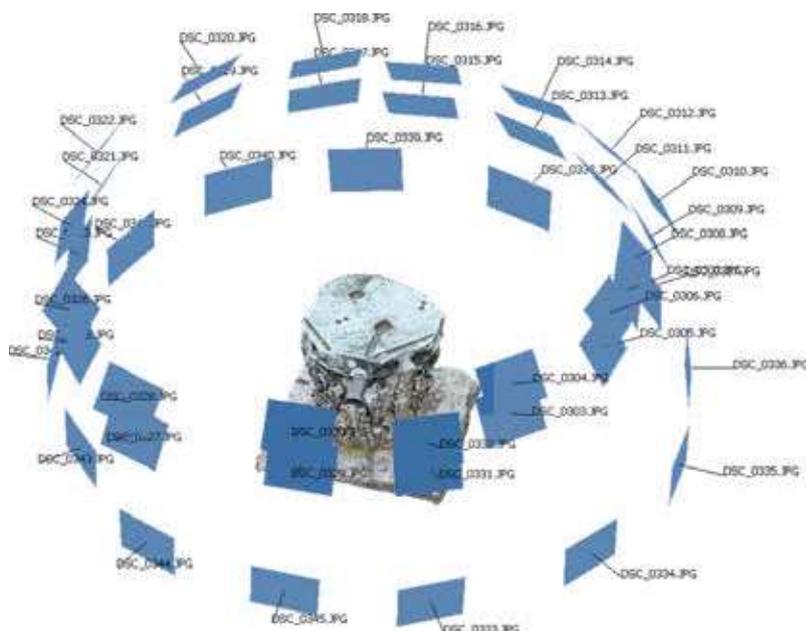
FIG 9: Principio di funzionamento dell'RTK di rete  
Fonti: Leica Geosystem, Introduzione alle reti RTK

## 2.6 RILIEVO DI DETTAGLIO ATTRAVERSO LA FOTOGRAMMETRIA

### 2.6.1 LA TECNICA FOTOGRAMMETRICA

“La continua evoluzione delle tecniche di rilievo e modellazione 3D basate su sensori e lo sviluppo di sistemi sempre più performanti per la visualizzazione di dati digitali evidenziano il valore aggiunto dato dall’uso di queste metodiche nell’ambito archeologico. In particolare appare sempre più chiaro il contributo attivo che tali tecnologie possono fornire nella fase interpretativa, nella conservazione e archiviazione dei dati e nella valorizzazione del bene attraverso il web. Tutti questi aspetti portano verso un miglioramento generale dell’informazione e la crescita della ricerca archeologica”<sup>31</sup>

Il rilevamento, inteso come descrizione geometrica e rappresentazione tridimensionale di un oggetto o di una parte di territorio, si avvale della fotogrammetria. La fotogrammetria è l’arte e la scienza per determinare la posizione e la forma degli oggetti a partire da fotografie. (Fig 10)



Questa tecnica per mezzo di coppie stereoscopiche di fotogrammi con caratteristiche metriche, consente di restituire le coordinate tridimensionali di punti osservabili in stereoscopia.

Il risultato di una misura fotogrammetrica può essere:

- un numero, cioè le coordinate di punti oggetto in un sistema di coordinate tridimensionali
- un disegno, cioè raffigurazioni topografiche rappresentanti particolari planimetrici o curve di livello, oppure altre rappresentazioni grafiche di oggetti
- immagini, solitamente modelli tridimensionali, ma anche ortofoto.

31: Guidi, Russo, Beraldin, 2010

FIG 10: Esempio di modello 3D ottenuto da delle prese fotogrammetriche  
Fonte: www.microgeo.it  
Software: Photoscan

E' possibile utilizzare questa tecnica a qualsiasi oggetto fisico o all'ambiente, senza alcuna rilevanza per dimensioni assolute o forma, è applicabile quando si necessita il rilevamento di un gran numero di punti e per una descrizione completa e esaustiva dell'oggetto.

Questo metodo, come altri metodi di rilievo topografico presuppongono una stima della precisione per valutarne l'affidabilità in tutte le fasi progettuali con una tolleranza stabilita a priori.

Le misurazioni sono associate all'interpretazione perché ogni processo di rilievo, data la grande quantità di informazione e l'impossibilità di archivarle nella loro totalità necessita di una cernita di informazioni e quindi una ferma posizione di ciò che si vuole rappresentare o meno; la rappresentazione di un territorio o di un manufatto è un modello della realtà indagata.

La capacità di collocare a livello spaziale la descrizione della forma e dimensioni di un oggetto permette di ottenere allo stesso tempo una rappresentazione grafica e analitica.

Ogni punto è legato a una terna di coordinate cartesiane espresse nel loro sistema di riferimento stabilito.

Le coordinate spaziali sono essenziali per poter integrare tecniche diverse.<sup>32</sup>

La fotogrammetria può essere classificata sulla base:

- tipo fotografia
  - classica
  - digitale
- tipo elaborazione
  - analogica
  - analitica
  - digitale
- tipo di presa
  - aerea
  - terrestre

I principali utilizzi di questa tecnica sono:

- realizzazione modelli 3d
- realizzare rete di punti di riferimento
- misure di alta precisione
- stesura della cartografia topografica

32: Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Fotogrammetria digitale e scansioni 3d per il rilievo di beni culturali, Politecnico di Torino A.A 2015/2016



FIG 11: Esempio di modello 3D ottenuto dal metodo fotogrammetrico

Fonti: Workshop Fotogrammetria digitale e scansioni 3d per il rilievo dei beni culturali  
Software: Photoscan

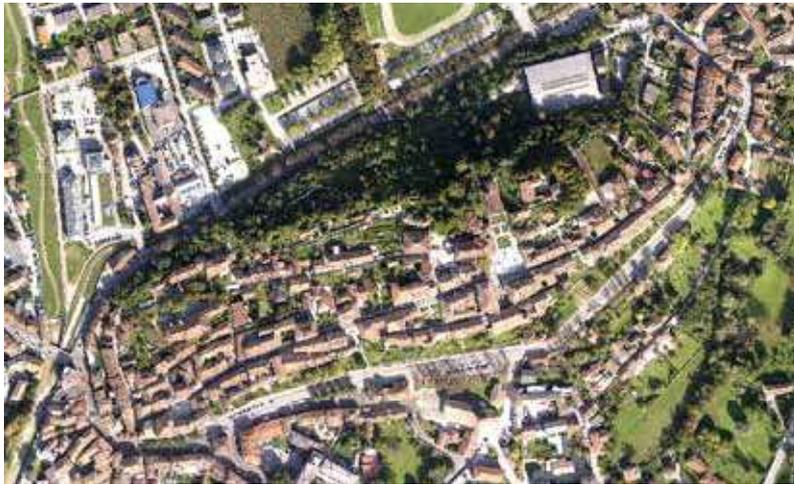


FIG 12: Esempio di modello ortofoto ottenuto dal metodo fotogrammetrico

#### 2.6.2 DALLA STEREOCOPIA ALLA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

Le prime idee sui fondamenti della fotogrammetria, antecedenti all'invenzione della fotografia furono pubblicate da J.H Lambert nel 1839 anche se il capostipite di questa materia è da considerarsi il colonnello francese A.Leussedat.

Nel 1859 infatti presentò una relazione alla commissione dell'Accademia delle Scienze di Parigi, sul metodo per determinare coordinate di punti di un oggetto andandole a ricavare da una coppia di fotogrammi mediante intersezione spaziale di raggi.

Parallelamente Meydenbauer effettuò il primo tentativo di applicazione fotogrammetrica alla misura di edifici.

Nel 1909 E. Von Orel inventò lo stereo-autografo (Fig 13) basandosi sulle scoperte di stereo-fotogrammetrica di Pulfrich.

Questo strumento permetteva il tracciamento continuo di linee planimetriche e di curve di livello a partire esclusivamente da fotogrammi terrestri.

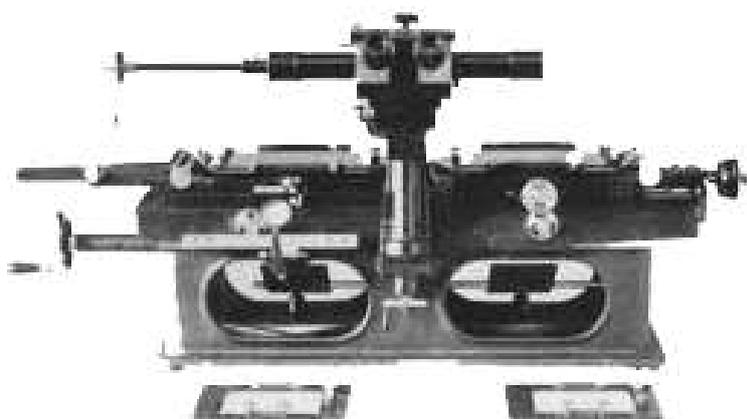


FIG 13: Stereo-autografo di Von-Horel

In seguito, sulla base di queste scoperte la teoria fu resa applicabile anche ai fotogrammi aerei grazie all'invenzione dello stereo-planigrafo.

Dal 1923 a seguire case costruttrici famose produssero camere fotogrammetriche e strumenti restitutori sempre più raffinati, mentre la ricerca teorica gettò le basi per l'affermazione universale, tecnica ed economica di questi strumenti ottico meccanici.

La produzione routinaria di ortofoto da fotogrammi aerei ebbe inizio nel 1955 grazie ai lavori dell'americano Bean.

L'innovazione portata dal calcolo elettronico portò un profondo mutamento nella fotogrammetria. Calcolatori da processo integrati nella strumentazione via via sostituirono componenti ottico-meccanici negli stereo-restitutori fino a rappresentare una parte importante del processo fotogrammetrico.

La sempre crescente potenza di calcolatori ha fornito, fin dagli anni cinquanta, lo sviluppo della cosiddetta fotogrammetria analitica. Nello stesso tempo si è sviluppata enormemente la triangolazione aerea, che rende la fotogrammetria molto meno dipendente dalla topografia, per la determinazione delle coordinate dei punti di appoggio.



FIG 14: Estitutore analitico

In tempi assai recenti 1981 si è definita la possibilità di produrre e utilizzare immagini non fotografiche, ma numeriche le cosiddette immagini digitali.

È iniziata così l'era della fotogrammetria digitale, una tecnica in cui giocano un ruolo sempre più determinante i calcolatori specializzati nell'elaborazione delle immagini, gli algoritmi di calcolo più raffinati, l'automatizzazione spinta in molte delle tradizionali operazioni legate alla fotogrammetria e, più in generale, all'acquisizione dei dati territoriali.<sup>33</sup>

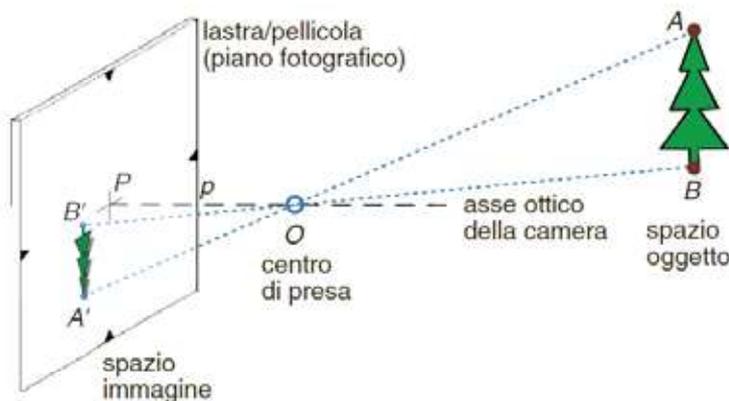
### 2.6.3 CONCETTI GENERALI

Il metodo fotogrammetrico ha la funzione di ricostruire forma e posizione degli oggetti partendo da fotografie

Questa tecnica si basa sul fatto che le fotografie possono essere considerate prospettive centrali dell'oggetto fotografato in cui i raggi proiettanti che collegano i punti dell'oggetto a quelli dell'immagine si incontrano tutti in un punto di presa.

La prospettiva centrale ha la peculiarità di rappresentare la realtà tridimensionale in due dimensioni e si basa sulla teoria geometrica secondo la quale per ogni punto ne esiste la sua proiezione sul piano.

Così facendo, avendo nota la posizione del punto di presa della fotocamera e del raggio, è possibile individuare a partire dalla componente bidimensionale dell'immagine la relativa collocazione 3D, questo considerando un modello stereoscopico ovvero un modello creato da almeno due fotogrammi. (Fig 15)



Bisogna considerare un modello stereoscopico cioè formato da più immagini perché, prendendo in considerazione un solo raggio proiettante per ogni punto immagine esisterebbero infiniti punti oggetto rendendo impossibile ricostruire una geometria spaziale.

I punti dell'immagine e i loro corrispettivi hanno una corrispondenza analitica definibile attraverso l'orientamento interno e esterno.

L'orientamento interno è costante ed è una caratteristica intrinseca della camera quindi determinata dal costruttore effettuando la calibrazione della camera in laboratorio.

Essenziale è che il punto principale e il centro fiduciale siano il più possibile coincidenti. L'orientamento esterno invece è definito da sei parametri.

33: Karl Kraus, Fotogrammetria, 1.2 Note sulla storia della fotogrammetria, Libreria universitaria Levrotto & Bella-Torino

FIG 15: Schema geometrico presa fotografica terrestre  
Fonte: Cannarozzo, Lanfranco, Cucchiari, Misure, Rilievo, Progetto, 2014, Unità T1

Questi parametri definiscono l'assetto spaziale della camera rispetto a una terna di assi coordinati cioè definiscono la posizione spaziale della fotocamera.

I sei parametri che sono i valori delle tre traslazioni rotazioni e esprimono le condizioni di collinearità.

Abbiamo quindi il legame tra il generico punto P con le posizioni dei centri o1 e o2 e le coordinate dei punti immagine p1 e p2

I sei parametri vengono determinati grazie a metodi topografici nei casi in cui la situazione lo consente come nella maggior parte dei casi di fotogrammetria terrestre.

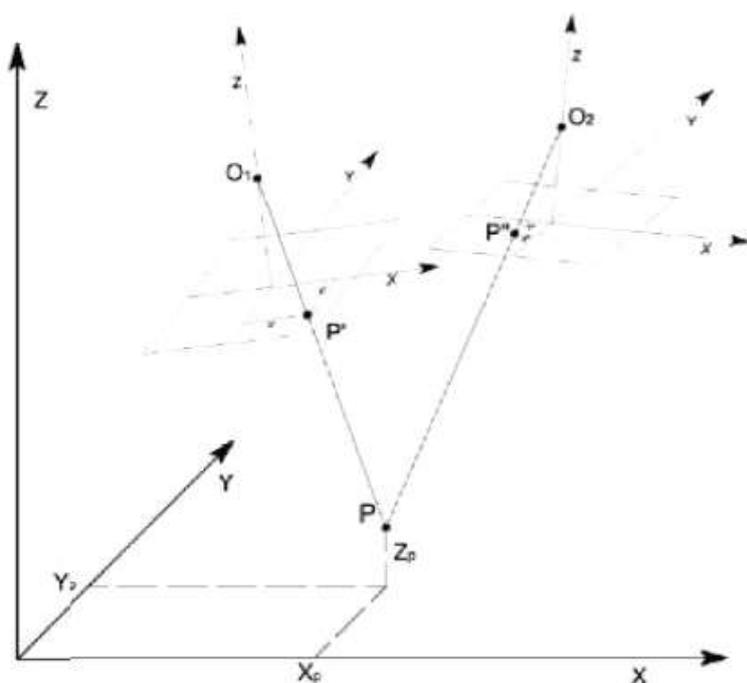
Operativamente, per ogni punto dell'oggetto tridimensionale, avremo la sua proiezione sul nostro spazio immagine.

Per spazio immagine si intende il supporto sul quale l'immagine viene memorizzata, nelle fotocamere analogiche era la pellicola che veniva impressionata dalla luce che entrava dall'obiettivo mentre nelle fotocamere digitali è il sensore posto all'interno del corpo macchina.<sup>34</sup>

Il centro di proiezione è collocato all'interno della focale della macchina fotografica e i raggi proiettanti sono i raggi luminosi che l'otturatore nell'atto dello scatto fotografico fa entrare.<sup>31</sup>

$$\frac{X_p - X_1^*}{Z_p - Z_1^*} = \frac{a_{11}X^* + a_{12}Y^* + a_{13}Z^*}{a_{11}X^* + a_{12}Y^* + a_{13}Z^*} \quad \frac{Y_p - Y_1^*}{Z_p - Z_1^*} = \frac{a_{21}X^* + a_{22}Y^* + a_{23}Z^*}{a_{11}X^* + a_{12}Y^* + a_{13}Z^*}$$

$$\frac{X_p - X_2^*}{Z_p - Z_2^*} = \frac{b_{11}X^* + b_{12}Y^* + b_{13}Z^*}{b_{11}X^* + b_{12}Y^* + b_{13}Z^*} \quad \frac{Y_p - Y_2^*}{Z_p - Z_2^*} = \frac{b_{21}X^* + b_{22}Y^* + b_{23}Z^*}{b_{11}X^* + b_{12}Y^* + b_{13}Z^*}$$



34: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 103-106, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

FIG 16: Formule di collinearità e ricostruzione geometrica dell'oggetto fotografato tramite l'intersezione di raggi omologhi

#### 2.6.4 LA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

Le attuali tecniche fotogrammetriche digitali sono state precedute principalmente da due fasi di sviluppo, quella analogica e analitica.

La fotogrammetria analogica fa uso di strumenti restitutori grazie ai quali colloca i fotogrammi in una posizione simile a quella assunta nell'istante di acquisizione. Questa posizione è ricercata utilizzando la tecnica stereoscopica.

I restitutori analogici funzionano con componenti fisici, in particolare ottico-meccanici e elettrici. Il primo di questi strumenti è lo Stereoautografo con cui era possibile tracciare con continuità particolari planimetrici e curve di livello.<sup>35</sup>

La fotogrammetria analitica invece utilizza dei processi di calcolo per trovare le coordinate di un punto X, Y, Z generiche sulla base di coordinate bidimensionali misurate su un fotogramma.

Questa metodologia però necessita di grande potenza di calcolo da parte degli elaboratori a causa dell'alto numero di incognite.<sup>36</sup>

Helava fu il primo a concepire l'idea di restitutore fotogrammetrico universale che sfruttasse le potenzialità di un calcolatore numerico al suo interno.

Riducendo ai minimi termini il funzionamento di questo complesso sistema possiamo affermare che il restitutore analitico funziona come un comparatore con il calcolo dei parametri di orientamento per l'elaborazione successiva dei dati acquisiti.

L'operatore osserva, come in uno stereocomparatore, le due marche di collimazione fisse e distinte oltre che i fotogrammi posti sui due carrelli portalastra, ciascuno dei due con la capacità di muoversi in direzioni ortogonali su guide.

Questi due però non sono comandati dall'operatore, ma dal calcolatore.

Ai due volantini utilizzati dall'operatore sono collegati dei generatori di impulsi che vengono contattati e inviati al calcolatore elettronico.

Questo ciclo si reitera circa 50 volte al secondo rendendo praticamente immediato l'apporto dato dai volani.<sup>37</sup>

Con l'avvento della terza fase durante di anni 90, la fotogrammetria digitale, si è passati all'utilizzo di immagini digitali e conseguentemente ad algoritmi per l'automazione dei processi e work stations.

Solo negli anni 70 furono avanzate teorie sulla correlazione di immagini attraverso la ricerca di punti omologhi tra coppie di immagini, ma è solo negli anni 80 questo processo viene reso attuabile ricorrendo a automatismi. I nuovi prodotti portati da questa prima fase sono modelli digitali del terreno (DTM) e le ortofoto digitali.

Solo negli ultimi anni possiamo considerare l'apporto fotogrammetrico di rilievo per il patrimonio archeologico.

La correzione automatica dei fotogrammi si può fondamentalmente raggruppare in tre diverse tipologie: Area-based matchin, Relational-matching e Feature-matching.

L'Area-based matchin (ABM) si basa sul confronto di livelli di grigio di piccole aree corri

35: Karl Kraus, Fotogrammetria, Libreria universitaria Levrotto&Bella-Torino, p.280

36: Antonia Teresa Spanò, slide workshop: Fotogrammetria digitale e scansioni 3d

37: Karl Kraus, Fotogrammetria, Libreria universitaria Levrotto&Bella-Torino, p.257-260

spondenti nelle diverse immagini.

Si parla invece di *last square matching* quando la qualità della similarità dei vari pixel non è misurata solo per correlazione ma tramite un metodo ai minimi quadrati.

*Feature-matching* utilizza punti, linee o aree omogenee da ricercare in immagini omologhe.

Nel caso in cui gli elementi di ricerca sono bordi del fotogramma si parla di *edge matching*.

La ricerca delle caratteristiche avviene utilizzando gli operatori di interesse che vertono su elementi puntuali; da notare sono i risultati ottenuti incrociando tipologie di matching di tipo ABM e FM.

Il *relational-matching* unisce più tipi di identità connesse per confrontare le immagini differenti e possono essere di tipo spaziale, topologico o radiometrico.

Queste tre strategie sono le prime utilizzate e anche le più assodate per il matching tra immagini ma sono stati perfezionati molti nuovi algoritmi che mirano a risolvere diversamente i problemi d'applicazione che solitamente sono da ricondurre a restringimento del campo di ricerca dei Tie Points che riduce la complessità dell'algoritmo, riducendo i tempi di elaborazione e aumentando il quantitativo di fotogrammi elaborabili in contemporanea.

All'interno di una immagine normalizzata potremo trovare i punti omologhi lungo le linee epipolari parallele ai lati dell'immagine al posto che sul piano.<sup>38</sup>

Il metodo fotogrammetrico si articola principalmente su tre fasi:

- Fase di presa, in cui si organizza l'acquisizione dei fotogrammi
- Fase di orientamento, in cui si determinano i parametri che regolano le connessioni analitiche tra i punti dell'ambiente o oggetto con i punti presenti nei fotogrammi.
- Fase di restituzione, comprende tutti quei passaggi intermedi dalla misurazione su modello stereoscopico, all'orientamento dei fotogrammi fino alla rappresentazione grafica finale.

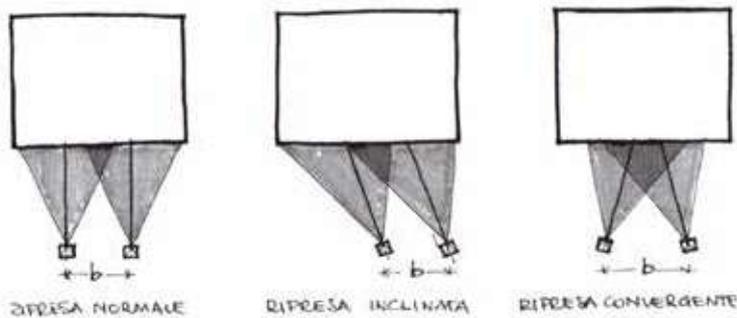
#### 2.6.5 RIPRESA DEI FOTOGRAMMI

Essenziale è l'apporto dell'appoggio topografico per determinare le coordinate planimetriche dei marker che consentono l'orientamento citato nei capitoli precedenti.

38: Filiberto Chiabrando, Erik Costamagna, Antonia Spanò, La correlazione di immagini per la generazione di modelli 3d per il patrimonio costruito

## FASE DI PRESA

La presa fotografica può essere effettuata inclinata o normale e può risultare anche convergente o parallela in rapporto alla superficie da riprendere. (Fig 17)



## Scala del fotogramma

Questo valore è legato al rapporto tra la distanza focale dell'obiettivo e la distanza della superficie media.

Si ricava dalla formula:

$$1/S = f/D$$

Con:

$1/S$  = scala media del fotogramma

$f$  = distanza focale dell'obiettivo

$D$  = distanza dalla superficie media

Per motivi di nitidezza, nel rilievo architettonico è opportuno che il rapporto tra scala di restituzione e scala del fotogramma sia circa  $1/3-1/4$ .

Quindi se dovremo restituire in scala  $1/100$  dovremo avere dei fotogrammi in scala tra  $1/300$  e  $1/400$  massimo.

## Superficie d'abbracciamento

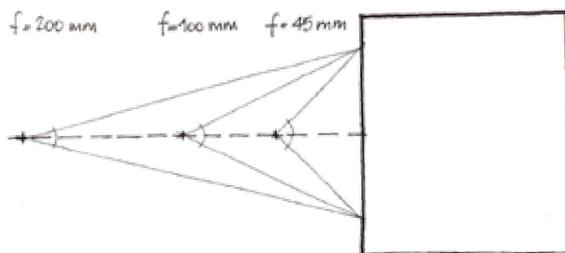


FIG 17: Schemi di presa

Fonte: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 112, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

FIG 18: La superficie abbracciata

Fonte: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 112, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

Per superficie abbracciata si intende lo spazio di oggetto che risulterà all'interno del fotogramma.

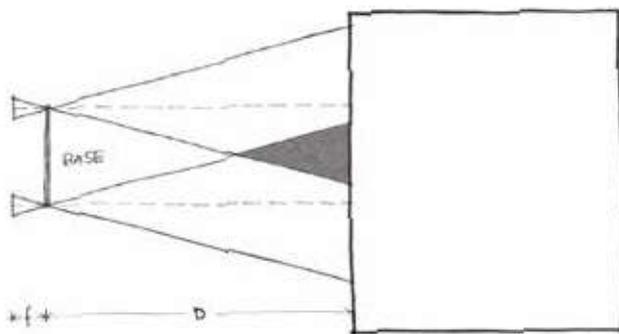
Questa può variare in base all'ampiezza del fotogramma, alla lunghezza focale f.

In questo caso a parità di superficie abbracciata la distanza di presa aumenta al diminuire della focale

Base di presa

Con base di presa si intende la lunghezza che intercorre tra due centri di presa.

Minore è questa distanza e maggiore sarà accentuato l'effetto della visione stereoscopica, ma va detto che in egual misura aumentano pure il numero di scatti per coprire la superficie da rilevare.<sup>39</sup>



GSD

Il GSD o Ground Sample Distance ha grande importanza all'interno della progettazione del rilievo fotogrammetrico sia terrestre che aereo.

Per GSD si intende la distanza tra il centro di due pixel consecutivi espressa in unità di misura.

Facile è quindi cogliere la sua importanza in rapporto al valore di risoluzione di una immagine perché rappresenta la misura in metri che un pixel ricopre.

Tanto maggiore sarà la distanza tra pixel consecutivi quanto minore sarà la definizione dell'immagine.

In funzione dell'obiettivo del rilievo è di primaria importanza stabilire come primo passaggio del procedimento quale sarà la definizione finale dell'elaborato.

Il GSD dipende dalle proprietà geometriche della fotocamera, dimensione del suo sensore e focale utilizzata oltre all'ampiezza del volo /distanza di presa.<sup>40</sup>

Per ricavare il suo valore:

$$GSD = (s \cdot H) / (f \cdot l)$$

Dove:

s: lunghezza del sensore

H: distanza di presa

f: distanza della focale

l: numero di pixel

39: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 112, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

FIG 19: Base di presa

Fonte: Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, p 112, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

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

## 2.6.6 LE PRESE FOTOGRAMMETRICHE TERRESTRI

Per effettuare un rilievo fotogrammetrico terrestre bisogna considerare alcuni accorgimenti oltre che una pianificazione del lavoro:

-grazie alle fotocamere digitali e al loro sistema di memorizzazione su sd è possibile effettuare una foto e eliminarla in un secondo momento senza sprechi di materiale, durante le riprese è buona norma effettuare un quantitativo maggiore di scatti rispetto al necessario e fare successivamente una cernita.

-ridurre al minimo zone ceche come spazi consistenti dietro a oggetti come mobili o elementi che ostruiscono consistentemente le prese.

-Tra un fotogramma e l'altro è buona norma avere un 60% di sovrapposizione sul lato ortogonale alla direzione di presa e un 80% di sovrapposizione lungo la direzione di presa.

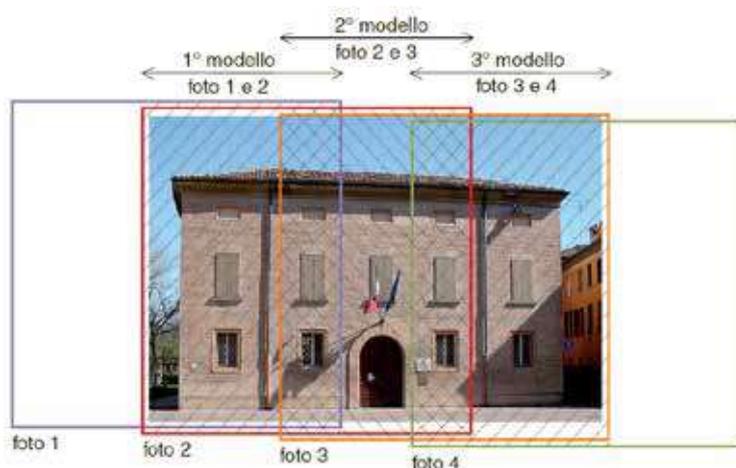


FIG 20: Sovrapposizione tra fotogrammi  
Fonte: Cannarozzo, Lanfranco, Cucchiari, Misure, Rilievo, Progetto, 2014, Unità T1

-Per un buon risultato le immagini devono avere una luce il più possibile diffusa e omogenea, quindi è preferibile una giornata nuvolosa rispetto a soleggiata, le ombre portate e autoportate interferiscono con il processo di riconoscimento dei punti omologhi tra fotogrammi.

Quindi è sconsigliato l'utilizzo di lampeggiatori fotografici come flash: è possibile utilizzare fari andando a illuminare omogeneamente tutta l'area interessata.

-Durante il rilievo va disattivato l'autofocus mediante la leva solitamente posizionata sul corpo dell'obiettivo, quindi la messa a fuoco è manuale.

Va anche disattivato lo stabilizzatore perché lavorando su cavalletto, potrebbe creare problemi di micromosso all'interno del fotogramma.

-Le prese vanno eseguite con la fotocamera montata sul cavalletto in modo da avere un'altezza strumentale costante e, dove possibile, a una distanza costante dall'oggetto per mantenere la scala del fotogramma omogenea.

-Bisogna sempre evidenziare dei punti di controllo sull'oggetto da rilevare a distanze note in modo da rendere il modello misurabile.

-Durante l'azione di presa è necessario cambiare punto di presa per ogni fotogramma.

## La profondità di campo

Un obiettivo può mettere a fuoco di volta in volta solo un determinato punto della scena; tuttavia questa appare accettabilmente a fuoco per una certa distanza prima e dopo quel punto di messa a fuoco.

Questa è l'aria a cui si fa riferimento quando si parla di profondità di campo.

Quando si ha un determinato tempo di scatto e sensibilità iso, e si modifica l'apertura del diaframma per ottenere un'esposizione corretta, si va ad agire anche sulla profondità di campo.

Le aperture del diaframma vengono così definite: ampie, medie o piccole e si misurano in F-stop

Aperture ampie come ad esempio F/4 permettono una ridotta profondità di campo avendo a fuoco l'elemento di interesse ma lo sfondo sfocato.

Un'apertura media come f/8 da una PDC media ed è utilizzabile per soggetti di grandi dimensioni come i monumenti oppure gli edifici.

Le aperture ridotte o piccole come f/16 danno una maggiore profondità di campo e sono indicate per la fotografia di paesaggi naturali oppure di scorci cittadini dove è auspicabile che vi sia fuoco tutto dal primo piano allo sfondo.

Per un buon rilievo fotogrammetrico terrestre è essenziale conoscere il concetto di distanza iperfocale, cioè quella distanza di messa a fuoco che ammette la maggiore profondità di campo possibile considerando il rapporto lunghezza focale/diaframma.

Per trovare la distanza iperfocale:

$$H=f^2/Nc$$

H= distanza iperfocale in mm

f=lunghezza focale

N:diaframma

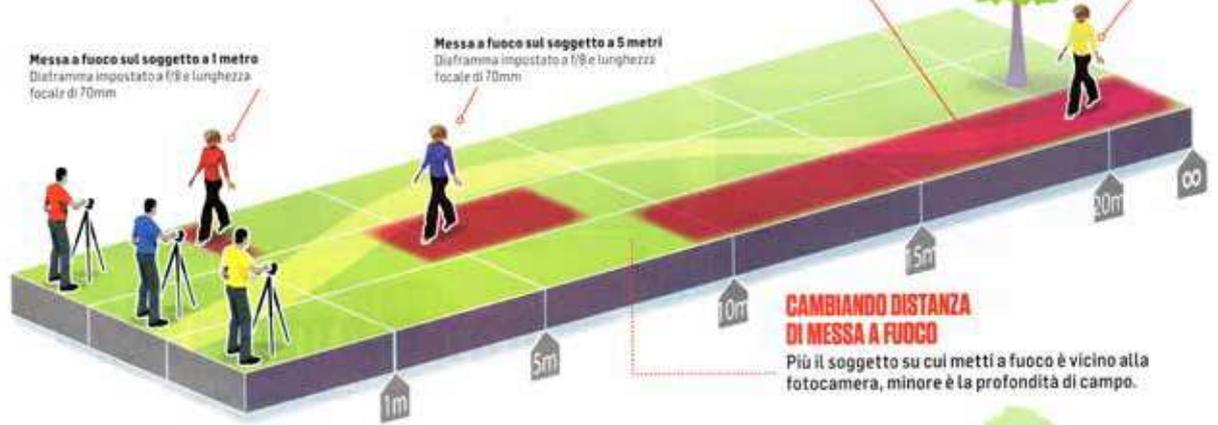
C=misura circolo confusione, valore intrinseco della macchina solitamente =0.03<sup>41</sup>

41: Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri, Misure, rilievo, progetto, p.20, Zanichelli Editore, Bologna

FIG 22: Schema profondità di campo

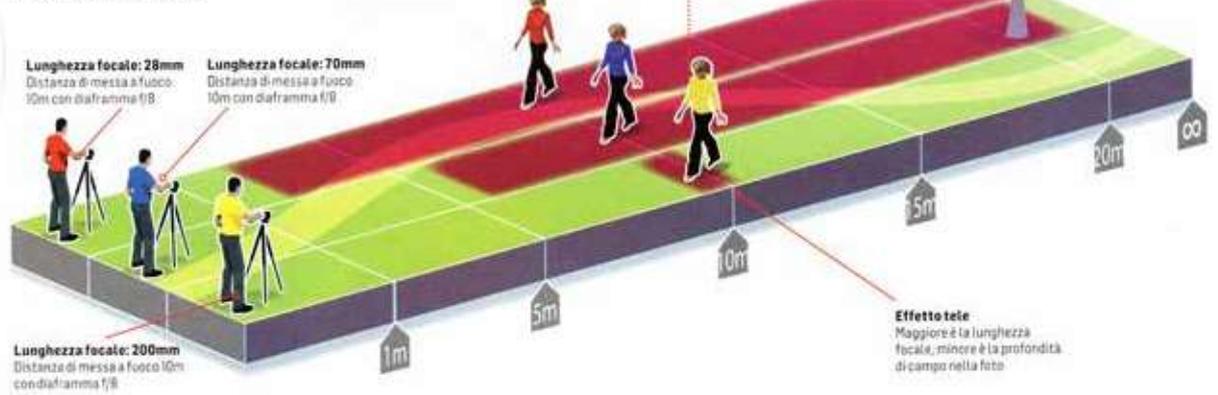
### GAMBIANDO L'APERTURA

Più il diaframma è aperto, minore è la profondità di campo che ottieni. Questo non sempre è un problema, in quanto ti permette di mettere fuori fuoco lo sfondo dietro al soggetto.



### CAMBIANDO LA LUNGHEZZA FOCALE

La lunghezza focale, dello zoom o dell'obiettivo fisso, determina quanta parte della scena sia nitida. Minore è la focale (grandangolo), maggiore è la porzione di scena sufficientemente a fuoco.



### Camere per la presa terrestre

Le fotocamere per rilievo terrestre possono essere principalmente classificate in metriche, semimetriche, amatoriali, analogiche e digitali.

Le metriche hanno l'orientamento interno è noto e costante nel tempo. Le precisioni medie fornite

sono di  $10^{-4}$ \*distanza di presa.

Le semimetriche hanno l'orientamento interno è noto ma variabile nel tempo. Le precisioni medie fornite

sono di  $5 \cdot 10^{-4}$ \*distanza di presa.

Le camere Non-metriche o tradizionali hanno l'orientamento interno incognito e variabile nel tempo. I parametri di orientamento di ogni singola immagine possono essere ricavati mediante

tecniche analitiche di "autocalibrazione".

Le precisioni medie fornite sono di  $10^{-3}$ \*distanza di presa.<sup>41</sup>

Attualmente le più utilizzate sono quelle non metriche digitali.

In questa tipologia di macchine da presa digitali l'immagine si forma non su di una pellicola, ma su un sensore elettromagnetico, comunemente di tipo CCT e talvolta nelle camere professionali CMOS.

Il sensore ccd (charged coupled device) consiste in un circuito integrato formato da una matrice di elementi semiconduttori (photosite) in grado di accumulare una carica elettrica (Charge) proporzionale all'intensità della radiazione elettromagnetica che li colpisce. Questi elementi sono accoppiati (coupled) in modo che ognuno di essi, sollecitato da un impulso elettrico, possa trasferire la propria carica ad un altro elemento adiacente, inviando al dispositivo (device) una sequenza temporizzata di impulsi; si ottiene in uscita un segnale elettrico grazie al quale è possibile ricostruire la matrice dei pixel che compongono l'immagine proiettata sulla superficie del ccd stesso.

Questa informazione può essere utilizzata direttamente nella sua forma analogica, per riprodurre l'immagine su di un monitor o per registrarla su supporti magnetici, oppure può essere convertita in formato digitale per l'immagazzinamento in file che ne consentono il riutilizzo futuro.

I formati di memorizzazione più diffusi per usi fotogrammetrici sono TIFF e JPEG.

Il formato TIFF si avvale della compressione LZW, poco distruttiva a livello di informazioni di ogni singolo fotogramma, ma che va a discapito della dimensione in mb, solitamente molto onerosa in termini di pesantezza e spazio.

Il formato JPEG invece utilizza un differente modello di compressione, lossless, che causa perdita di informazioni ma non di qualità dell'immagine.

Le informazioni necessarie che dobbiamo conoscere riguardo al sensore della fotocamera sono il numero di pixel che compongono il sensore la dimensione del pixel di solito riportata in um.

41: Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri, Misure, rilievo, progetto, p.22, Zanichelli Editore, Bologna

Il sensore ccd può essere tarato per una gamma di sensibilità più o meno ampia. Il rumore dell'immagine alla sensibilità più bassa ad esempio a 100 Iso è più contenuto ma, in alcuni casi con condizioni di luce scarsa l'elevato livello di Iso causerà una resa grafica del fotogramma molto disturbata da un effetto "granuloso".

E' consigliabile eseguire alcune prove oltre che utilizzare il treppiede e il comando remoto.

Utilizzando camere compatte non possiamo scegliere l'obiettivo, non essendo questo intercambiabile, ma abbiamo una certa libertà di scelta sulla lunghezza focale perché queste camere normalmente sono dotate di obiettivi zoom.<sup>42</sup>

#### Caratteristiche ottiche e aberrazioni

La scelta delle ottiche per le camere reflex dipende dall'oggetto del rilievo e dallo spazio di lavoro.

Ottiche grandangolari a focale corta consentono di lavorare anche in spazi ridotti, tuttavia producono deformazioni prospettive elevate allontanandosi dal centro del fotogramma. Questo può essere un problema notevole se l'oggetto del rilievo presenta elementi fortemente aggettanti.

La qualità dell'ottica poi influisce sulla risoluzione dell'immagine, solo con ottiche molto ben costruite è possibile sfruttare al meglio il sensore, avvicinandosi alla sua massima risoluzione teorica. Ai diaframmi maggiori e ai bordi del fotogramma si ha comunque una diminuzione nella resa, normale anche in ottica di qualità molto elevata.

La distorsione radiale è normalmente limitata negli obiettivi a focale più lunga, oltre i 40 mm, per focali più corte invece l'effetto diventa visibile anche ad occhio, ma una correzione è sempre possibile.

Anche l'effetto di vignettatura può creare disturbo in tutti gli obiettivi grandangolari, ma è possibile correggerlo con appositi programmi di elaborazione di immagini.

Nelle applicazioni fotogrammetriche la distorsione radiale viene calcolata in base di calibrazione e può quindi considerarsi poco influente ai fini della restituzione.

Nelle applicazioni fotografiche del rilievo invece è sempre necessario correggere direttamente i fotogrammi per eliminare.

Anche l'aberrazione cromatica, che talvolta si verifica nelle zone ad alto contrasto di immagine può essere corretta. (Fig.23)

In particolare è possibile correggere sia l'aberrazione cromatica trasversale sia l'aberrazione cromatica longitudinale con l'algoritmo di Photoshop.

L'aberrazione cromatica è visibile a forti ingrandimenti, e può essere fastidiosa in fase di restituzione fotogrammetrica ad ingrandimento normale o su stampa causando una minore nitidezza dell'immagine.

Nella scelta delle ottiche è buona cosa valutare anche la nitidezza, è possibile fare riferimento a recensioni e a misure di laboratorio, oppure anche basarsi su prove effettuate personalmente fotografando a sensibilità e apertura diversa un soggetto a forte contrasto. Normalmente la nitidezza è migliore alle medie aperture comprese tra focale 4-8 e decade per aperture maggiori.<sup>43</sup>

42: Roggero, Tecniche Fotografiche per il rilievo, Manuale ad uso degli allievi Architetti, 2008, p.1-3

43: Roggero, Tecniche Fotografiche per il rilievo, Manuale ad uso degli allievi Architetti, 2008, p.3-5



FIG 22: Esempio di aberrazione cromatica all'interno di una immagine e la sua correzione.

### 2.6.7 PRESE FOTOGRAMMETRICHE AEREE

E' ormai da quasi 100 anni che la fotogrammetria aerea è lo strumento principale per la produzione cartografica di medie-grandi estensioni territoriali.

In essa la presa avviene attraverso camere molto sofisticate che, grazie ad automatismi riescono a effettuare fotogrammi da elevate altezze mantenendo una risoluzione e una nitidezza molto elevate.

L'aereo segue una traiettoria rettilinea e mantiene una distanza e una velocità costante, grazie agli automatismi precedentemente citati la fotocamera effettuerà delle prese a intervalli regolari e con il ricoprimento progettato durante la pianificazione del volo.

I fotogrammi ripresi lungo uno stesso percorso rettilineo costituiscono una strisciata.

L'insieme di più strisciate si definisce blocco di strisciate.

Terminata una strisciata l'aereo vira di 180° per effettuare quella adiacente successiva, questo sistema di prese necessita di una strumentazione di navigazione molto precisa. (Fig. 23)

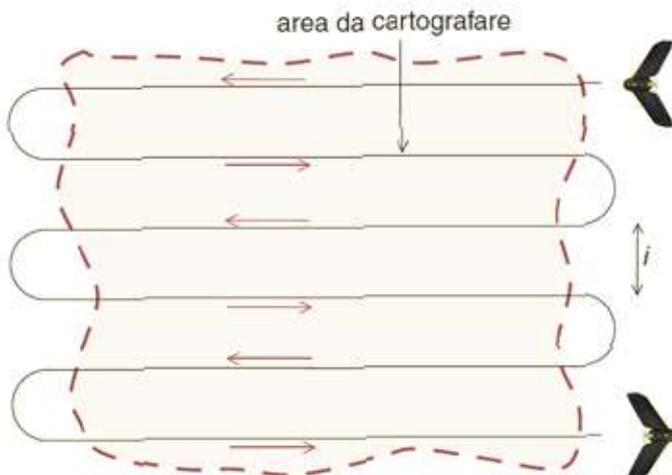


FIG 23: Schema organizzativo piano di volo

Inoltre, oltre al ricoprimento longitudinale è necessario che l'interasse tra due strisciate permetta la giusta sovrapposizione laterale.

Le prese fotografiche devono avvenire in modo che tutta l'area compaia almeno due volte all'interno dei fotogrammi e che rimanga scomposta in modelli stereoscopici.

Importante è monitorare l'irregolarità del terreno perché, se molto irregolare, il rilievo potrebbe richiedere un valore più alto di ricoprimento longitudinale fino a valori del 80-90%. (Fig.24)

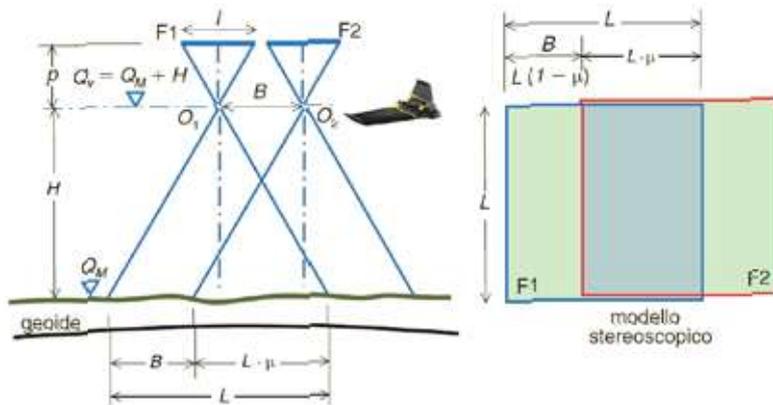


FIG 24:Schema del ricoprimento con la fotogrammetria aerea

I voli fotogrammetrici vengono eseguiti in condizioni metereologiche perfette cioè l'area deve essere priva di nubi e di foschia e si effettuano nelle ore centrali della giornata per sfruttare la massima illuminazione e minimizzare l'effetto delle ombre. <sup>44</sup>

Negli ultimi anni però si è sviluppata un'alternativa all'utilizzo dell'aereo, l'U.A.V.

Gli U.A.V o aereomobili a pilotaggio remoto sono apparecchi volanti, di dimensioni molto ridotte rispetto anche a un aereo ultraleggero convenzionale, che non necessitano di un pilota a bordo.

Il suo volo viene controllato per mezzo di un computer a bordo del mezzo oppure da un pilota a terra attraverso un radiocomando.

Ogni drone ha la capacità di decollare, sorvolare un'area e ritornare al punto iniziale senza comandi dal pilota, il volo può essere programmato attraverso un programma o un app oppure comandato in tempo reale.

Se non vi è l'intervento dell'operatore si parla di volo automatico, viceversa è definito manuale.

Si possono individuare due tipologie di UAV: con multi rotor oppure ad ala fissa.

Nella parte ventrale del velivolo è fissata una fotocamera che, a seconda del drone può essere inclinabile o pilotabile da remoto nel caso di UAV professionali.

Nel modelli ad ala fissa non vi è questa possibilità perché la camera è parallela al terreno e non può effettuare fotografie soggette a inclinazioni specifiche.

Il volo automatico, quindi programmato in precedenza e comunicato al drone tramite applicazione o programma permette di ottenere fotogrammi solo a una certa inclinazione. Il volo procede seguendo dei "waypoints" che formeranno il percorso che il drone deve seguire

44: Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri, Misure, rilievo, progetto, modulo T2, Zanichelli Editore, Bologna

---

E' possibile indicare per ogni punto l'altezza dal terreno.

Come nella fotogrammetria tradizionale, il drone seguirà traiettorie rettilinee a velocità e altezza costante intervallando i fotogrammi, in modo da garantire la giusta sovrapposizione, come sopra già spiegato.

La modalità manuale può essere utilizzata in due casi specifici: nel caso in cui si necessita di scatti circostanti a un edificio con fotocamera inclinata a  $45^{\circ}$  e orientate sempre verso di esso oppure in caso di particolari ostruzioni difficilmente superabili dal sistema di navigazione. <sup>45</sup>

Come per la fotogrammetria terrestre, per creare modelli misurabili, anche in questo caso, si necessita di marker misurati per via topografica grazie alla stazione totale o sistema GNSS e quindi di coordinate note ben visibili dall'alto durante il volo e disposti in modo omogeneo su

45: Antonia Teresa Spanò, slide workshop: Fotogrammetria digitale e scansioni 3d

## 2.7 RILIEVO DI DETTAGLIO CON TECNOLOGIA LIDAR

“Il crescente interesse per la tecnologia laser scanner e le sue integrazioni con i processi e i prodotti della fotogrammetria digitale sviluppatosi negli ultimi anni per rispondere alle esigenze del territorio e del patrimonio costruito, del monitoraggio ambientale e della progettazione meccanica, mi ha levato l’attenzione anche nelle ricerche e progetti di architettura orientati al controllo e alla gestione delle dinamiche di trasformazione dell’ambiente costruito e in conseguenza anche dei progetti formativi delle scuole politecniche”<sup>46</sup>

I sistemi laser scanning costituiscono una nuova generazione di strumenti di misura che, grazie all’elevato grado di automatismo, consentono di acquisire in tempi brevi la posizione di un elevato numero di punti imponendo il ribaltamento della sequenza logico-operativa utilizzata abitualmente.

La prassi infatti richiedeva prima un’interpretazione, una prima cernita d’informazioni decidendo quanti punti misurare.

Invece nel processo di presa con questa tecnologia non abbiamo un rilievo indistinto e veloce di moltissime informazioni metriche; la selezione delle informazioni viene fatta solo successivamente quando si sono registrate le scansioni e si va a operare sulla nuvola densa.

Per funzionare, questa tecnologia si avvale della misurazione molto simile a quella impiegata dai distanziometri ad onde elettromagnetiche da qui il nome, Light Detection and Ranging, LIDAR.

Questa tecnologia è impiegata da molto tempo, le prime applicazioni risalgono al 1989, ed è stata sempre molto utilizzata nei campi legati alle infrastrutture.

Questa tipologia di strumentazione aveva il problema di risultare molto ingombrante da trasportare.

Grazie però alle innovazioni nel campo dell’elettronica e dell’informatica queste strumentazioni, ora, hanno un prezzo minore, ma soprattutto sono diventate facilmente trasportabili date le dimensioni più contenute.

Una peculiarità molto importante di questa tecnica è l’intervallo di scala di rilievo perché è possibile utilizzarla sia a scala territoriale, urbana sino ad arrivare al rilievo di dettaglio di oggetti che richiedono un ingrandimento per essere rappresentati.

Anche in questo caso si hanno sistemi a scansione mobile montati solitamente su aerei, elicotteri oppure sistemi a scansione fissi o terrestri montati solitamente o su treppiedi topografici oppure su cavalletti fotografici.

Questa tecnologia si basa, come il distanziometro laser o la stazione totale, proprio su un fascio laser cioè un fascio di luce sintetizzata artificialmente e irradiato a grande distanza e con estrema direzionalità, lo strumento trova le coordinate spaziali dove il fascio laser incontra l’oggetto da misurare.

46: Chiabrando, Spanò, I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d’architettura, p.65

Questa misurazione viene effettuata per milioni di punti che insieme comporranno una nuvola densa.

I sistemi di scansione laser si distinguono in base alle due metodologie differenti per la misurazione dei punti e dalla presenza di una sola o due camere:

La prima metodologia è quella distanziometrica dove viene usato lo stesso principio di misura della stazione totale, le coordinate del punto vengono ricavate attraverso la misura di due angoli e di una distanza.

In questo caso avremo la misura della posizione tridimensionale del punto in coordinate sferiche, convertite successivamente in cartesiane.

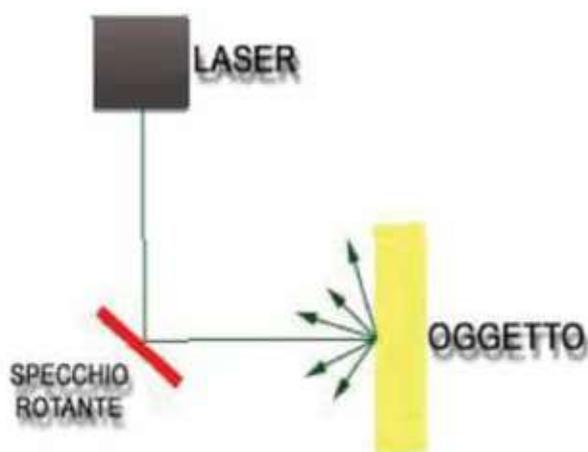


FIG 25: Sistema di funzionamento di uno scanner distanziometrico

La seconda invece si avvale di un sistema triangolatore, il punto viene rilevato nello spazio come intersezione di due rette di direzione nota nello spazio.

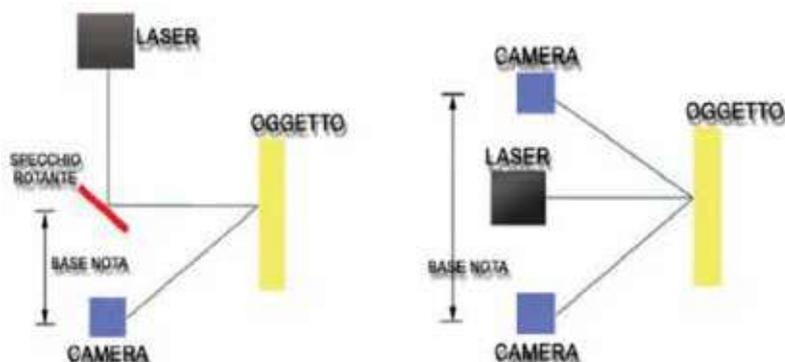


FIG 26: Sistema di funzionamento di uno scanner laser basato sulla triangolazione del punto

Per quanto riguarda gli strumenti a camera singola hanno la particolarità di avere un trasmettitore che invia un raggio laser che si riflette grazie a uno specchio, quest'ultimo è fissato all'estremo di una base meccanica che ruota con un angolo variabile a passo definito, mentre l'altro estremo della base è fissato a una camera fissa CCD che lo riprende. La posizione nello spazio dell'elemento di superficie può essere derivato attraverso l'intersezione in avanti essendo noti un cateto e i due angoli adiacenti.

Abbiamo una diminuzione della precisione al crescere del quadrato della distanza dal punto dello strumento.

Gli strumenti a camera doppia invece sono una variazione rispetto a quelli citati pocanzi perché la posizione dello specchio è occupata da una camera e l'emettitore è a una posizione intermedia.

In questo sistema il raggio laser colpisce l'oggetto realizzando una scansione regolare e il segnale è catturato dai sensori CCD delle camere posti agli estremi della base fissa. Il principio per trovare le coordinate è analogo all'intersezione con base nota come in topografia.

Questi sistemi danno ottimi risultati su distanze minori ma offrono precisioni anche sub-millimetriche.

Le prese lasercan sono completamente indipendenti dalle caratteristiche morfologiche delle superfici in esame.

I punti vengono acquisiti secondo passi regolari e costanti ottenendo quindi un'elevata quantità di dati su superfici piane o con curvatura uniforme e carenti nei punti di maggiore discontinuità come spigoli o rientranze.

Il raggio laser ha differenti comportamenti in base alle superfici che incontra perché varia la parte assorbita, riflessa e trasmessa del raggio.

La riflessione può essere speculare o diffusa in base, come già detto, alla tipologia di materiale e alla sua rugosità.

Molte volte, in un rilievo soprattutto d'interni, è necessario coprire eventuali specchi presenti a causa del comportamento che ha il raggio laser su una superficie riflettente.

Come ogni strumento di rilievo è soggetto a una precisione nella misura che può variare in base alla distanza e dall'angolo di incidenza del raggio.

Questa è data dall'incidenza di tutti gli errori insiti:

- errore calcolo tempo di volo del fascio laser
- errore meccanico angolare causato dallo spostamento degli specchi
- errore di incidenza del raggio
- errore di calibrazione

Ricorrendo all'overlapping cioè a un sovra-campionamento possiamo ottenere precisioni maggiori.

Durante il rilievo una sola scansione non registrerà mai in modo esaustivo l'oggetto in questione, quindi sarà necessario l'impianto di un sistema di riferimento a cui ricondurre tutte le scansioni.

La rete di inquadramento è essenziale per la rototraslazione e il montaggio delle differenti prese laser.<sup>47</sup>

Sulla base delle osservazioni sui metodi e gli strumenti con i quali il progetto d'Architettura interpreta le trasformazioni della città e del territorio ci si accorge dell'importante funzione di queste nuove tecnologie di gestione di informazioni.

47: Antonia Teresa Spanò, slide workshop: Fotogrammetria digitale e scansioni 3d

---

La tecnologia LIDAR, con le sue molte opportunità d'applicazione non gode ancora però di linee guida precise in seguito alla mancanza di uno standard universale condiviso; nella quasi totalità dei casi si ricorre a modelli di documentazione con tempi contenuti di produzione.

In alcuni stati si inizia a fare qualche passo avanti, il Regno Unito infatti ha inserito un'appendice dedicata al laser scanning all'interno dell'"English Heritage'Understanding Historic Buildings:A guide to good recording practice" del 2006. <sup>48</sup>

48: Chiabrando, Spanò, I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d'architettura p.66-69

## 2.8 I SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI GIS

Nata in età greca la geografia rappresenta la scienza con il compito di descrivere la terra. Questa scienza è stata soggetta, nel corso del tempo, a un complesso processo evolutivo che l'ha vista più volte incontrarsi con un'altra scienza, la cartografia.

La necessità che ha portato alla sua nascita è stata quella di rappresentare una sintesi descrittiva del mondo abitato e dei suoi elementi.

Nel 550 a.C, Anassimandro di Mileto tentò per la prima volta di raccogliere le conoscenze acquisite riguardo alla Terra fino a allora conosciuta in una rappresentazione i cui confini delle terre emerse erano limitati all'interno di un cerchio.

Intorno al 300 a.C il messinese Dicearco per la prima volta cerca di compiere una misurazione dimensionale di massima della Terra costruendo un sistema geometrico che assicurasse un'esattezza almeno relativa alle distanze.

Il lavoro di sintesi dei viaggi, dato l'elevato quantitativo di informazioni fu tutt'altro che semplice e causò uno sviluppo tardivo della geografia.<sup>49</sup>

La prima raffigurazione cartografica I.G.M è del 1903 con la Gran carta d'Italia.

Per la sua realizzazione venne utilizzato l'ellissoide di Bessel con tre orientamenti: Genova per i territori dell'Italia del nord, Roma per la parte centrale mentre per il sud viene utilizzato Castanea delle Furie (ME).

La proiezione utilizzata fu quella di Gauss.

Il territorio nazionale fu diviso in 277 fogli le cui dimensioni erano definite dalle trasformate di archi, di meridiani e paralleli, ogni foglio copriva in media 1500 km<sup>2</sup>.<sup>50</sup>

L'attuale sviluppo delle tecnologie informatiche ha contribuito a portare un'ulteriore evoluzione, trasformando gli strumenti cartografici in sistemi informatizzati che permettono di elaborare analisi spaziali e tematiche.

L'esigenza di creare documentazioni per i diffusi interventi di trasformazione territoriale e urbana necessita l'implemento di funzioni rappresentative e d'analisi dei dati spaziali nei G.I.S Geographic Information Science applicando un livello di specializzazione geomantico necessario per rappresentare una complessità delle componenti della realtà coinvolte.<sup>51</sup>



49: Biollo Giovanni. Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici, p.2, I quaderni di MondoGIS

50: Cantile Andrea, Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare

51: Antonia Teresa Spanò, slide Atelier finale progettazione D, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

Fig 28: Gran Carta d'Italia, raffigurazione cartografica I.G.M 1930, foglio n.80

## 2.8.1 IL SISTEMA GIS

Ad oggi la continua evoluzione tecnologica ci ha portati ad utilizzare la cartografia digitale, del GIS.

Il riuscire a leggere e interpretare il territorio in cui viviamo è essenziale per gestire e organizzare la nostra vita.

“Il GIS un potente insieme di strumenti in grado di acquisire, immagazzinare, recuperare, trasformare, analizzare e riprodurre dati spaziali riferiti al territorio.”<sup>52</sup>

“Un tipo di sistema informativo dove il database consiste di osservazioni su dati spaziali distribuiti, attività e eventi che sono definiti nello spazio secondo punti, linee o aree. Il sistema elabora dati su questi punti, linee o aree per recuperare dati per interrogazioni ed analisi dedicate”<sup>53</sup>

“Un modello spaziale di archiviazione ed elaborazione di dati, eventi ed attività spaziali, finalizzata all’interpretazione del paesaggio, dal sito al territorio, dal costruito all’ insediato, dalla microscala alla macroscala, nel sistema tutto è maggiore della somma delle parti, cioè il valore informativo delle interazioni fra le varie parti è superiore al contributo di ciascuna di esse.”<sup>54</sup>

Possiamo sintetizza il GIS Geographic Information Sistem come un sistema che permette di visualizzare, interrogare, analizzare e interpretare i dati per capire i rapporti; i modelli e gli andamenti.

Attualmente il territorio è rappresentato per la sua totalità su una cartografia numerica che ha sicuramente portato numerosi vantaggi eliminando la componente soggettiva e i problemi di deterioramento e deformazione portati dal tempo.

La cartografia è completamente visualizzabile su schermo video su prodotti cartacei permettendo un ulteriore incremento delle informazioni legate a planimetrie, altimetrie e modelli 3D

La gestione dei dati territoriali è affidata al sistema GIS.

Questi sistemi permettono la realizzazione di modelli della realtà, in forma potenziata a confronto della cartografia tradizionale poiché danno soluzioni a esigenze pensate e creare dei modelli rappresentativi multidimensionali.

La loro nascita è stata dettata dalla necessità di raccogliere un grandissimo quantitativo di informazioni atte a formare la base su cui poter prendere decisioni strategiche per il territorio in molteplici campi.

La modellazione di fenomeni e di scenari simulati è una delle possibilità d’applicazione prima non possibili.

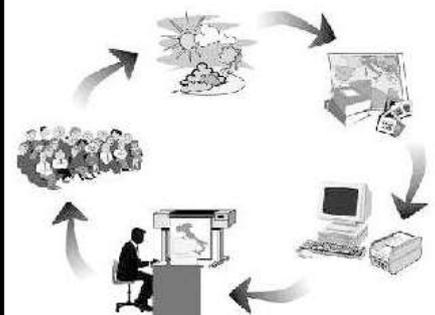
Un sistema è possibile definirlo come territoriale solo nel caso in cui sia basato su dati dello spazio geografico.<sup>55</sup>

52:Burrough, Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment, Monographs on Soil and Resources Survey No.12, Oxford Science Publications, New York 1986

53:Duecker K.J, 1979

54:Forte M, 2002

Fig 28: Sistema decisionale SIT  
Fonte: Biallo Giovanni. Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici, p.10, I quaderni di MondoGIS



55: Antonia Teresa Spanò, slide Atelier finale progettazione D, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

## 2.8.2 LE COMPONENTI DEL GIS

I sistemi Informativi si strutturano su:

- Hardware cioè programmi che all'interno della macchina processano le azioni del SI
- Software cioè strumenti elettronici atti a processare i dati in input e output
- procedure applicative
- bachè dati, database
- persone

Il GIS presenta le stesse componentistiche che però risulteranno specializzate a causa della territorialità delle informazioni da gestire.

I dati che vengono inseriti all'interno di uno spazio Gis sono informazioni territoriali con caratteristiche storiche, geografiche, sociali, economiche, culturali.

Dal geoportale si possono quindi ottenere:

- Dati geometrici: descrivono le caratteristiche e la forma delle entità e possono essere:
  - vettoriali: caratterizzati da relazioni topologiche che li legano. Le rappresentazioni vettoriali si basano su entità elementari e oggetti complessi, le entità primitive sono: punti, linee, aree
  - raster: rappresentati grazie a pixels, sotto forma di celle di forma regolare gerarchizzate. Le immagini raster sono di varia natura: fisiche, classificate, cartografiche e fotografiche.

-Dati alfanumerici: attribuiti a ogni entità o dato geometrico.

Le caratteristiche definiscono le informazioni qualitative/quantitative degli oggetti spaziali e sono legati tra loro da relazioni. <sup>56</sup>



## 2.8.3 SISTEMI DI RIFERIMENTO

In Italia attualmente i sistemi di riferimento geodetici più utilizzati sono principalmente tre:

-Roma 40: nasce nel 1940 con la Commissione Geodetica Italiana e l'ellissoide è orientato sulla verticale del punto Roma Monte Mario.

Questo sistema a livello rappresentativo cartografico è conforme al sistema Gauss-Boaga che prevede false origini.

56: Biallo Giovanni. Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici, p.8-12, I quaderni di MondoGis

Fig 29: Sistema gerarchico dati raster  
Fonte: Biallo Giovanni. Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici, I quaderni di MondoGis

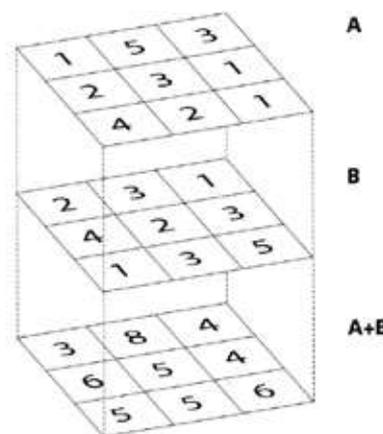


Fig 30: Schema sintetico SIT  
Fonte: Biallo Giovanni. Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici, I quaderni di MondoGis

-European Datum 1950(ED50): è nato per rendere il più omogenea possibile una cartografia di piccola/media scala a livello europeo nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale.

L'orientamento è in un punto nei pressi di Postdam, nei pressi di Berlino.

Utilizza l'ellissoide di Hayford, l'orientamento medio europeo del 1950 e ha la longitudine con origine a Greenwich.

Questo sistema è legato alla rappresentazione cartografica UTM basato sulla rappresentazione di Gauss e viene usato per il taglio della cartografia italiana e di tutto il mondo.

-World Geodetic System 1984(WGS84): è un sistema globale geocentrico legato all'ellissoide WGS84 definito attraverso osservazioni spaziali.

A livello europeo la costruzione del sistema è costituita dall'ETRS89 mentre, a livello italiano, è stato realizzato istituendo la rete geodetica tridimensionale IGM95, creata utilizzando strumenti GPS a posizionamento differenziale e per ogni punto sono fornite le coordinate del sistema ETRS89 e i parametri di trasformazione tra ETRS89 e Roma 40 zonizzati.

Questo sistema è periodicamente aggiornato e le sue realizzazioni sono indicate con la dicitura WGS84(GXXX) dove abbiamo la G che indica che le misure sono state ottenute grazie l'utilizzo del GPS mentre la sigla numerica seguente indica la settimana di presa. le coordinate dei vertici geodetici sono disponibili e gli spostamenti orizzontali massimi che, indicativamente, sono nell'ordine dei 7cm/annui.

La rete IGM95 prima citata non è altro che la rete WGS84 di realizzazione italiana.

Riepilogando quindi questi tre sistemi differiscono principalmente per dimensioni e orientamento dell'ellissoide quindi per uno stesso punto le coordinate possono essere diverse di molti metri nei diversi sistemi.<sup>55</sup>

## 2.9 MODELLAZIONE DIGITALE BIM

“Il Building Information Modelling BIM e l’interoperabilità tra i software possono garantire una serie di vantaggi a chi opera nei mercati dell’architettura, dell’ingegneria e delle costruzioni.

La ricerca di un contesto basato su una perfetta condivisione digitale dei dati, in cui ogni professionista nell’ambito della propria area di specialità sia in grado di raccogliere informazioni, esplorazioni differenti e perfezionare le scelte compiute.”<sup>58</sup>

Il BIM o Building Information Modelling è una metodologia di lavoro basata sulla collaborazione tra diversi professionisti coinvolti nel processo edilizio a partire da una base di dati condivisa.

Questo metodo nasce dalla necessità di strutturare una comunicazione efficace a livello di informazioni tra tutte le parti che partecipano al processo edilizio inteso come sequenza organizzata di fasi decisionali, operative e gestionali finalizzate alla progettazione, realizzazione e fruizione di beni edilizi in un contesto a risorse limitate.

Esiste dunque una forte necessità di organizzare e codificare l’insieme delle informazioni che è proprio del processo edilizio, strutturandole in modo logico, chiaro e gerarchizzato basato sull’utilizzo dell’IT, Information Technology, portando quindi a una modellazione tridimensionale, ma anche alla collaborazione fisica tra i professionisti.

E’ possibile però anche vedere il modello BIM come elemento descrittivo non unicamente delle geometrie tridimensionali dell’edificio ma anche come database parametrico di oggetti che andranno a comporre la base del modello, contenente informazioni grafiche ma anche relazione con gli altri oggetti, dati sui materiali e altre proprietà.

Attualmente nel settore AEC Architecture, Engineering and Costruction a livello mondiale questa metodologia si sta palesando sempre maggiormente e in alcuni casi è riuscita a far parte della normativa di riferimento.

Gli unici elementi intrinseci del sistema che allo stesso tempo limitano la sua



58: Anna Osello, Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, introduzione del Rettore Gilli Marco, Dario Flaccovo Editore

Fig 31: Schema punti forza/debolezza, opportunità/minacce del BIM

affermazione possono essere individuati nel fatto che:

-il sistema è completamente basato sul formato digitale, non sempre disponibile in un'architettura storica.

-vi è la mancanza di informazioni esatte riguardanti la parte manutentiva.

-la modellazione, soprattutto quella storica, è molto complessa.

-vi è la mancanza di professionisti che padroneggiano gli strumenti tipici del BIM.

L'implementazione del BIM all'interno del FM (Facility Management) è già testimoniata da buone pratiche di:

-scambio di dati tra le fasi di realizzazione, gestione e manutenzione

-raccolta informazioni logistiche relative ai singoli ambienti

-utilizzo del laser scanner per creare modelli 3D

Il BIM deve essere strutturato in modo tale da supportare, sfruttare e valorizzare queste informazioni fornendo un manuale tipo che riassume le informazioni base, un modello accurato e ricco di informazioni relative agli elementi su cui l'edificio si basa, descritti e rappresentati oltre che un valido supporto per analisi.

Il procedimento logico per strutturare un modello BIM, essendo ancora un concetto relativamente nuovo, necessita ancora di una definizione ogni nuovo progetto.

Gli unici elementi intrinseci del sistema che allo stesso tempo limitano la sua affermazione possono essere individuati nel fatto che:

-il sistema è completamente basato sul formato digitale, non sempre disponibile in un'architettura storica.

-vi è la mancanza di informazioni esatte riguardanti la parte manutentiva.

-la modellazione, soprattutto quella storica, è molto complessa.

-vi è la mancanza di professionisti che padroneggiano gli strumenti tipici del BIM.

E' però possibile individuare alcuni punti cardine da tenere presente ogni qualvolta si inizia un nuovo progetto: impostare requisiti chiari, scegliere strumenti performanti, incorporare dati FM (Facility Management), riorganizzare le tradizionali informazioni.<sup>59</sup>

Il modello BIM, inoltre, massimizza le sue potenzialità legate all'interoperabilità basata sullo scambio tra figure professionali e alla condivisione dei modelli e dei dati contenuti in essi tra differenti piattaforme.

Quindi possiamo riassumere come obiettivo centrale l'organizzazione legata all'interoperabilità oltre che alle finalità tanto da richiedere una figura apposita: il BIM Manager.

### 2.9.1 LA PROGETTAZIONE NEL BIM

All'interno di una progettazione ottimale come quella rappresentata dal BIM si tende ad avere un picco di utilizzo a livello di risorse nella fase preliminare della progettazione.

Questo concetto è espresso attraverso la "Curva Di Patrick MacLeamy".

La curva presenta nel suo insieme le conformazioni degli impatti legati a quattro distinte voci:

-Impatto sui costi e ottimizzazione delle procedure

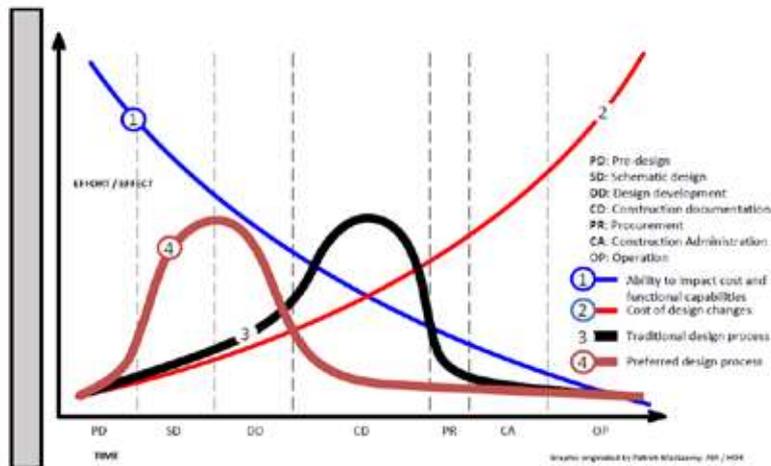
-Costo varianti di progetto

-Processo progettuale tradizionale

-Processo progettuale in ambiente BIM

59: Acquaviva, Bianco, Bocconcino, Brundu, Cangialosi, BIM GIS AR FM, Dario Flaccovio Editore, p.16-22

Fig 32: Curva Di Patrick MacLeamy



Ulteriore filtro per il grande quantitativo di informazioni è il LOD.

Questo può assumere due accezioni, level of Detail oppure level of Development.

Il level of Detail ha la funzione di esplicitare il grado di dettaglio che ogni elemento deve avere al momento del suo inserimento nel modello.

Invece il level of Development indica il grado di sviluppo con cui la geometria e le informazioni ad essa associate per ogni elemento sono state pensate per assicurare a tutti i componenti di un gruppo di lavoro il giusto quantitativo di informazioni nel momento in cui deve essere usato.

Riassumendo quindi il livello di dettaglio è l'output, mentre il livello di sviluppo è un indice che esplicita la bontà del dato in uscita.

Per entrambe il AIA (American Institute of Architects) demarca 5 livelli dell'elemento BIM partendo da un livello approssimativo di dettaglio sino a giungere al massimo livello di precisione rappresentativa.

-100: Concettuale, ogni elemento può essere rappresentato simbolicamente o con rappresentazione generica, alcune informazioni possono essere ricavate dal modello.

-200: Geometria a un livello approssimativo, ogni elemento viene rappresentato in maniera generica oltre assemblato in maniera approssimativa a livello dimensionale, posizione e orientamento.

-300: Geometria precisa e ben definita, ogni elemento si rappresenta come un specifico sistema assemblato in termini di qualità, dimensioni e forma. Le informazioni grafiche possono essere ricollegate per mezzo del modello.

-400: Costruttivo, rappresentazione all'interno del modello in maniera specifica e assemblato in termini qualitativi, dimensionali e di forma posizione e orientamento in maniera dettagliata con rimandi ai dati di fabbricazione, assemblaggio e installazione.

Le informazioni non grafiche si possono collegare al modello.

-500:As-Built, ogni componente del modello è verificato sul campo in termini dimensionali forma, posizione, qualità e orientamento.

Le informazioni non grafiche possono essere collegate agli elementi del modello.<sup>60</sup>



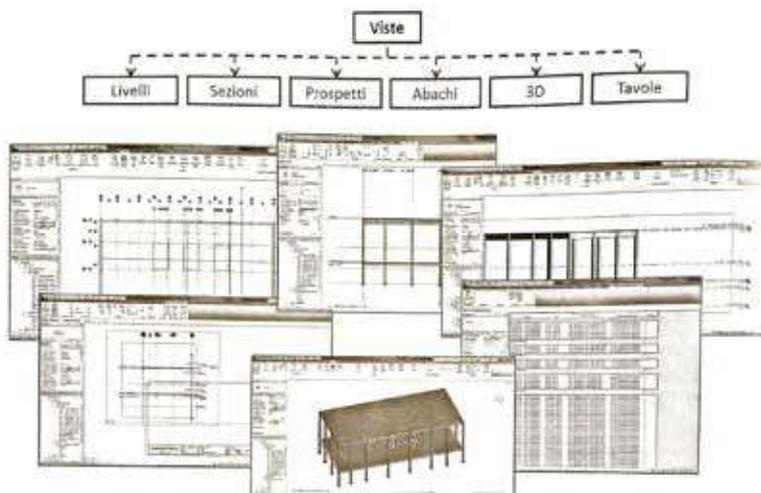
## 2.9.2 CONFRONTO TRA LA RAPPRESENTAZIONE BIM E CAD

Il BIM sta fondamentalmente cambiando il modo di disegnare l'architettura e non solo da oltre 30 anni, possiamo affermare che le metodologie BIM stanno facendo evolvere il modo in cui il progetto viene realizzato.

Questo passaggio però necessita di considerazioni dettate dalla nuova natura dell'ambiente digitale.

Le premesse del CAD erano quelle di automatizzare certe fasi del disegno ponendo come obiettivo la rappresentazione 2d mediante linee, archi e simboli di geometrie.

Ulteriore stratificazione semantica oltre gli elementi grafici è la gerarchia formale creata dagli strati comunemente chiamati layer per raggruppamenti affini.



60: Anna Osello, Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, introduzione del Rettore Gilli Marco, Dario Flaccovo Editore, p. 21

Fig 33: Schema riassuntivo livelli di dettaglio

Fig 34: Schema relativo alle differenti modalità di visualizzazione delle informazioni in Revit

Nella stessa modalità d'approccio il Cad3D inizialmente si focalizzò sul delineare elementi geometrici come elemento in supporto alla visualizzazione, il passo successivo è stato il processo di rendering.

Con lo sviluppo dei sistemi OOCAD Object-Oriented CAD i simboli 2D sono stati sostituiti da elementi specifici in grado di integrarne il comportamento, con l'aggiunta di una rappresentazione geometrica 3D parametrica.

Il BIM rappresenta l'ultima generazione di sistemi OOCAD con oggetti edilizi intelligenti che definiscono la composizione di un progetto e tutti gli oggetti sono archiviati in un unico database dell'edificio virtuale.

Si ha quindi un'unica logica coerente sorgente di tutti i dati associati all'edificio.

Sulle base di queste informazioni legate alle diverse metodologie è chiaro che la tecnologia per la modellazione digitale ha un consistente peso nella pratica professionale. Attraverso i modelli BIM è ancora possibile produrre disegni tradizionali ma è possibile includere informazioni aggiuntive utilizzabili in altri processi automatizzati.

La differenza rilevante è legata ai contenuti degli oggetti presenti definiti in termini di sistema di parti di edificio e dove abbiamo un'efficiente scambio senza perdita di dati.<sup>61</sup>

### 2.9.3 L'EVOLUZIONE DEL BIM

Il disegno è stato da sempre l'elemento cardine per la rappresentazione di dati in ambito architettonico e edile, necessario per il progetto e la realizzazione di ogni manufatto.

Considerando lo stato industriale dell'edilizia altamente frammentato, gli elaborati bidimensionali e tridimensionali sono evoluti tanto da gettare le basi su cui si basano le rappresentazioni oggi codificate per ogni soggetto che partecipa il processo edilizio.

Considerando come lasso di tempo gli ultimi 50 anni la scienza digitale ha subito ingenti cambiamenti fino ad arrivare ai nostri giorni con un'ulteriore transizione in direzione del modello 3D caratterizzato da una struttura, transizione che sta significativamente mutando il ruolo del disegno in questo settore.

Il BIM è in uso da circa 50 anni, considerando come punto d'inizio gli anni 70 del 900 e da allora si sono fatti molti progressi.

Una delle tappe fondamentali è certamente la semplice creazione-modifica di semplici volumi 3D nota come modellazione solida sviluppata dagli anni 70 in Inghilterra.

Questa potenzialità fu subito notata dall'industria aereaerospaziale per la sua capacità di analisi integrata e di riduzione degli errori decidendo di lavorare con le compagnie di software per implementare questi sistemi.

Stessa cosa non valse però per l'industria edile che non colse questa potenzialità dando inizio a una generazione digitale di documenti 2D focalizzando l'attenzione sulla rappresentazione dei manufatti partendo dalla progettazione e non da tutto il processo edilizio.

61: Anna Osello, Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, introduzione del Rettore Gilli Marco, Dario Flaccovo Editore, p. 43-48

La modellazione parametrica, fin dagli anni 80, è stata ampiamente sviluppata per la progettazione meccanica.

Mentre nella tradizionale rappresentazione CAD 3D ogni parte della geometria di un elemento deve essere editata manualmente dall'utente, in una rappresentazione parametrica corregge automaticamente in base al contesto.

Questo e il concetto di oggetto parametrico compongono le basi per comprendere appieno un processo di modellazione BIM.

L'oggetto parametrico è dato dall'insieme di definizioni geometriche alle quali sono legati dati e regole.

Nel 1986 Graphisoft introdusse per la prima volta il Visual Building Solution conosciuto come Archicad.

Questo nuovo spazio di lavoro consentiva ai professionisti di creare una rappresentazione virtuale tridimensionale all'interno del proprio progetto, fondamentale per immagazzinare un grande quantitativo di informazioni all'interno del modello edificio includendo sia dati spaziali oltre che geometrie.

La definizione dell'acronimo BIM fu coniato nel 2002 per definire l'insieme di progettazione virtuale, edificazione e FM.

Ulteriori nuovi passi avanti sono stati fatti in materia a partire dall'Aprile 2003 data in cui Jerry Lairserin organizzò un dibattito tra sul BIM tra Autodesk e Bentley.

In parallelo all'evoluzione della nomenclatura anche l'implementazione di prodotti commerciali con approccio BIM ha una lunga storia e molte funzioni riferite alla modellazione sono oggi possibili con software come AllPlan, Archicad, Revit, Bentley Building, DigitalProject, Generative Components o VectorWorks.<sup>62</sup>

Allo stato attuale, sebbene la sorgente sia aperta non c'è ancora un forte sviluppo dei software BIM del tipo open source cioè utilizzabili senza licenza del programmatore.

Data però la grande diffusione e la sua rapidità è probabile che questi programmi entrino in contrasto con i sistemi tradizionali CAD e di modellazione tridimensionale standard.

Il 15 Gennaio 2014 il Parlamento Europeo ha approvato la European Union Public Procurement Directive EUPP.

Questa prevede per gli appalti di architettura e ingegneria l'utilizzo di questo metodo e incoraggia, all'interno dei 28 stati europei membri, lo specificare o imporre l'utilizzo del BIM per i progetti finanziati con fondi pubblici UE a partire dal 2016.

Paesi come Inghilterra, Paesi Bassi, Finlandia, e Norvegia rispettano già questa normativa.<sup>63</sup>

62: Acquaviva, Bianco, Bocconcino, Brundu, Cangialosi, BIM GIS AR FM, Dario Flaccovio Editore, p.25-29

63: Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling in archeologia, Sup 8, 2016, 197-202

#### 2.9.4 HBIM

Negli ultimi anni nell'architettura e nell'ingegneria vi è stato un incremento significativo di software con metodologia BIM che lavorano con le informazioni legate al modello 3D dell'edificio, con questa metodologia sono anche presenti programmi o tools specifici per l'applicazione ai beni culturali.

Il modello BIM, come più volte citato nei precedenti paragrafi, permette una visualizzazione digitale delle caratteristiche funzionali e fisiche prediligendo una visualizzazione in tempo reale.

La metodologia HBIM, con l'"H" che sta proprio a indicare la componente storico-culturale, possiede le stesse peculiarità del BIM ma incrementate attraverso:

- la georeferenziazione
- La topologia cioè la messa in relazione tra elementi distinti

Parlando del patrimonio culturale, gli oggetti sono costituiti da componenti e materiali con geometrie e caratteristiche ed non è possibile strutturare una libreria specifica data proprio l'unicità di ogni componente.

"L'HBIM è il processo mediante il quale gli elementi architettonici raccolti, utilizzando uno scanner laser oppure grazie alla fotogrammetria vengono convertiti in oggetti parametrici"<sup>64</sup>

Le grandi potenzialità di questo metodo risiedono prevalentemente nella possibilità di integrazioni di dati di molteplici natura, dalla stratigrafia ai dati storici, tecnici e progettuali su una base tridimensionale.

Inoltre è possibile inserire dati legati alle geometrie, materiali, stati di degrado e fasi storiche, informazioni che saranno legate a un volume geometrico e che verranno trasmesse da chi eseguirà il modello BIM al progettista sino all'impresa che eseguirà i lavori e agevoleranno le operazioni di restauro, tutela e manutenzione.

Attualmente la difficoltà maggiore che risulta con questo metodo è quella relativa al rapporto tra informazione e discretizzazione delle informazioni legate al modello.

Per uno stesso elemento possono applicarsi molteplici o differenti informazioni a cui risulta attribuire la stessa ripartizione sui vari oggetti.

L'applicazione dell'HBIM implica un processo di architettura inversa, una documentazione e rappresentazione di ciò che è già stato costruito.

Tutto ciò però porta a una fase di rilievo non prevista nella progettazione che porterà l'HBIM a essere un archivio digitale nel quale vengono catalogati dati di ogni tipo, dalle foto ai documenti, ai modelli 2D con l'obiettivo di conservare il maggior numero di informazioni possibili.

La differenza basilare tra il metodo BIM e HBIM è che il primo prevede la rappresentazione strutturale dell'oggetto mentre la seconda tratta un bene già esistente.<sup>66</sup>

64:PDore & Murphy, 2012; Nieto, Moyano, Delgado, & García, 2016

66: Bim open source software for the documentation of cultural heritage, Virtual Archeology Review,7(15) p.28-35, 2016

---

Il flusso di lavoro dell'HBIM può essere riassunto nel modo seguente:

- Acquisizione attraverso l'impiego di più sensori sulla base della finalità del lavoro
- Pulizia e utilizzo delle nuvole di punti ottenute nel rilievo
- Adattamento delle nuvole di punti ottenute per l'inserimento sul software BIM
- Creazione degli elementi sul BIM
- Modellazione su BIM degli elementi non presenti in libreria
- Collegare l'elemento con le sue informazioni già non assegnate dalla caratteristica parametrica del modello

**3.**

**Scelta del  
caso studio:**

**La villa  
romana di  
Costigliole  
Saluzzo**

## 3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE, L'AREA DEL SALUZZESE

L'area del saluzzese dove si trova il comune di Costigliole Saluzzo, è collocata nel cuneese occidentale, in un ambito paesaggistico pedemontano che comprende quindi territori pianeggianti e le prime pendici delle montagne delle Valle Po e Varaita fino a quote di 1450 m slm.

Si colloca nelle parti iniziali della pianura cuneese, ma presenta relazioni con il massiccio del Monviso essendo lo sbocco baricentrico delle tre valli che lo circondano: Val Varaita, Valle Po e Val Bronda. L'ambito paesaggistico è caratterizzato da ambienti morfologici molto differenti per formazione e fisiografia.

La zona appartenente alla pianura è formata dal terrazzo alluvionale di Saluzzo, un'area con caratteri paesaggistici propri dovuti alla vicinanza della città che ha limitato il processo di abbandono delle terre.

La parte superiore della pianura saluzzese compone uno dei principali bacini per la frutticoltura dell'intero Piemonte valorizzando terreni di origine detritica quindi poveri e ciottolosi.

Il terrazzo poi degrada nella media pianura cuneese dove il terreno è più fertile e si è sviluppa la cerealicoltura estiva.

I due alvei alluvionali delle Valli Po e Varaita, collocati rispettivamente a nord di Saluzzo e tra Verzuolo e Costigliole Saluzzo, si presentano a livello della pianura senza rilevanti depressioni causate dalle azioni di erosione legate ai corsi d'acqua.

In entrambi i casi abbiamo un andamento rettilineo solo nell'area a fondovalle, con una modesta portata di acqua.

Possiamo ricondurre tipologicamente il terreno rilevato ai rilievi submontani che caratterizzano con discontinuità l'arco alpino.

Questi rilievi sono caratterizzati da scenari ancora prevalentemente agrari legati soprattutto alla frutticoltura che sfrutta le forme arrotondate e le condizioni materiche del terreno e climatiche molto favorevoli.

Le aree pianeggianti e il fondovalle si presentano con una fitta frammentazione dei campi coltivati a seminativo, prato stabile e colture di piccoli frutti anche se in fase di abbandono.

I versanti delle valli montane con esposizione a nord, presentano una fitta copertura forestale con prevalenza di castagneti nella parte bassa del versante e faggi in quella superiore.

In esposizioni più calde si possono individuare prati e pascoli oltre che superfici con alberi da frutto.

Quest'area, grazie ai suoi terreni molto fertili, ha sempre goduto di grande importanza.

Nel XVII secolo Saluzzo era la corte del marchesato oltre che capitale di un sistema territoriale autonomo fino all'annessione al Regno di Sardegna.

Per questo motivo, se si osservano i rilievi circostanti si possono scorgere molti castelli e torri di guardia risalenti a questo periodo.

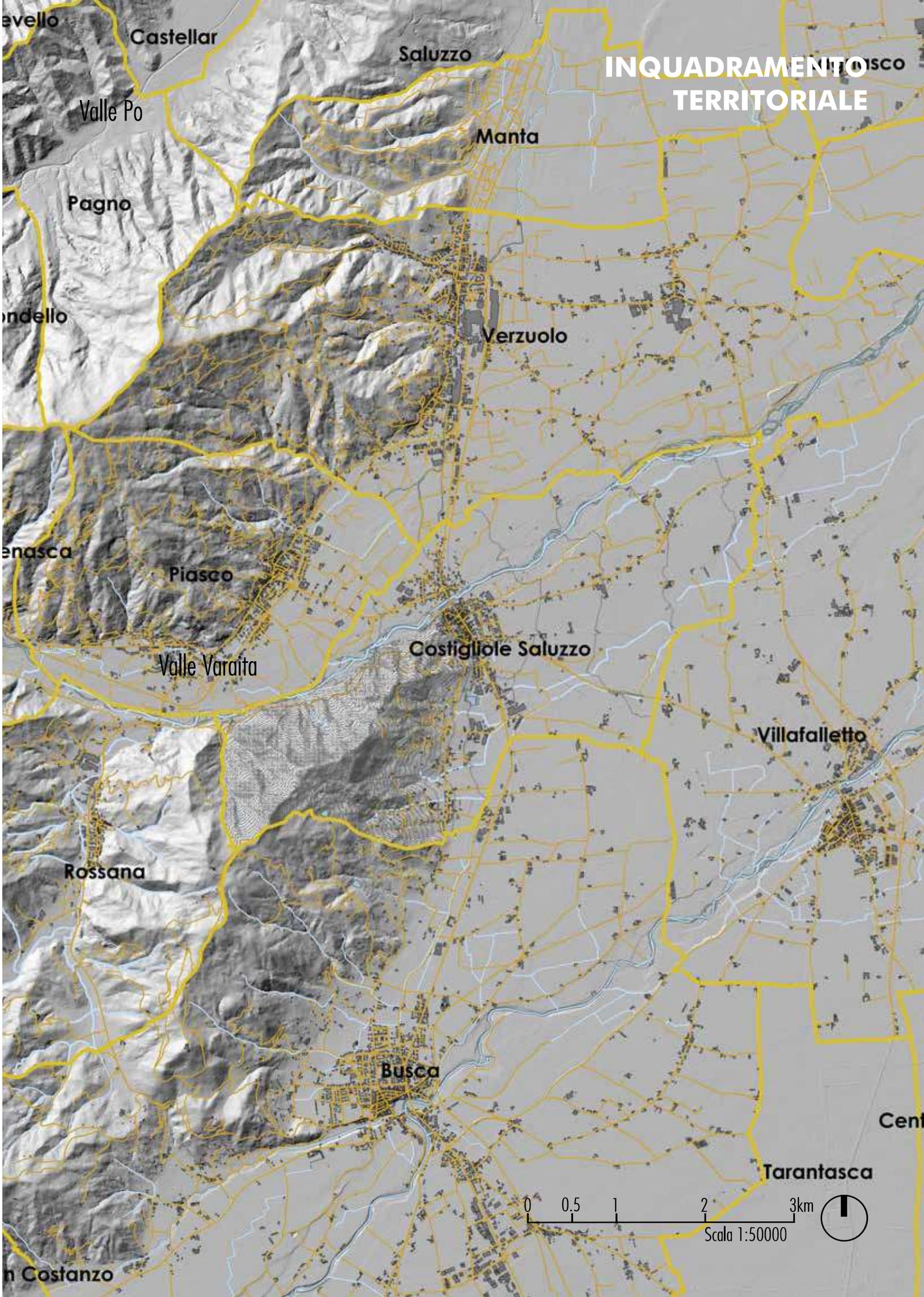
La Valle Bronda, da sempre punto strategico per posizione ed esposizione, è stata da sempre territorio del marchesato come la vicina Valle Po e presenta, nell'area del percorso pedemontano, una serie di fortificazioni proprio a protezione della via oltre che un abitato residenziale sparso.

L'attività produttiva principale della valle è da sempre legata alla viticoltura e ortofrutticoltura.<sup>1</sup>

1: Piano Paesaggistico Rurale PPR, ambito 47 Saluzzese

1: Piano Paesaggistico Rurale PPR, ambito 47 Saluzzese

# INQUADRAMENTO TERRITORIALE



# INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La carta mostra i confini dell'area a sud del saluzzese nel quale sono compresi i comuni limitrofi a Costigliole Saluzzo.

E' possibile notare come i principali centri dell'area come Busca e Saluzzo oltre che le principali vie di comunicazione si concentrano nell'area pedemontana.

Cartografia elaborata con QuantumGis 2.10.1-Pisa  
Sistema di riferimento WGS/UTM zone 32N

Il progetto Q-Gis è composto da strati shapefiles locali e da strati agganciati ai servizi WMS per la consultazione dinamica dei dataset:

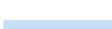
-Ripresa aerea ICE 2009-2011, Rilievo ombreggiato- Servizio WMS  
Nome:Regp\_ombreggiature  
Redatto da:CSI Piemonte

## LEGENDA

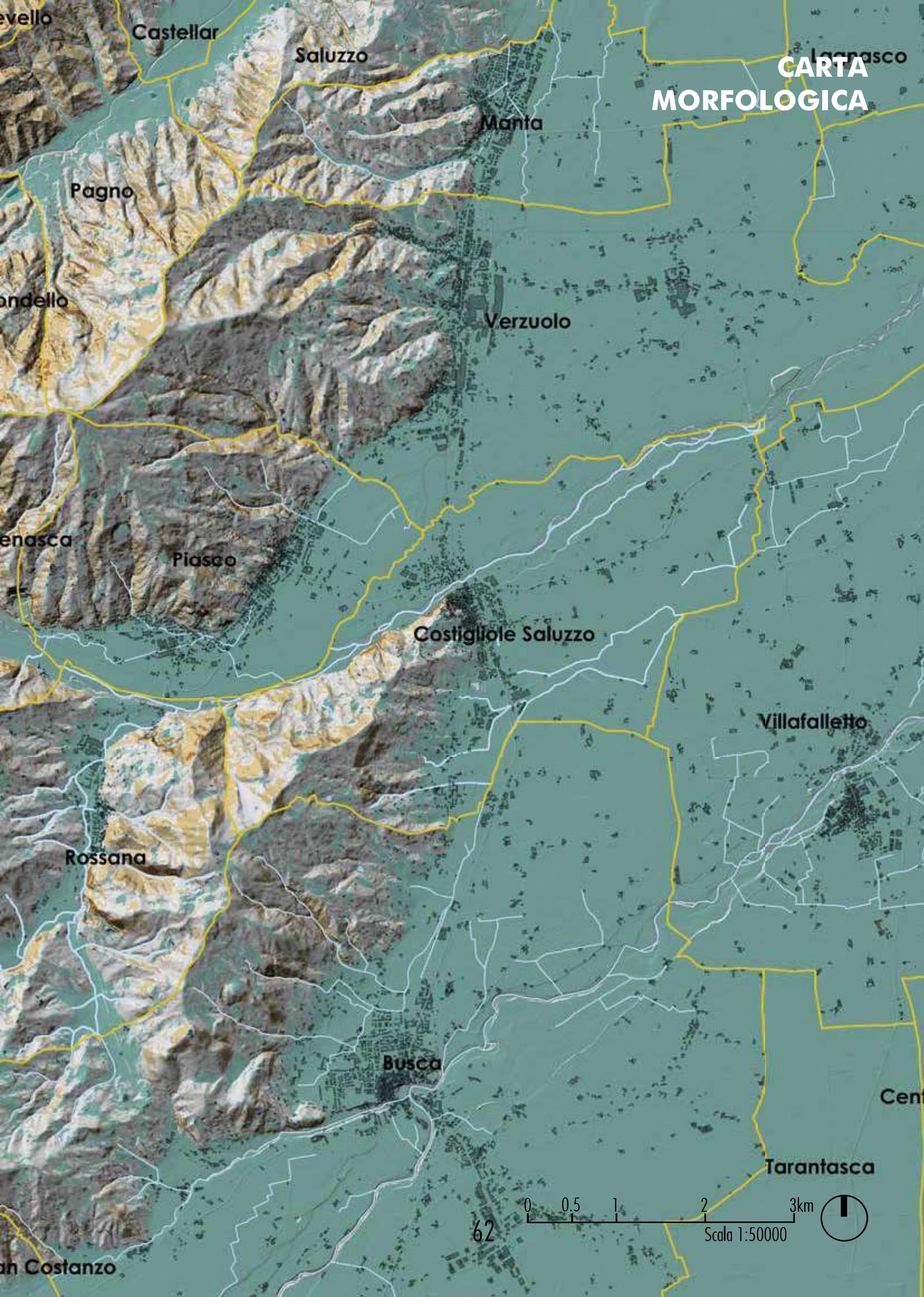
 Confini comunali

 Edifica

 Vie di comunicazione

 Corsi d'acqua e bealere

 Laghi naturali



# CARTA MORFOLOGICA

Castellar

Saluzzo

Lanasco

Mania

Pagno

Verzuolo

andello

enasca

Piasco

Costigliole Saluzzo

Villafalletto

Rossana

Busca

Cent

Tarantasca

an Costanzo

62

0 0.5 1 2 3km

Scala 1:50000



# CARTA MORFOLOGICA

La carta morfologica mostra, oltre gli elementi presenti nella carta d'inquadramento, lo sviluppo morfologico in altezza della parte pedemontana di questa area.

Si può notare che la pianura parte circa dai 500m slm ma si hanno parti montuose che possono arrivare ai 2000m slm.

La scala di rappresentazione è pari a 1:50.000.

Dalla carta inoltre possiamo vedere l'accesso della Valle Varaita nell'area limitrofa a Piasco oltre che la parte iniziale della Valle Po nell'area limitrofa a Saluzzo.

Attraverso la Valle Varaita si può accedere al Colle dell'Agnello che permette di accedere al territorio francese.

Cartografia elaborata con QuantumGis 2.10.1-Pisa

Sistema di riferimento WGS/UTM zone 32N

Il progetto Q-Gis è composto da strati shapefiles locali e da strati agganciati ai servizi WMS per la consultazione dinamica dei dataset:

-Ripresa aerea ICE 2009-2011, Rilievo ombreggiato- Servizio WMS

Nome: Regp\_ombreggiature

Redatto da: CSI Piemonte

## LEGENDA

 Confini comunali

 Edificato

## Morfologia

 0-500m slm

 500-1000m slm.

 1000-1500m slm.

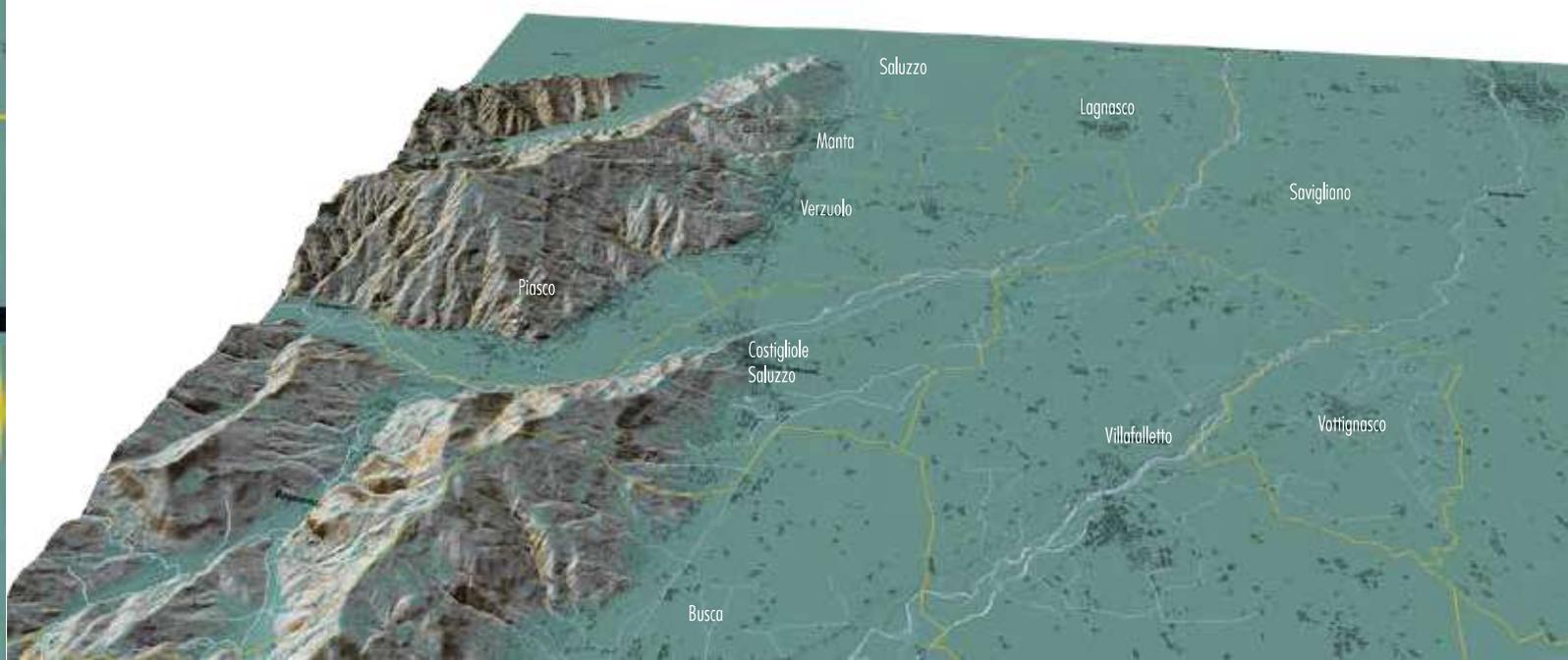
 1500-2000m slm.

 2000-2500m slm.

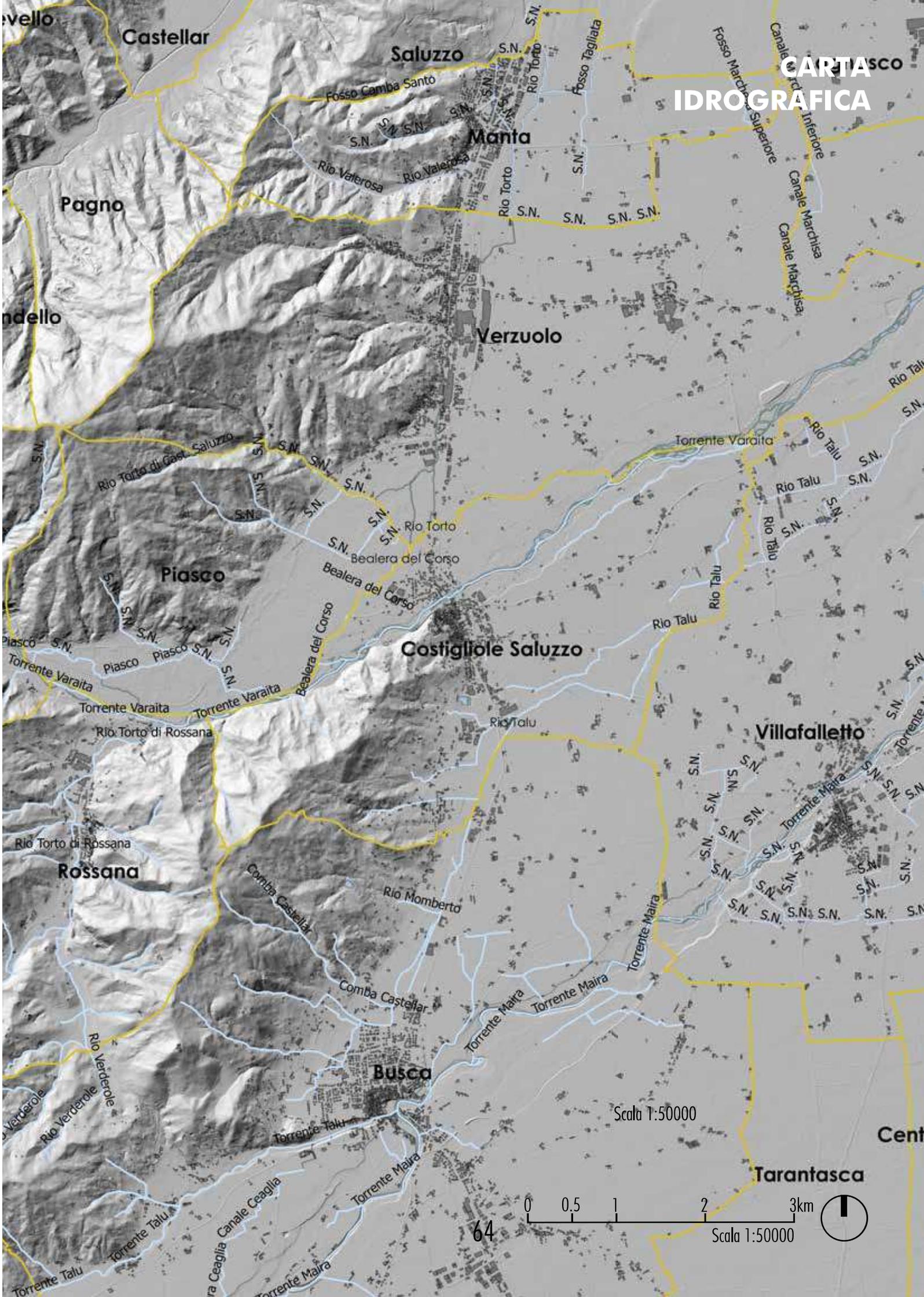
## Idrografia

 Corsi d'acqua e bealere

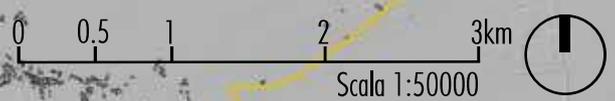
 Laghi naturali



# CARTA IDROGRAFICA



Scala 1:50000



# CARTA IDROGRAFICA

La carta idrografica mostra l'idrografia dell'area meridionale del saluzzese a una scala di 1:50.000.

Attraverso il Gis è stato possibile, con semplicità inserire i toponimi dei vari corsi d'acqua.

Possiamo individuare che il corso d'acqua di maggiori dimensioni e portata è il Torrente Varaita che scorre dall'omonima valle.

Vi sono inoltre delle canalizzazioni di minore entità chiamate bealere costruite per soddisfare l'apporto idrico richiesto dalle colture.

Cartografia elaborata con QuantumGis 2.10.1-Pisa  
Sistema di riferimento WGS/UTM zone 32N

Il progetto Q-Gis è composto da strati shapefiles locali e da strati agganciati ai servizi WMS per la consultazione dinamica dei dataset:

-Ripresa aerea ICE 2009-2011, Rilievo ombreggiato- Servizio WMS  
Nome:Regp\_ombreggiature  
Redatto da:CSI Piemonte

## LEGENDA

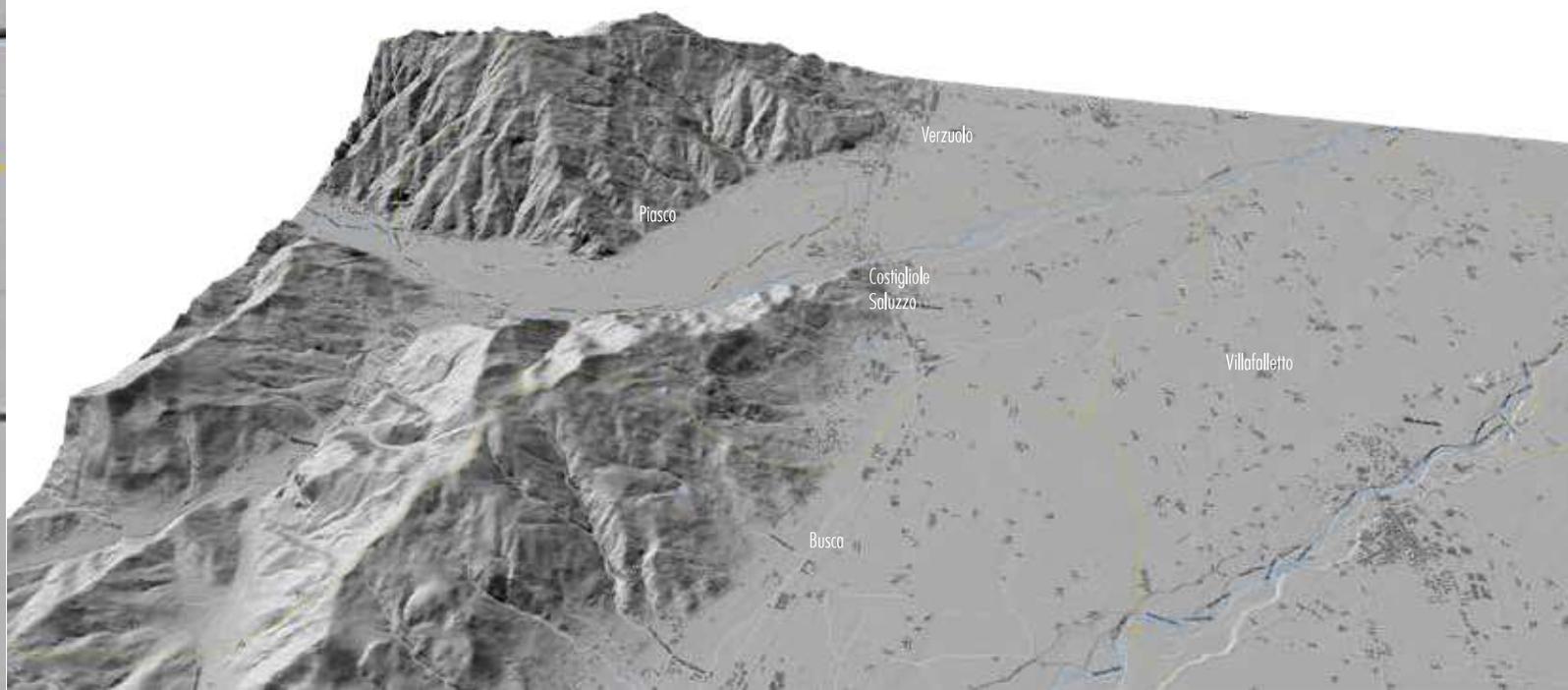
 Confini comunali

 Edificato

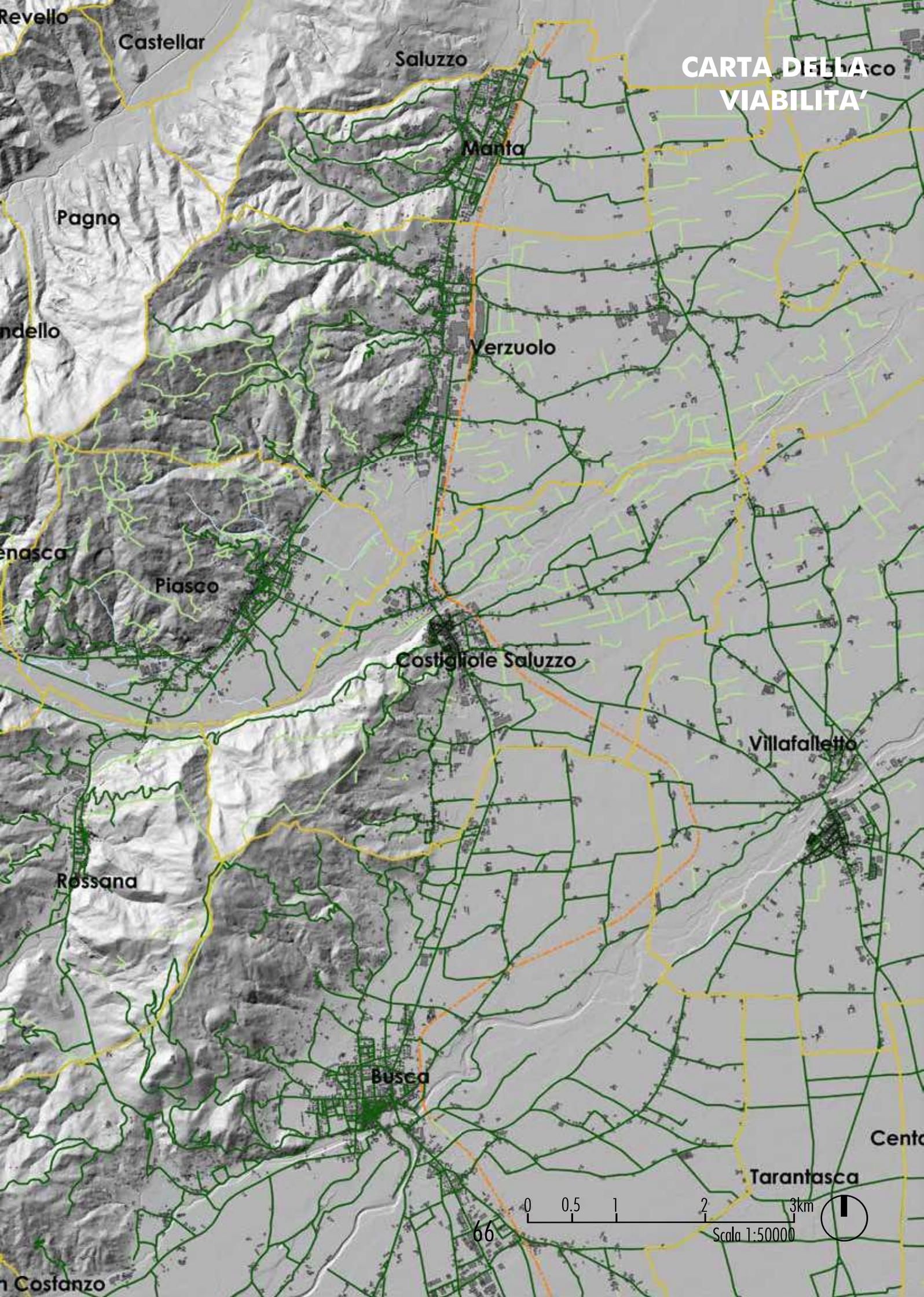
## Idrografia

 Corsi d'acqua e bealere

 Laghi naturali



# CARTA DELLA VIABILITA'



Revello

Castellar

Saluzzo

Alba

Pagno

Manta

Andello

Verzuolo

Sanasca

Piasco

Costigliole Saluzzo

Villafalletto

Rossana

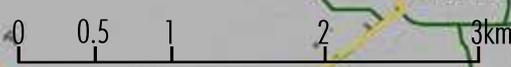
Busca

Centola

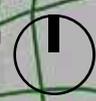
Tarantasca

San Cosanzo

66



Scala 1:50000



# CARTA DELLA VIABILITA'

La carta della viabilità mostra la rete stradale che caratterizza l'area meridionale del saluzzese.

Possiamo notare che il tessuto viario è caratterizzato per la maggior parte da strade urbane principali e secondarie.

Le strade urbane secondarie, nella maggior parte dei casi, servono per collegare i campi alla rete viaria principale.

E' presente anche una linea ferroviaria che passa per i paesi di Verzuolo, Costigliole Saluzzo e Busca tuttora in disuso ma oggetto di un progetto di riqualificazione in ciclovia nella sua parte più settentrionale.

Cartografia elaborata con QuantumGis 2.10.1-Pisa  
Sistema di riferimento WGS/UTM zone 32N

Il progetto Q-Gis è composto da strati shapefiles locali e da strati agganciati ai servizi WMS per la consultazione dinamica dei dataset:

-Ripresa aerea ICE 2009-2011, Rilievo ombreggiato- Servizio WMS  
Nome: Regp\_ombreggiature  
Redatto da: CSI Piemonte

## LEGENDA

 Confini comunali

 Edificato

### Rete viaria

 Strada urbana principale

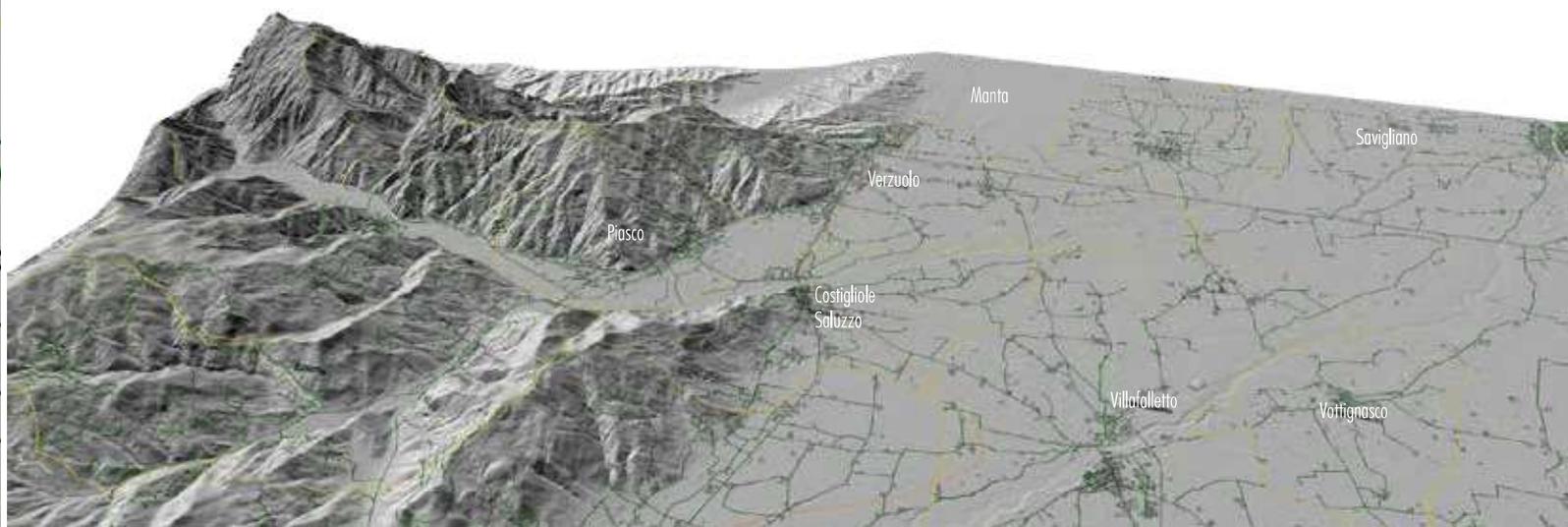
 Strada urbana secondaria

 Linea ferroviaria

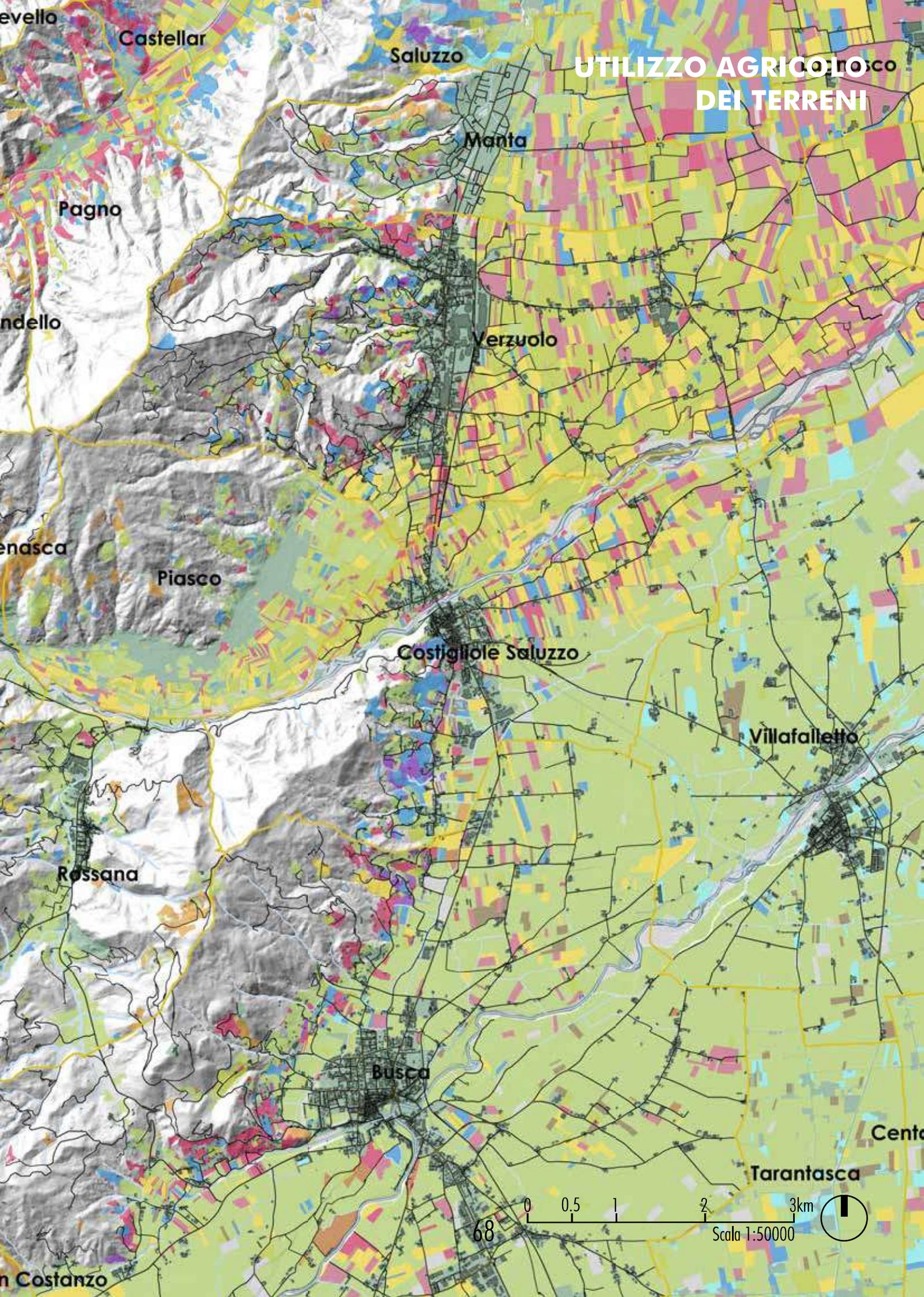
### Idrografia

 Corsi d'acqua e bealere

 Laghi naturali



# UTILIZZO AGRICOLA DEI TERRENI



# UTILIZZO AGRICOLO DEI TERRENI

La carta mostra l'utilizzo agricolo dei terreni nell'area meridionale del saluzzese.

In particolare possiamo notare la preponderanza dei seminativi semplici in aree indifferenziate nella zona a est di Costigliole Saluzzo.

L'area invece di Verzuolo è caratterizzata dalla coltivazione di alberi da frutto quali meleti e Pescheti oltre che frutteti e frutti minori indifferenziati.

L'utilizzo dei terreni varia molto nel passaggio tra Pianura Padana e area montana dove le colture più sviluppate sono principalmente la vite oltre che seminativi semplici in aree indifferenziate e frutteti e frutti minori indifferenziati.

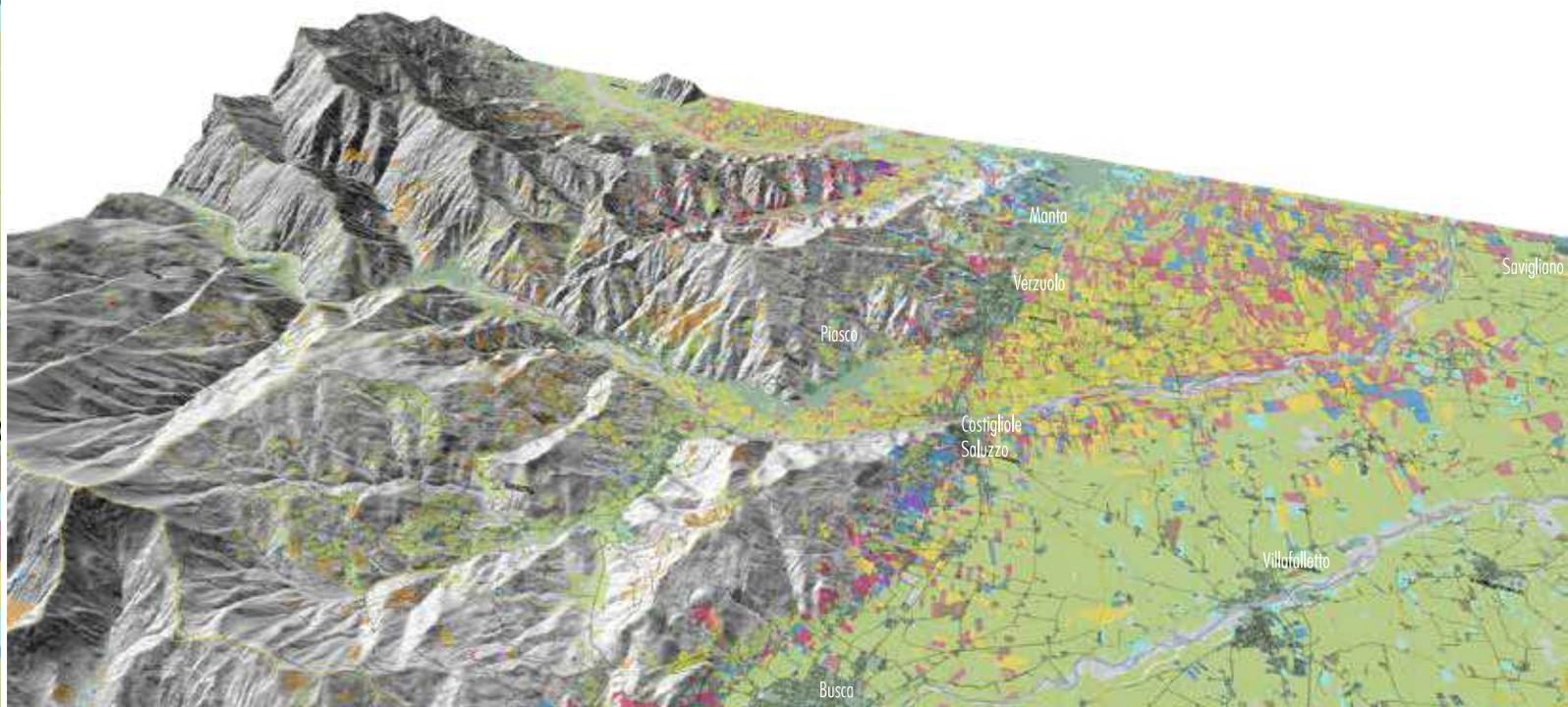
Cartografia elaborata con QuantumGis 2.10.1-Pisa  
Sistema di riferimento WGS/UTM zone 32N

## LEGENDA

-  Confini comunali
-  Edificato
-  Rete viaria
-  Corsi d'acqua e bealere
-  Laghi naturali

## Utilizzo dei terreni

-  Territori agricoli indifferenziati
-  Seminativi semplici in aree indifferenziate
-  Vivai in aree indifferenziate
-  Colture orticole a pieno campo in aree indifferenziate
-  Risaie
-  Culture permanenti indifferenziate
-  Vigneti
-  Frutteti e frutti minori indifferenziati
-  Nocciolati
-  Castagneti da frutto
-  Meleti
-  Pescheti



## 3.2 IL COMUNE DI COSTIGLIOLE SALUZZO

Il comune di Costigliole Saluzzo, paese con circa 3100 abitanti, è collocato in provincia di Cuneo. Il nome di questo comune ha origini legate alla sua posizione geografica, infatti il termine "costa" veniva usato nelle province di Torino, Vercelli, Cuneo e Alessandria per indicare una frazione collocata in una fascia pedemontana del territorio.

Questo territorio è tagliato dal torrente Varaita, che dall'omonima valle scorre passando in vicinanza dell'abitato.

Attorno alla statale 589 dei Laghi di Avigliana che collega con le nuove e recenti varianti Saluzzo a Cuneo abbiamo il maggiore sviluppo del centro città.

La parte antica dell'insediamento si sviluppa sulla vicina collina che termina in alto con tre castelli, Castello risalente a fine 400, il castello Rosso del XV-XIX secolo e il Castello Rejnaudi del XVII secolo. Questa è la posizione dell'antico borgo medioevale che dal XII SEC. si è sviluppato dalla collina sempre più verso la pianura, sulla strada principale o "maestra" dove tuttora si sviluppa il centro storico.

### 3.2.1 LA LINEA FERROVIARIA SAVIGLIANO-SALUZZO-CUNEO

Questa linea, con una lunghezza di 49 km, nacque con la funzione di collegare le città di Savigliano e Cuneo in seguito all'unione di due tratte ferroviarie già esistenti. La tratta Savigliano Saluzzo, con una lunghezza di 14.8 km, è stata inaugurata nel 1857; la Saluzzo-Cuneo, che passa per il paese di Costigliole Saluzzo e la cittadina di Busca, ha una lunghezza di 32.6 km e venne realizzata successivamente solo nel 1892.

Dal 2012, a causa della progressiva diminuzione di utenza sia di passeggeri sia di merci, la linea è stata chiusa perché non più sostenibile e risulta in disuso.

Nel 2013 la regione Piemonte, nell'ambito della programmazione dell'utilizzo delle risorse e del Fondo di Sviluppo e Coesione ha avviato una linea d'azione riguardante i Programmi Territoriali Integrati che ha reso sfruttabile oltre 50 milioni di euro sul territorio piemontese.

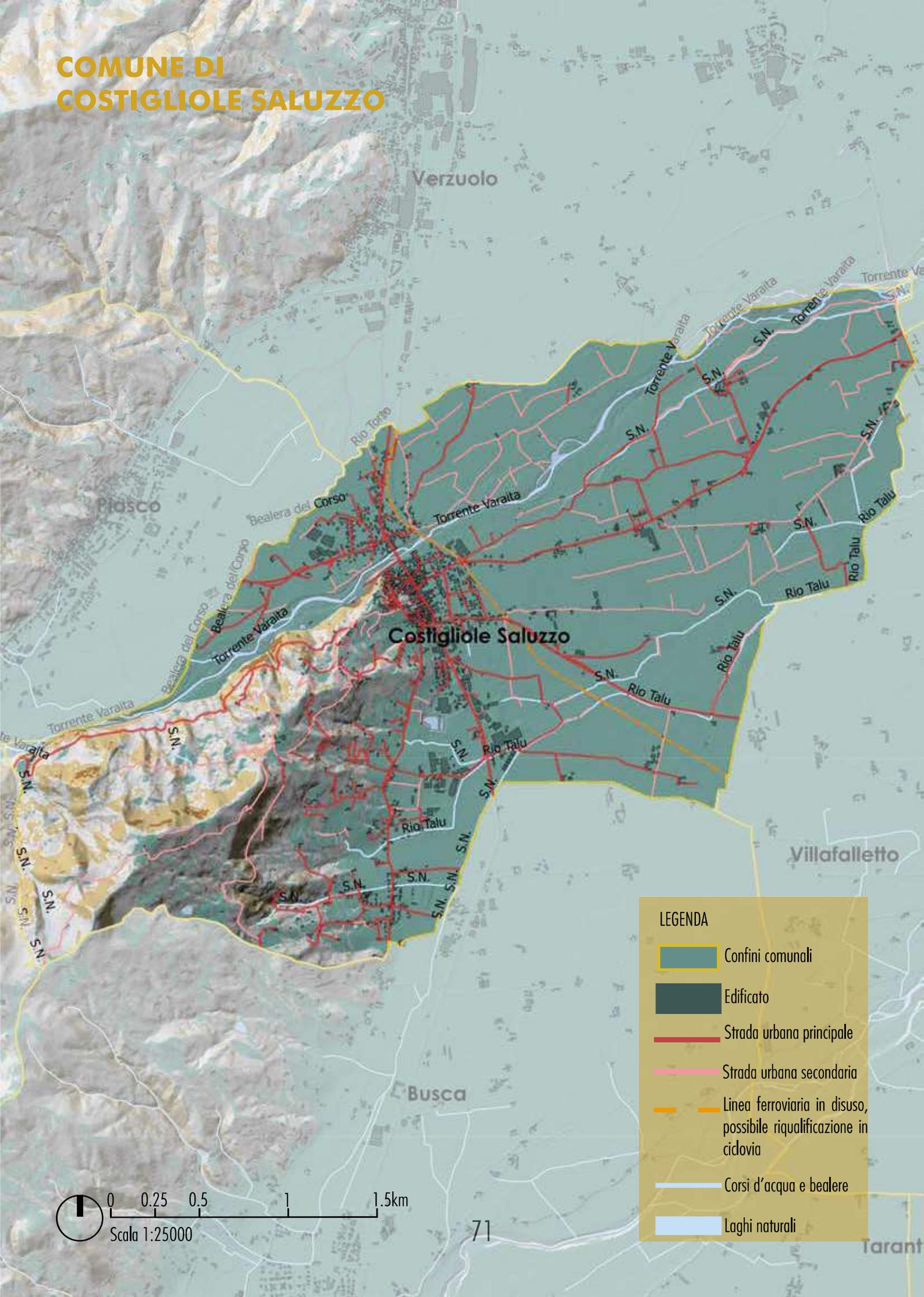
Una di queste iniziative, proposta da alcuni comuni tra cui il comune di Villafranca Piemonte, ha permesso di ottenere 1.9 milioni di euro da impiegare in alcuni progetti strategici a livello territoriale tra cui la rifunzionalizzazione della linea ferroviaria Savigliano-Saluzzo-Cuneo in pista ciclabile, l'attuale "Pista Ciclabile delle Risorgive".

Attualmente la parte interessata da questa conversione è quella compresa tra i comuni di Airasca e Villafranca Piemonte ma potrebbe essere l'inizio di un progetto più ampio quando altri pezzi della ex linea ferroviaria saranno convertiti a ciclabile sino a passare per il comune di Costigliole Saluzzo terminando a Cuneo.

Questo progetto potrebbe essere un punto di forza per il comune costiglione per perché rappresenterebbe un possibile mezzo per valorizzare il sito archeologico della villa romana oltre che iniziare il territorio a una visione di turismo sostenibile.

2: Piano Paesaggistico Rurale PPR, ambito 47 Saluzzese

# COMUNE DI COSTIGLIOLE SALUZZO



## LEGENDA

- Confini comunali
- Edificato
- Strada urbana principale
- Strada urbana secondaria
- Linea ferroviaria in disuso, possibile riqualificazione in ciclovia
- Corsi d'acqua e bealere
- Laghi naturali

0 0.25 0.5 1 1.5km  
Scala 1:25000

### 3.3 INTRODUZIONE AL CASO STUDIO: LA VILLA ROMANA DI COSTIGLIOLE SALUZZO

Dal 2003 al 2010 l'Università degli Studi di Torino ha condotto regolari campagne di scavo volte a mettere in luce il sito archeologico della villa rurale romana di Costigliole Saluzzo. Si tratta di un'azienda rustica dell'antichità estremamente estesa, circa 4000 mq, che rappresenta uno dei più grandi complessi a livello piemontese e del nord Italia, quindi un sito di particolare rilievo e interesse.

Il sito è ubicato in posizione strategica, all'incrocio tra lo sbocco in pianura della Val Varaita che porta oltrelpe grazie al colle dell'Agnello e l'importante direttrice pedemontana che passava, tra le altre località, per Forum Germa, l'attuale Caraglio e Pedona l'attuale Borgo San Dalmazzo.

Le prime segnalazioni risalgono alla seconda metà degli anni 90 quando, a seguito di saggi superficiali e di limitata estensione, nonché interventi di assistenza a carattere edilizio, La Soprintendenza Archeologica del Piemonte, in una prima fase esplorativa, mise in luce lembi di strutture con orientamenti divergenti e tratti di un asse stradale ritenuti indizio della presenza di un insediamento di tipo vicinico.<sup>3</sup>

Il complesso ha uno sviluppo nel tempo che ha inizio nel periodo augusteo, quindi intorno al I sec d.C. sino al III sec d.C., periodo del suo abbandono in seguito a un grande incendio.

All'apice del suo sviluppo planimetrico il complesso era composto da due ali parallele tra loro e un corpo centrale che le collegava in senso opposto con uno schema a U.

L'ala settentrionale era per la maggior parte occupata da spazi adibiti allo stoccaggio, lavorazione e trasformazione dei prodotti agricoli ottenuti dalle terre circostanti all'impianto.

Nella parte più orientale vi era la pars urbana composta da un'area per cucinare i cibi e degli spazi con decorazioni molto pregiate dove le si poteva consumare.

La parte centrale e l'ala meridionale erano dedicate all'accoglienza dei viandanti che percorrevano la vicina strada pedemontana.

Infatti il corpo centrale si pensa fosse utilizzato come taverna e l'organizzazione degli spazi potrebbe conciliarsi con una simile destinazione d'uso.

Dell'ala meridionale si hanno poche informazioni, la maggior parte è andata persa ma si pensa servisse come deposito e riparo per l'utenza.<sup>4</sup>

Recentemente sono stati scoperti degli ambienti appartenenti all'ala settentrionale che dovevano ospitare un impianto di produzione per il vino

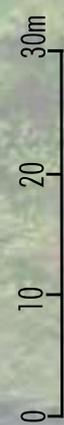
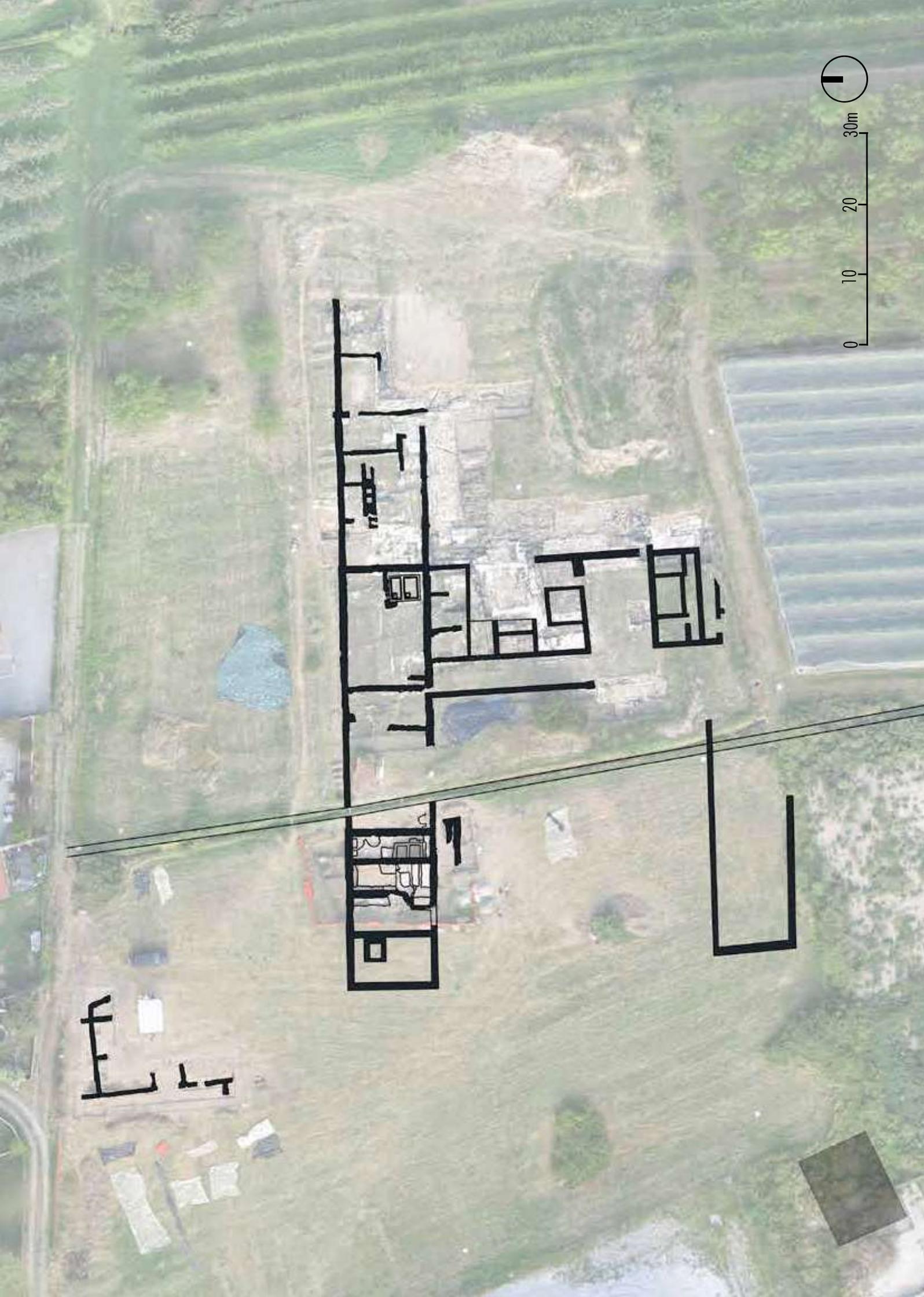
Questo ritrovamento rappresenta un documento straordinario in area piemontese per quanto riguarda l'antico Piemonte romano perché, ad oggi si tratta del primo impianto per la produzione di vino rinvenuto nella regione, tra i meglio conservati di tutta l'Italia settentrionale.

Altro ritrovamento che tuttora unico dell'edilizia privata di età romana, è rappresentato da due vasche

3: Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p43

4: Elia Merirano, Scavi dell'Università di Torino a Costigliole Saluzzo (Cn) L'insediamento di età romana in località cimitero, p.27-30

5: Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p43



### 3.4 EVOLUZIONE STORICA DELL'AREA CISALPINA E CISPADANA TRA IL II SEC a.C. E IL V SEC d.C.

L'insediamento di Costigliole Saluzzo è posto in una posizione pedemontana e presenta segni della frequentazione umana sin dall'età antica.

A causa di un materiale inerente al solo comune molto esiguo visto lo scavo molto recente rispetto ai vicini siti con una documentazione molto più ingente come Pollentia (Pollenzo) e Pedona (Borgo S. Dalmazzo), non è possibile tracciare una fisionomia storica precisa e certa.

Mentre altre zone presentano una realtà latina organizzata con dinamiche capacità di valorizzazione del territorio e dell'insediamento, l'area suddetta, ne è molto carente aprendo continui dibattiti legati alla sua organizzazione politica, tipologia insediativa e le sue caratteristiche sociali ed economiche nel periodo romano.

Il territorio è inserito in un quadro insediativo ricorrente e attivo in epoca pre-romana

Le prime tracce sono legate alla presenza commerciale di popolazioni di origine stanziale o itinerante, probabilmente di origine etrusca che per motivi commerciali frequentavano quest'area.

Successivamente, sempre in periodo precedente all'espansione romana si possono individuare tracce appartenenti ai Bagienni, che occuparono tutto il territorio cispadano e parte di quello cisalpino, fino a plasmare anche la componente territoriale legata alla toponomastica, un esempio è la città di Augusta Bagiennorum, l'attuale Bene Vagienna che dista meno di 40 km dal comune di Costigliole.<sup>6</sup>



I Bagienni appaiono come gruppo ben delineato sotto un profilo etnico, culturale e geografico.

La loro origine è legata a un'autoctonia precedente alle invasioni da parte dei galli, a partire dal substrato ligure comune a tutta la Liguria interna

La loro tipologia abitativa privilegia la modalità dispersa, rispetto alle grandi concentrazioni demografiche o ai centri permanenti.

Questa popolazione era priva di un'unità politica, non vi sono testimonianze di re, capi di qualche importanza, magistrati e assemblee.

Nella seconda età del Ferro (475-125 a.C.), la cultura materica territoriale testimonia un generale impoverimento causato dalla situazione portata dalle invasioni galliche ma

<sup>6</sup>Molli Boffa, Il territorio costigliolese tra presistoria e medioevo- dati archeologici, p. 15-16

Fig 1: Territorio occupato dalla popolazione dei Bagienni, Fonte: William R. Shepherd, Historical Atlas

perdurano i rapporti commerciali con il mondo etrusco e con i centri costieri dell'alto Tirreno .

Poco si conosce delle pratiche economiche di questa popolazione se non che le attività agropastorali erano affiancate dalla raccolta di soldati mercenari da inviare agli imbarchi dei porti liguri sulla costa.

L'assenza di un potere centrale per queste popolazioni segnerà la loro disfatta contro le forze romane negli scontri che durarono dall'ultimo trentennio del III secolo a.C. fino all'età augustea, quando le ultime sacche di resistenza sulle Alpi furono stroncate. <sup>7</sup>

Le tappe fondamentali della conquista romana di questo territorio sono note: guerre galliche, conflitto annibalico, riconquista cisalpina dopo la seconda guerra punica e il processo definitivo di espansione con la "lex Pompeia" dell'89 a.C.

Quest'ultima tappa fu fondamentale perché apportò una modifica giuridico-istituzionale nelle regioni a nord del Po concedendo la cittadinanza romana a tutta l'area cisalpina. Solo pochi anni dopo, nel 49 a.C., vi fu la completa eliminazione del governo provinciale della Gallia Cisalpina estendendo l'ordinamento giuridico costituzionale dell'Italia sino alle Alpi.

Nel 44 a.C. l'intera regione fu attribuita a Marco Antonio che nel 42-41 a.C. la fece anettere all'impero.

Le guerre civili che seguirono questo periodo mutarono ulteriormente il territorio perché, i veterani artefici dei successi militari di Augusto, furono ricompensati con delle terre confiscate alla parte perdente.

Questi coloni richiedevano terreni fertili e già avviati all'agricoltura, per questo motivo l'area Cispadana, che aveva già un'impostazione romana, subì il fenomeno della confisca dei terreni per essere redistribuiti ai coloni.

Globalmente, i processi di colonizzazione e urbanizzazione risposero ad esigenze soprattutto sociali, quella di fornire una collocazione economica a migliaia di soldati che difficilmente sarebbe stato possibile reintegrare nella società.

Inoltre i nuovi centri urbani rappresentavano importanti punti strategici perché fedeli al potere di Roma e potenti poli dai quali incrementare il processo di romanizzazione delle popolazioni locali.

Così facendo Aurelio intensificò il processo di urbanizzazione

I romani quindi trasformarono le normali relazioni dell'ambiente geografico oltre che l'organizzazione urbana e territoriale apportando nuovi sistemi di vita e nuove figure nell'organizzazione politica, sociale ed economica. <sup>8</sup>

Nei primi cinquanta anni del II secolo a.C. Roma intraprese una strategia di occupazione del territorio che consisteva nell'affiancare gli interventi militari con la creazione di comunità per assorbire le etnie indigene.

Si hanno informazioni della costruzione, nel 148 a.C. di una via Postumia, con la funzione di strada di arroccamento in territori difficili da poco sottratti alle popolazioni indigene ma che ben presto dimostrò di avere grandi potenzialità commerciali oltre che

7: Culasso Gastaldi, *L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale*, p.25-26

8: Culasso Gastaldi, *L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale*, p.27

un ruolo fondamentale per la romanizzazione dell'area.

La via attraversava i centri di Dertona e proseguiva per Libarna, due avamposti fondamentali nell'area padana.

Da quest'ultima nacquero molte altre vie che formarono il punto di partenza per la viabilità nell'area ligure-padana.

Innanzitutto la via Aemilia Scauri, costruita intorno al 115 a.C permetteva il collegamento tra la via Postumia e la Liguria costiera, ma soprattutto con la via Fulvia.

Questo grande sforzo infrastrutturale favorì lo sviluppo dei percorsi minori che riguardarono, di conseguenza, anche le aree più interne, alimentando l'insediamento di coloni e la nascita di piccoli centri che portarono allo sviluppo degli impianti cittadini, oltre che importare la lingua latina e il modello culturale romano

Grazie ai ritrovamenti della villa romana, sita in zona cimitero, vi è una testimonianza tangibile della frequentazione dell'area da parte di popolazioni romane attestata al periodo augusteo o al massimo risalente alla prima età imperiale fino all'inizio del II secolo, con una rioccupazione in età tardoromana.

Dato lo spazio temporale in cui la villa si è sviluppata è essenziale definire la tipologia insediativa, che risulta sempre più complessa e presuppone ulteriori edifici a destinazione residenziale limitrofi al corpo della villa.<sup>9</sup>

La romanizzazione del territorio di Costigliole fa parte di un processo coloniale di origine centroitalica, fenomeno già osservato in altre aree come i territori più orientali del Carreum Potentia (Chieri) e Hasta (Asti) che si può far risalire a un periodo approssimativo tra il 125 a.C e il 100 a.C.

Nei territori pedemontani, invece, abbiamo il principio di un fenomeno di urbanizzazione che nel I secolo a.C. porrà le basi di alcune realtà urbane databili al periodo augusteo.

Bisogna anche prendere in considerazione un fenomeno di controllo da parte di Roma, che va di pari passo con gli eventi da poco citati attraverso un'organizzazione degli spazi agricoli e un'assegnazione di tipo coloniale.

Questo modello è suggerito dal vicino centro urbano di Forum Germa l'attuale Caraglio (CN).

La cultura della vite costituì una voce importante nell'economia della zona.

Le attività economiche potevano gravitare intorno a latifondi terrieri di ampia dimensione e allo stesso tempo di imprese economiche di più ridotte dimensioni.

Ad esempio è documentata l'esistenza di fabbriche artigianali di piccole dimensioni con un'utenza limitata nell'area circostante all'attività, questo è stato dedotto sulla base dei marchi che i produttori imprimevano su ogni prodotto.

Nel caso di Costigliole, i reperti ritrovati della copertura portavano il bollo L(uci) Urvini Tbiassi e di L(uci) Mesae, è stato attestato che questo artigiano operava nella regione Favà presso Savigliano.<sup>10</sup>

Oltre a queste attività agricole su medio grande latifondo, artigiani di piccole dimensioni le popolazioni locali potevano anche trarre sostentamento dal sistema viario transitante a pedemonte, grazie allo sviluppo di piccoli mestieri connessi alla viabilità e

<sup>9</sup>:Bersani, Augusta Bagiennorum e il Piemonte meridionale in età romana: un laboratorio di romanizzazione, 2014, p.18-19

<sup>10</sup>:Elio, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.59

e ai viandanti.

Inoltre bisogna immaginare taverne accoglienti, come la villa romana, accoglienti poste ai crocevia per i viaggiatori.<sup>11</sup>

Il territorio di Costigliole Saluzzo è collocato all'interno di un'area geografica di estremo interesse dal punto di vista delle forme di insediamento e del regime amministrativo perché non presenta tracce di centuriazione.

La centuriazione è un'organizzazione razionale del suolo e consiste nella divisione del terreno secondo uno schema razionale a maglie rettangolari di lato pari a 710 m o multipli disposti parallelamente tra loro e divisi dai limes cioè i limiti di demarcazione, basate su assi viari principali quali il cardo e il decumano che creano una maglia che si adatta perfettamente alle linee morfologiche del territorio ottenendo una razionalizzazione agrimensoria con la capacità di perdurare nel tempo.

Ancora oggi si può cogliere questa suddivisione parzialmente conservata e riutilizzata nell'organizzazione nei confini dei campi, filari alberati, strade carrarecce, fossi, bealere e canali.

Le stesse caratteristiche si ripresentano in alcuni territori limitrofi che creano una macroarea che si estende da occidente fino a nord delimitata dal corso del fiume Po, a oriente dal corso del fiume Maira fino ai comuni di Racconigi e Savigliano e a sud ancora dal corso della Maira fino a Busca. (Fig.2)

La centuriazione, inoltre, ha caratteristiche polifunzionali perché assolve anche a compiti catastali e amministrativi, ripartizione e organizzazione a livello insediativo e territoriale tra proprietà differenti, regolamentazione dei prelievi fiscali e delimitazione dei territori appartenenti ad un municipio o a una colonia.

Recenti studi basati su fotogrammi aerei hanno però mostrato che si, non vi è una organizzazione unitaria territoriale, ma vi sono delle macrocenturiazioni disgiunte tra loro nei territori a sud e a est di Costigliole che avevano funzione di demarcare i confini delle tre diverse comunità romane di Pollentia, Forum Germa e Pedona.

Nel caso specifico di Pedona la centuriazione è molto chiara tra i fiumi Stura e Gesso assumendo una conformazione a forma di cuneo.

Tra i fiumi Stura e Maella-Maira invece si è un'ulteriore suddivisione collegabile con la comunità di Pollentia che si estende fino alla pianura tra Bra e Savigliano.

Posta a occidente della linea San Benigno-Madonna dell'Olmo vicino all'ultimo cardine di Pollentia si configura un'ulteriore ripartizione agrimensoria con differente orientamento che prosegue oltre il Grana-Mellea con un rigido allineamento e abbraccia tutto il territorio sino a giungere a S.Lorenzo di Caraglio, Tarantasca, Villafalletto, Vottignasco.<sup>12</sup>

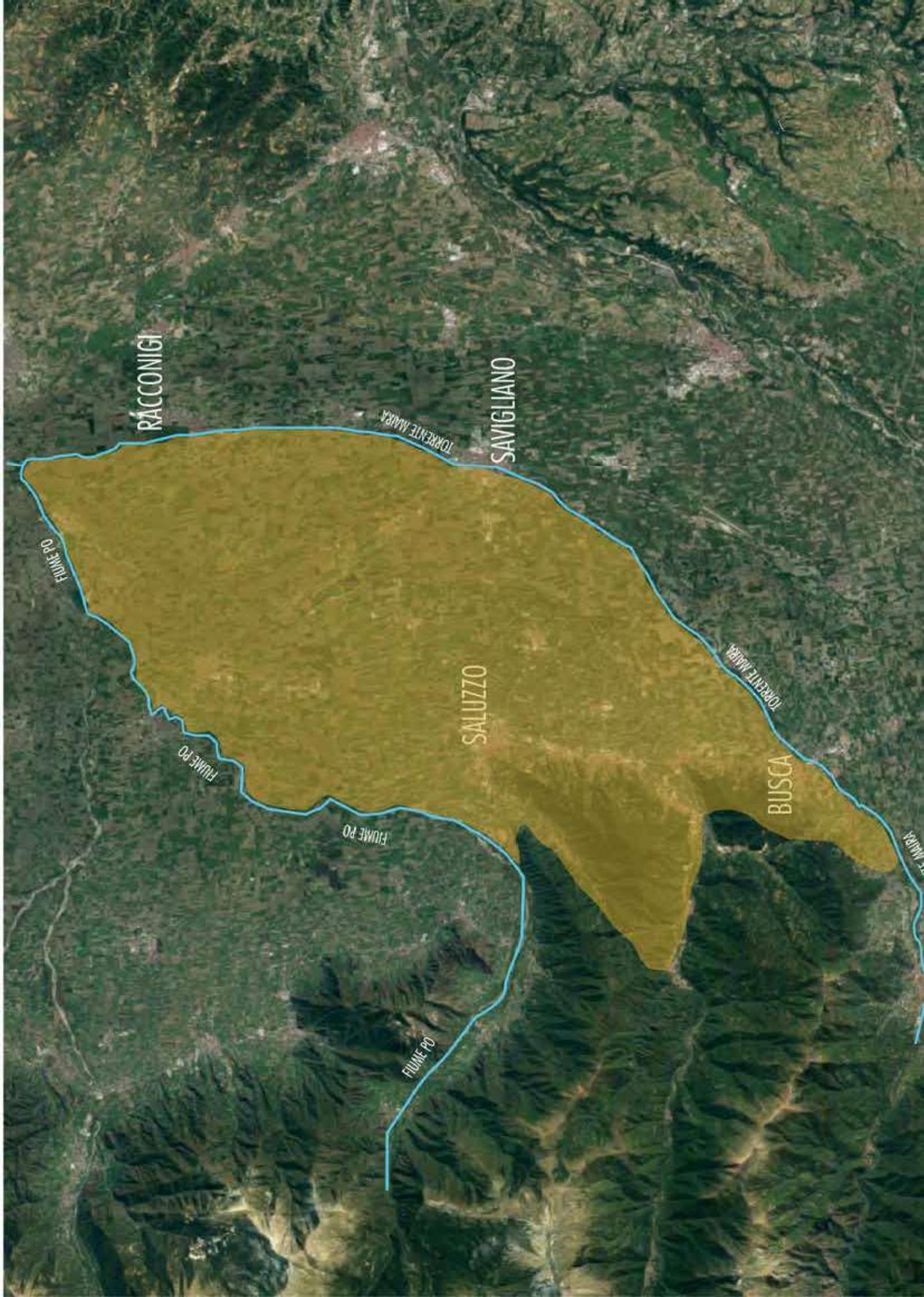
Tutta quest'ultima area è chiaramente legata a Forum Germa l'attuale S.Lorenzo di Caraglio.

Notevole è la conservazione di due decumani e di un cardine nella pianura a oriente di Dronero con orientamento verso Busca.

11: Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.59-62

Fig.2: ricostruzione eseguita in ambiente GIS sulla base della ricostruzione di "Culasso Gastaldi, L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale" del l'ager Saluzzensis

12: ibidem



RACCONIGI

SAVIGLIANO

SALUZZO

BUSCA

FIUME PO

FIUME PO

FIUME PO

FIUME PO

TORRENTE MAIRA

TORRENTE MAIRA

S. MAIRA

Lo spazio non ripartito e delimitato dalle centuriazioni pocanzi esposte che va da nord-ovest della Maira fino al Po presenta un vuoto nella ripartizione agrimensoria. Gli storici hanno definito questo spazio con l'appellativo di ager Saluzzensis, probabilmente spazio cuscinetto tra le comunità di Pollentia e del Forum Germa. Sulla base delle informazioni rinvenute e alle epigrafi ritrovate nulla suggerisce quindi una pertinenza amministrativa dei terreni agricoli che, con l'assenza di centuriazione, si configura come un bacino di popolamento sporadico quindi ciò si presta a una duplice interpretazione.<sup>13</sup>

Considerando una possibile regolamentazione della Cisalpina occidentale è possibile supporre che questa area non fosse centuriata per essere lasciata in uso alle popolazioni indigene preesistenti, spinte verso nord dagli insediamenti di coloni circostanti. Altra ipotesi potrebbe essere legata a una visione economica non riduttiva, ma dinamica che vedrebbe quindi questo vuoto come voluto per completare gli agri confinanti attrezzati con il fine di offrire una forma di sfruttamento complementare all'agricoltura intensiva.

Tale tipologia economica poteva comprendere boschi, pascoli, prati e dell'incolto per la raccolta di legnatico oltre che consentire le pratiche di allevamento o transumanza compendiarie al vicino pedemonte.

Infine non è da escludersi che questo regime economico non potesse concepire il latifondo o comunque di proprietà terriere di maggiori dimensioni.

Rilevante è notare come la popolazione latinizzata sembra concentrarsi maggiormente nell'area pedemontana viste le maggiori occasioni economiche portate dal sistema viario che da qui passava.

Risulta evidente come già allora la viabilità aveva un forte potere d'attrazione rispetto alla geografia degli insediamenti umani.<sup>14</sup>

Come già detto in precedenza non si hanno abbastanza dati per ricostruire totalmente il percorso storico che caratterizzò quest'area per tutto l'impero, ma abbiamo alcune informazioni.

Una di queste è costituita da dei bolli su dei laterizi risalenti a circa metà del V secolo d.C. che ci fanno comprendere la presenza sul territorio di possedimenti terrieri di grandi dimensioni affidati alla conduzione di "conductores" e "subactores".

Questa realtà fondiaria è comune in altri territori come nell'ager Saluzzensis, portata probabilmente da investimenti di famiglie di ricchi possedenti terrieri atti a sviluppare il latifondo.

Tale sviluppo però non ebbe notevoli ricadute sul territorio che finì per seguire il declino di tutta la zona padana e pedemontana causato da un mutamento storico nel IV secolo d.C. il quale portò a un quadro amministrativo che lentamente si era sgretolato.

Non vi fu un sistematico crollo di tutte le realtà urbane perchè ognuna ebbe un'evoluzione diversa, ad esempio i centri urbani posti sui nodi nevralgici delle vie di comunicazione accusarono meno gli effetti di questo declino.

Recenti studi riportano come, dopo la riforma cristiana portata da Diocleziano, anche i centri abitati che divennero sedi di diocesi ebbero la meglio.

13: ibidem

14: Culasso Gastaldi, L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale, p.30-33

Il fallimento di questi centri e il loro progressivo abbandono è causa non solo della perdita del loro ruolo istituzionale e amministrativo, ma anche il venir meno del modello urbano tradizionale che, tuttavia, non porta alla completa scomparsa dell'abitato di cui rimangono tracce di riutilizzi successivi.<sup>15</sup>

### 3.5 RICOSTRUZIONE DELLE CONNESSIONI LEGATE AL TESSUTO VIARIO ROMANO

All'estremità orientale dell'ala nord, esternamente a quelle che si pensa fossero le mura del complesso, è stata trovata una superficie piana regolarizzata con una gettata di ghiaia e piccoli ciottoli immersi nel terreno argilloso.

Attualmente non vi è un'interpretazione certa del manufatto, ma tra le ipotesi più accreditate vi è la sua appartenenza a una via glareata, cioè una sede stradale extraurbana in ciottoli.<sup>16</sup>

Sappiamo infatti che la villa romana, oltre le funzioni legate alla viticoltura e altre attività agricole e d'allevamento, aveva un'area, si pensa quella centrale, dedicata ai viandanti che percorrevano la via Cisalpina la quale, quindi, doveva passare nelle vicinanze.

Non sono state trovate tracce di quest'ultima nell'area, ma si pensa che passasse non dove oggi vi è l'odierna statale, ma più distante dalla collina, proprio per proteggerla da eventuali smottamenti di cui si sono trovate le tracce all'interno della stratigrafia del terreno.

L'origine del tessuto viario nella parte cispadana è legata al processo di romanizzazione intrapreso nei primi cinquanta anni del II secolo a.C. dove, per collegare i territori appena conquistati, fu costruita la via Postuma.

In area padana attraversava i centri di Dartona e Liberna, per poi continuare verso Placentia: l'attuale Piacenza.

Da quest'ultima nacquero molte altre vie, che formarono il punto di partenza per la viabilità nell'area ligure-padana.

Altre informazioni in nostro possesso derivano dalla conoscenza della posizione di alcune stazioni doganali della "Quadragesima Galliarum", strutture di controllo fiscale disposte in punti strategici come le zone con presenza di valichi alpini.

Abbiamo prove certe dell'esistenza di questi punti di controllo a Pedona, l'attuale Borgo San Dalmaso e a Piasco mentre si ipotizza anche la presenza di queste strutture, di cui però non si hanno prove certe, allo sbocco della Val Maira e la Val Grana.

L'ager Saluzzensis, di cui Costigliole fa parte era caratterizzato da un sistema viario a lungo scorrimento sia longitudinale lungo la via pedemontana sia con addentramento nei percorsi alpini.

Questo è testimoniato da prove legate alla toponomastica medievale che riportano un percorso attrezzato che da Caraglio si dirigeva verso nord:

15: Bersani, Augusta Bagiennorum e il Piemonte meridionale in età romana: un laboratorio di romanizzazione, 2014, p.21-22

16: ibidem

“Via que protendi turde Buscha versus Cadralium que dicitur via moneta”<sup>15</sup>

e alcuni riscontri archeologici rinvenuti a San Martino di Busca, Envie, Barge fino a giungere al centro romano di Forum Vibii Caburrum, l'odierna città di Cavour. La stessa via garantiva il collegamento in direzione sud con Pedona, punto nevralgico per il controllo delle valli Vermevagna e Roya.<sup>16</sup>

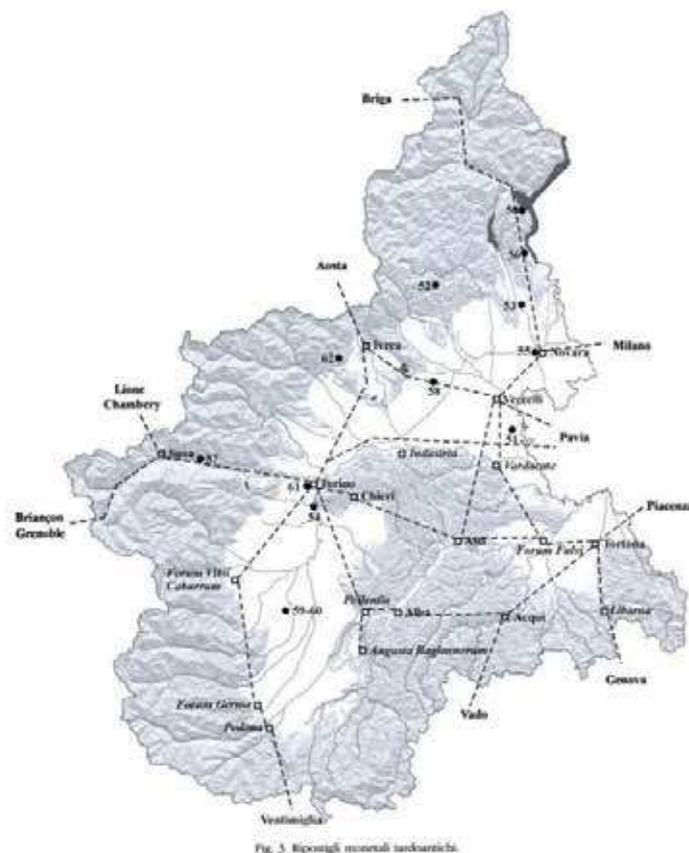


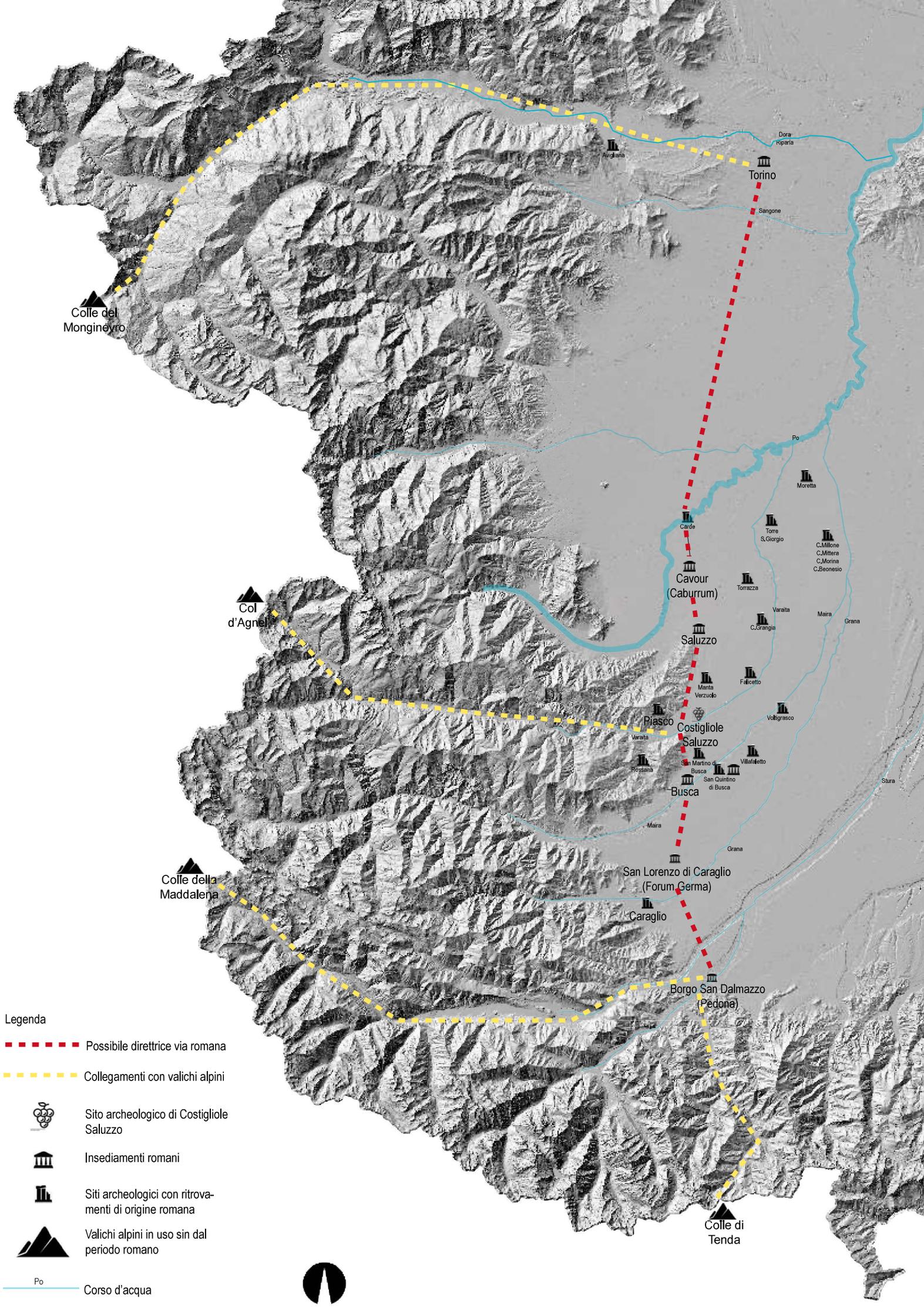
Fig. 3: Riposigli monetali tardoantichi.

15: F.Guasco di Bosio, Il libro delle investiture, Pinerolo, 1913, p.250

16: Riberi, San Dalmazzo di Pedona e la sua abazia, Torino, 1929, p.21

Fig. 3: Avamposti Quadragesima Galliarum  
Fonte: Coppola Bergier, Vie di terra e d'acqua, Infrastrutture viarie e sistemi di relazioni in area alpina, Società editrice il Mulino, 2008

Fig. 4: Ipotesi itinerario percorso pedemontano, elaborazione personale sulla base dei dati trovati nelle fonti:  
Fonte: Elia, Merirano, La villa di Castiglione Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.59-62;  
Bersani, Augusta Bagiennorum e il Piemonte meridionale in età romana: un laboratorio di romanizzazione;  
Culasso Gastaldi, L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale;  
Coppola Bergier, Vie di terra e d'acqua, Infrastrutture viarie e sistemi di relazioni in area alpina, Società editrice il Mulino, 2008



- Legenda
- - - Possibile direttrice via romana
  - - - Collegamenti con valichi alpini
  -  Sito archeologico di Costigliese Saluzzo
  -  Insediamenti romani
  -  Siti archeologici con ritrovamenti di origine romana
  -  Valichi alpini in uso sin dal periodo romano
  -  Po
  - Corso d'acqua



**4.**

# **Campagna di misure**

## 4.1 IL RILIEVO 3D CON IL TEAM 4DILAN

Il Team studentesco 4DILAN (4th dimension in landscape and artifacts analyses) ha come obiettivo lo sviluppo e lo studio di nuove strategie, metodologie di analisi per la conoscenza del patrimonio costruito e del paesaggio culturale attraverso applicazione e diffusione di tecnologie digitali innovative che coinvolgono sistemi robotici.

Questo team ha già effettuato altri interventi in siti come il caso studio dell'Abazia di Novalesa in Valle di Susa ed effettuato pubblicazioni come "The 4DILAN Project" di Chiabrandò, Naretto, Sammartano, Sambuelli, Spanò, Teppati Losè.<sup>1</sup>

Nel mese di Giugno 2016, in seguito a un accordo di collaborazione tra il laboratorio di Geomatica del Politecnico di Torino e il gruppo di Archeologia e Storia Antica dell'Università degli Studi di Torino, il team ha effettuato il primo sopralluogo della durata di tre giornate in cui è stato rilevato tutto il materiale utilizzato in questa dissertazione. Le azioni di rilievo sono state effettuate per tutta l'area del sito oltre che i territori limitrofi.

Una seconda campagna di misure avente per oggetto analisi diagnostiche non distruttive, è stato effettuato nel mese di Settembre da una compagine ristretta del Team che, coordinati del professore Sambuelli del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, ha eseguito in alcune aree del sito indicate dagli archeologi, una serie di rilevazioni utilizzando il Georadar.

Questo strumento ha la peculiarità di riuscire ad individuare eventuali conformazioni compatte come elementi murari o fondazioni di murature ancora interrati.



<sup>1</sup>: Chiabrandò, Naretto, Sammartano, Sambuelli, Spanò, Teppati Losè, The 4DILAN Project, 2017

Fig 1: Logo team studentesco 4DILAN

## 4.2 ACQUISIZIONE DATI SUL CAMPO

Durante i tre giorni di rilievi inerenti al sito archeologico della villa romana sita nel comune di Costigliole Saluzzo il Team 4DILAN si è occupato del rilievo aereo di tutta l'area e del rilievo terrestre di due aree di scavo del sito.

Per motivi legati alla conservazione dei manufatti durante le operazioni di ricerca in ambito archeologico dopo aver eseguito lo scavo e aver catalogato gli elementi, quelli non trasportabili o mobili come pavimentazioni e fondazioni devono essere ricoperti con dei particolari teli e della terra in modo da proteggerli dagli agenti atmosferici. Per questo motivo dal rilievo aereo è visibile solo una minima parte del complesso.

Al momento del nostro rilievo gli archeologi stavano lavorando in due aree del sito, in particolare l'area che indicheremo come sito A apparteneva alla parte rurale del complesso e si pensa avesse finalità legate alla viticoltura, nel sito B invece sono stati portati alla luce resti di un edificio indipendente dal complesso principale.

L'acquisizione dei dati e il rilievo dei target topografici che serviranno per orientare i fotogrammi dei voli del drone sono orientati su una rete di inquadramento GPS/GNSS. In seguito, nei due siti sono stati inseriti e misurati con la stazione totale i target a supporto del rilievo terrestre.

In ordine si è effettuato:

- 1-Posizionamento e materializzazione dei vertici rete di inquadramento
- 2-Posizionamento target per rilievo aereo su tutta l'area d'interesse
- 3-Materializzazione dei target utilizzando il metodo RTK
- 4-Rilievo aereo con drone ad ala fissa E-Bee
- 5-Posizionamento target nel sito A e nel sito B, materializzazione dei target utilizzando la stazione totale
- 6-Laser Scanning e riprese fotogrammetriche

1-Posizionamento e materializzazione dei vertici rete di inquadramento

La materializzazione dei vertici della rete, utilizzando strumentazione GPS/GNSS, è un passaggio fondamentale da cui il rilievo non si può scindere perché su di esso si orientano tutti gli elaborati che si andranno a produrre: è l'elemento comune che permette di far dialogare tra loro tutti questi sistemi.

Il rilievo della rete di inquadramento e dei vertici che in seguito verranno utilizzati per effettuare le misurazioni con la stazione totale è stato eseguito applicando il sistema GPS/GNSS (Global Navigation Satellite System).

Questo sistema prevede che una stazione GPS venga posizionata su un vertice e lasciata per molte ore a affinare le coordinate della propria posizione, maggiore sarà il tempo e minore sarà l'errore, questa sarà collegata al sistema di stazioni fisse presente nella zona.

Con una seconda stazione chiamata rover sono stati rilevati gli altri punti utilizzando

tempi di stazionamento minori, indicativamente 30 minuti.

La stazione principale con il tempo maggiore di stazionamento su un unico punto avrà la funzione di stazione appoggio per tutte le altre.



Fig 2:Stazione GNSS

Fonte:Documentazione fotografica missione Team 4DILAN

Tutti i vertici sono stati posizionati in posizioni facilmente raggiungibili senza possibili ostruzioni che potrebbero pregiudicare la copertura GPS e con la possibilità di intravedere il numero maggiore possibile di target.

I vertici di raffittimento collocati all'interno del sito sono stati determinati utilizzando più letture coniugate realizzate a partire da un vertice di coordinate note stimato utilizzando il sistema GPS/GNSS

| NOME VERTICE | X           | Y             | Z       |
|--------------|-------------|---------------|---------|
| 100          | 379.968.131 | 4.935.376.402 | 448.119 |
| 200          | 380.044.072 | 4.935.373.898 | 445.945 |
| 300          | 379.994.406 | 4.935.331.925 | 446.300 |
| A            | 380.004.004 | 4.935.347.084 | 446.846 |
| G            | 380.076.957 | 4.935.340.338 | 444.987 |

Fig 3:Tabella con riportate le coordinate dei vertici 100, 200, 300, A e G rilevati

Fig 4: Posizione dei vertici nell'area



2-Posizionamento target per rilievo aereo su tutta l'area d'interesse.

Si è poi proceduto con il posizionare i target per le riprese aeree da drone.

Questi, a differenza di quelli utilizzati per il rilievo terrestre, sono di maggiori dimensioni per facilitarne l'individuazione durante la fase di di orientamento dei fotogrammi aerei da cui discende il calcolo dell'ortofoto.

Vanno collocati in maniera il più possibile orizzontale e con una disposizione omogenea su tutta l'area d'interesse facendo attenzione che risultino ben visibili dall'alto.

Essenziale è in questa fase redigere degli eidotipi sia dei vertici della poligonale, che vanno anche materializzati in modo inequivocabile in loco con chiodi, tasselli, picchetti, sia della disposizione dei target.

3-Misurazione dei target utilizzando il metodo RTK

Sono state ricavate le coordinate di ogni target utilizzando il metodo Real Time Kinematic (RTK) che vede lo stazionamento di una antenna su ogni punto d'interesse.

| NOME VERTICE | X           | Y             | Z       |
|--------------|-------------|---------------|---------|
| 1RTK         | 379.932.854 | 4.935.370.138 | 447.991 |
| 1RTK1        | 379.952.797 | 4.935.327.639 | 446.432 |
| 1RTK2        | 379.952.797 | 4.935.291.523 | 445.468 |
| 1RTK3        | 380.013.816 | 4.935.298.218 | 445.846 |
| 1RTK4        | 380.022.851 | 4.935.288.844 | 445.129 |
| 1RTK5        | 380.054.664 | 4.935.297.203 | 444.742 |
| 1RTK6        | 380.031.462 | 4.935.298.385 | 446.051 |
| 1RTK7        | 380.036.071 | 4.935.329.857 | 445.384 |
| 1RTK8        | 380.047.722 | 4.935.321.005 | 445.513 |
| 1RTK9        | 380.064.284 | 4.935.322.452 | 445.061 |
| 1RTK10       | 380.062.768 | 4.935.334.617 | 445.183 |
| 1RTK11       | 380.076.302 | 4.935.314.791 | 444.736 |
| 1RTK12       | 380.081.427 | 4.935.342.093 | 444.675 |
| 1RTK13       | 380.081.144 | 4.935.366.600 | 444.922 |
| 1RTK14       | 380.131.774 | 4.935.367.176 | 443.966 |
| 1RTK15       | 380.134.498 | 4.935.322.682 | 443.650 |
| 1RTK16       | 380.136.760 | 4.935.305.886 | 443.425 |
| 1RTK17       | 380.065.508 | 4.935.361.663 | 445.153 |
| 1RTK18       | 380.051.824 | 4.935.362.482 | 445.551 |
| 1RTK19       | 380.033.748 | 4.935.364.803 | 446.065 |
| 1RTK20       | 380.004.984 | 4.935.370.101 | 446.978 |
| 1RTK21       | 380.011.990 | 4.935.331.813 | 446.646 |
| 1RTK22       | 380.046.445 | 4.935.333.898 | 444.924 |

Fig 5:Coordinate target aerei ottenute con il metodo RTK

Fig.6:Disposizione dei marker per le prese fotografometriche aeree.



#### 4-Rilievo aereo con drone ad ala fissa E-Bee

Per il rilievo aereo fotogrammetrico è stato utilizzato un drone ad ala fissa.

Questa tipologia di U.A.V. presenta enormi potenzialità sia dal punto di vista della precisione sia che di operatività rispetto alla tipologia U.A.V. multicottero.

Hanno una maggiore autonomia, un volo può durare anche più di 45 minuti, a differenza degli U.A.V. a rotori che in media non superano i 20 minuti, potendo quindi coprire aree maggiori.

È possibile mantenere controllati e costanti i parametri che sono in grado di influenzare il volo assicurando anche una migliore accuratezza di ripresa.

Dato il funzionamento del mezzo in fase di ripresa dei fotogrammi il drone può arrestare il motore planando ed eliminando i rumori oltre che avere una maggiore resa aerodinamica che mitiga l'influenza delle condizioni ambientali rendendo possibile il volo anche con venti di velocità massima pari a 45 km/h.

Fondamentale è anche il fatto che in caso di problemi legati alla propulsione l'U.A.V. non precipita come succede con gli U.A.V. con rotori ma mantengono la propria capacità di volare in maniera controllata. ]

Il volo, effettuato a un'altezza di circa di 80m, ha coperto un'area di 0.1428 km<sup>2</sup> effettuando unicamente foto nadirali senza aggiunta di foto oblique.

In questo rilievo è stato utilizzato l'U.A.V. ad ala fissa eBee SenseFly/Menci EBM-1539 in dotazione al laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali. (Fig.7)



Fig 7:eBee SenseFly/Menci EBM-1539

|                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| eBee SenseFly/Menci EBM-1539   |                             |
| Tipo di drone                  | Drone ad ala fissa          |
| Dimensioni apertura alare      | 96 cm                       |
| Superficie alare               | 0.25 m <sup>2</sup>         |
| Peso senza payload e batteria  | 0.40 kg                     |
| Peso massimo al decollo        | 0.75 kg                     |
| Materiale                      | PPE (Polipropilene Espanso) |
| Motore a propulsione elettrica | Brushless DC motor 160 W    |
| Elica propulsiva               | 7x5 in                      |

Sono state effettuate due serie di prese utilizzando differenti macchine fotografiche, una nir e una RGB

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| Modello fotocamera   | Canon PowerShot S110 |
| Dimensioni immagine  | 4000x3000 pixels     |
| Risoluzione          | 180 dpi              |
| Tempo di esposizione | 1/2000 sec           |
| ISO                  | ISO 320              |
| Distanza focale      | 5 mm                 |

Fig 8: Specifiche tecniche drone Ebee SenseFly

Fig 9: Specifiche Canon PowerShot S110 nir

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| Modello fotocamera   | Canon PowerShot S110 |
| Dimensioni immagine  | 4000x3000 pixels     |
| Risoluzione          | 180 dpi              |
| Tempo di esposizione | 1/800 sec            |
| ISO                  | ISO 250              |
| Distanza focale      | 5 mm                 |

Fig 10: Specifiche Canon PowerShot S110 RGB



Fig 11: Fase di atterraggio alla fine delle prese, Ebee SenseFly  
Fonte: Documentazione fotografica missione Team 4DILAN

5-Posizionamento target nel sito A e nel sito B, materializzazione dei target utilizzando la stazione totale

Il rilievo terrestre è stato effettuato puntualmente nell'area A e nell'area B.

Prima di iniziare a effettuare le scansioni con il Laser scanner sono stati redatti tutti gli eidotipi con la posizione dei target misurati e le schede con le monografie dei vertici.

Ogni target viene misurato utilizzando la stazione totale posta su uno dei vertici precedentemente rilevato.

Queste misurazioni celerimetriche sono indispensabili in fase di elaborazione delle nuvole di punti ottenute sia dal laser scanner che dalla fotogrammetria.

Fig 12: nuvola di punti calcolata in seguito all'orientamento del blocco fotografico di immagini con materializzazione dei marker nel sito A

Fonte: Documentazione fotografica missione Team 4DILAN



| NOME VERTICE | X             | Y              | Z         |
|--------------|---------------|----------------|-----------|
| G            | 3.800.769.800 | 49.353.403.440 | 4.448.490 |
| DM1          | 3.799.973.700 | 49.353.304.130 | 4.462.930 |
| DM2          | 3.799.992.200 | 49.353.291.420 | 4.467.160 |
| DM3          | 3.799.999.880 | 49.353.256.540 | 4.467.020 |
| DM4          | 3.800.041.830 | 49.353.264.150 | 4.465.830 |
| DM5          | 3.800.076.440 | 49.353.270.260 | 4.465.140 |
| DM6          | 3.800.079.020 | 49.353.339.720 | 4.465.020 |
| DM7          | 3.800.067.430 | 49.353.408.650 | 4.466.460 |
| DM8          | 3.800.043.990 | 49.353.444.770 | 4.469.070 |
| DM9          | 3.799.999.300 | 49.353.458.880 | 4.469.290 |
| DM10         | 3.799.959.910 | 49.353.447.060 | 4.469.530 |
| DM11         | 3.799.955.900 | 49.353.364.740 | 4.464.180 |
| DM12         | 3.799.966.570 | 49.353.340.060 | 4.461.750 |
| DM13         | 3.799.966.090 | 49.353.318.110 | 4.462.570 |
| DM14         | 3.800.004.370 | 49.353.301.310 | 4.461.850 |
| DM15         | 3.800.025.630 | 49.353.289.260 | 4.460.050 |
| DM16         | 3.800.050.950 | 49.353.300.720 | 4.459.900 |
| DM17         | 3.800.046.270 | 49.353.314.900 | 4.461.130 |
| DM18         | 3.800.026.160 | 49.353.415.820 | 4.462.110 |
| DM19         | 3.800.008.290 | 49.353.404.820 | 4.460.070 |
| DM20         | 3.800.001.920 | 49.353.415.280 | 4.461.830 |
| DM21         | 3.799.972.970 | 49.353.386.360 | 4.461.660 |

Fig 13: Coordinate target ottenute con la stazione totale

#### 6-Laser Scanning e riprese fotogrammetriche

Entrambi i siti sono stati scansionati utilizzando due laser scanner FARO.

Questa strumentazione, prodotta dall'azienda CAM2 denominato Focus X 130 ha come specifiche tecniche un errore di linearità di 2mm e un range da 0.6 a 130m. Integra lo scanner laser con una fotocamera HDR Exposure Bracketing 3x, 5x da 170 megapixel.

È essenziale posizionare lo strumento in modo che possa vedere almeno 3 target precedentemente rilevati quindi di coordinate note, per permettere il successivo orientamento della scansione.

Questa tipologia di laser ha la peculiarità di riuscire ad acquisire un grande quantitativo di punti in poco tempo e, al termine della scansione, di scattare alcune fotografie che serviranno a colorare questa nuvola di punti.

Anche in questo caso bisogna annotare sugli eidotipi la posizione di stazione di presa degli strumenti.



Fig. 14: Fase di acquisizione delle nuvole mediante strumentazione Laserscan Focus X 130

Fonte: Documentazione fotografica missione Team 4DILAN

Fig 15: Fotogrammi orientati e nuvola di punti fotogrammetrica del sito A



Per avere un adeguato quantitativo di informazioni su entrambi i siti sono state anche effettuate delle prese fotogrammetriche

Queste sono state eseguite utilizzando due camere digitali differenti:

#### Canon 1DX Mark II



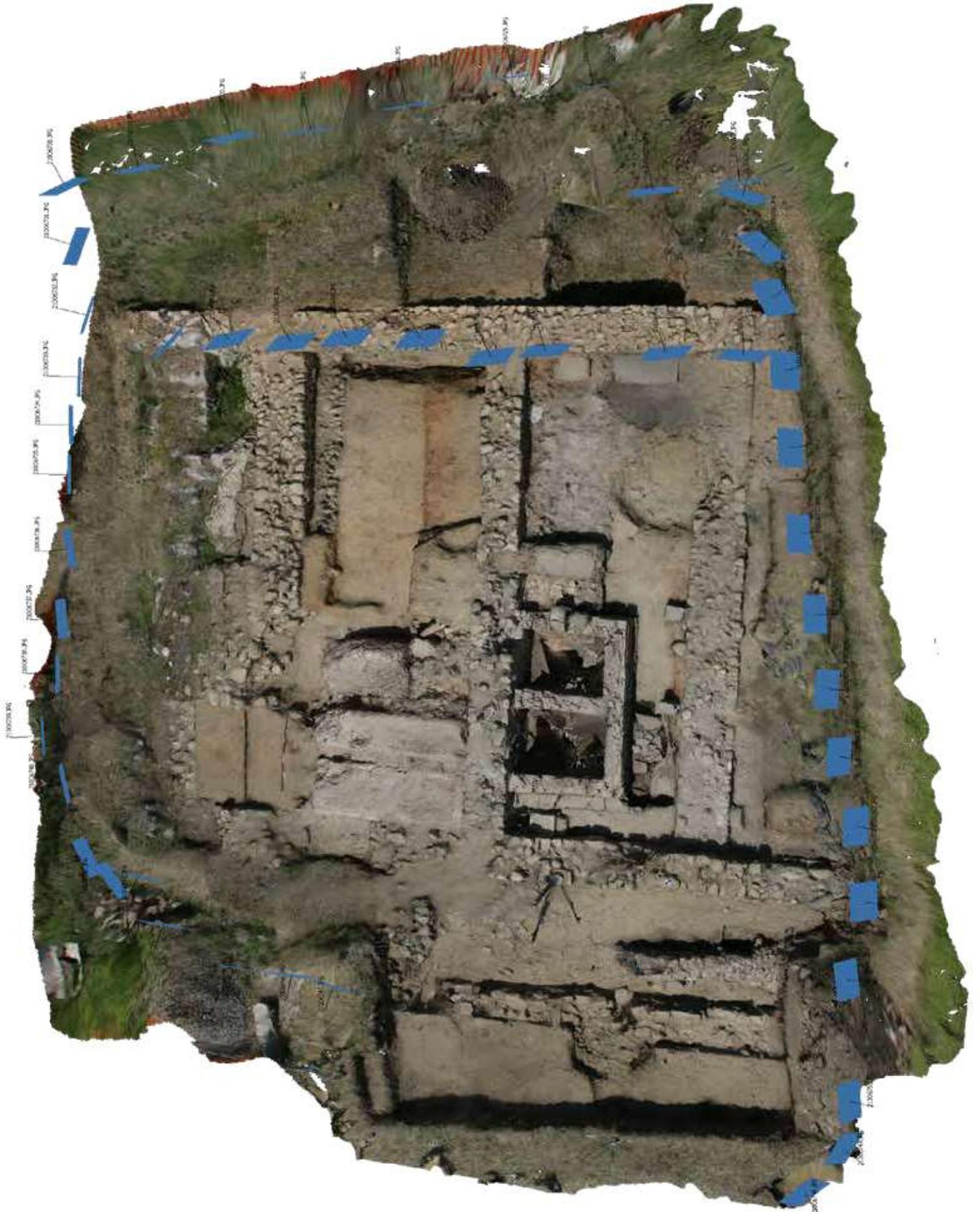
|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| Modello camera     | Canon 1DX Mark II |
| Obiettivo          | 25mm f1.8         |
| Sensore            | Fullframe         |
| Dimensione sensore | 36x24mm           |
| Risoluzione        | 20.2 megapixel    |

#### Canon 70D



|                    |                |
|--------------------|----------------|
| Modello camera     | Canon 70D      |
| Obiettivo          | 18-135mm f4.5  |
| Sensore            | APS-C          |
| Dimensione sensore | 22.3x15mm      |
| Risoluzione        | 20.2 megapixel |

Fig 16: Punti da cui sono state eseguite le prese fotogrammetriche nel sito A



**5.**

# **Creazione delle nuvole di punti**

## 5.1 CONTROLLO E CORREZIONE DEI FOTOGRAMMI

Terminati i rilievi fotogrammetrici da drone e terrestri è essenziale, prima di iniziare un'elaborazione, di effettuare una revisione di tutte le prese eseguite.

Andranno infatti eliminati fotogrammi con evidenti stati di "mosso" o anche di "fuori fuoco".

Entrambe queste problematiche potrebbero andare ad alterare sia l'elaborazione legata alla ricerca di punti omologhi, sia in fase di texturizzazione.



Per una questione di resa finale è possibile anche compiere un'ulteriore passaggio in fotografia definito "bilanciamento del bianco".

Questo problema va ad alterare i colori delle immagini rendendoli differenti dalla situazione in cui sono state scattate.

Per ovviare a questo problema si rende necessario:

- aver scattato una foto con all'interno un "ColorChecker Passport"
- Bilanciamento del bianco attraverso un programma con funzioni di post-produzione fotografica come Adobe Photoshop o Adobe Lightroom

Il "ColorChecker Passport" è una tabella con all'interno dei riquadri colorati di cui è nota la tonalità, il bilanciamento attraverso Photoshop si basa proprio sull'andare a riassegnare i colori sulla base dei colori tabellari.

All'interno del programma Photoshop questo procedimento è molto rapido da effettuare grazie alla regolazione "Esposizione" e al comando "Imposta il punto nero/grigio/bianco dell'immagine".

Diventa però oneroso in termini di tempo se si hanno molte immagini da processare come spesso succede, è però possibile creare un automatismo in cui questa operazione viene reiterata per tutti i fotogrammi senza ulteriori input da parte dell'operatore.

Fig. 1: Esempi di fotogrammi con problematiche di "mosso" e "fuori fuoco"

Fig. 2: ColorChecker Passport



## 5.2 ELABORAZIONE DATI U.A.V

I dati ottenuti dal rilievo aereo sono stati elaborati utilizzando il programma per l'elaborazione di immagini aeree Pix4Dmapper.

Questo programma permette di ottenere nuvole di punti, ortofoto e modelli 3D elaborando i dati derivanti dalle prese fotogrammetriche.

Il suo processo si basa sulla creazione di dati spaziali 3D attraverso l'elaborazione di fotogrammi utilizzando le tecniche SfM (Structure for Motion).

Per SfM si intende la tecnica di range imaging, che permette la ricostruzione di oggetti 3D partendo da una base di punti estrapolata da immagini 2D.

Questa tecnica, grazie ad algoritmi basati su parametri fotografici quali lunghezza focale, dimensioni del sensore, distorsioni e pixel riescono a estrapolare punti in comune su più fotogrammi collocandoli in un sistema tridimensionale.

In particolare la corrispondenza automatica tra punti omologhi avviene mediante il confronto dei toni radiometrici dei pixel nell'intorno dei punti.<sup>1</sup>

Il processo di elaborazione richiede come dati di input le prese fotogrammetriche eseguite e le posizioni dei centri di presa approssimati per l'inizializzazione del calcolo. Operativamente questo passaggio consiste nell'individuare in ogni fotogramma alcuni target in modo da poter dare un orientamento relativo alle prese.

Il programma in automatico riesce a rilevare il modello di camera utilizzata sulla base dei metadati memorizzati in ogni fotogramma e quindi individuare i parametri di orientamento dei metadati che vengono ricalcolati con maggiore precisione.

Eseguito l'orientamento relativo è fondamentale per realizzare un elaborato metricamente corretto e controllato l'inserimento di un numero sufficiente di punti per la realizzazione del BBA(Bundle Block Adjustment)

Per BBA si intende il modello analitico delle equazioni di collinearità e consiste nel calcolo diretto delle relazioni fra coordinate immagine e coordinate oggetto eliminando le coordinate modello come passaggio intermedio.

Questi punti prendono il nome di GCP(Ground Control Points) e sono punti di coordinate note oppure punti naturali chiaramente identificabili nelle immagini.<sup>2</sup>

Il processo finale è composto da tre passaggi intermedi che sono rispettivamente:

- 1-Elaborazione iniziale
- 2-Nuvola di punti e mesh
- 3-DSM, Ortofoto e Indice

<sup>1</sup>:Chiabrando, Donadio, Rinaudo, SfM for orthophoto generation: a winning approach for cultural heritage knowledge,2015

<sup>2</sup>:Aicardi, Chiabrando, Lingua, Maschio,Nardo, Uno sguardo sul territorio costruito, Geomedia 2014

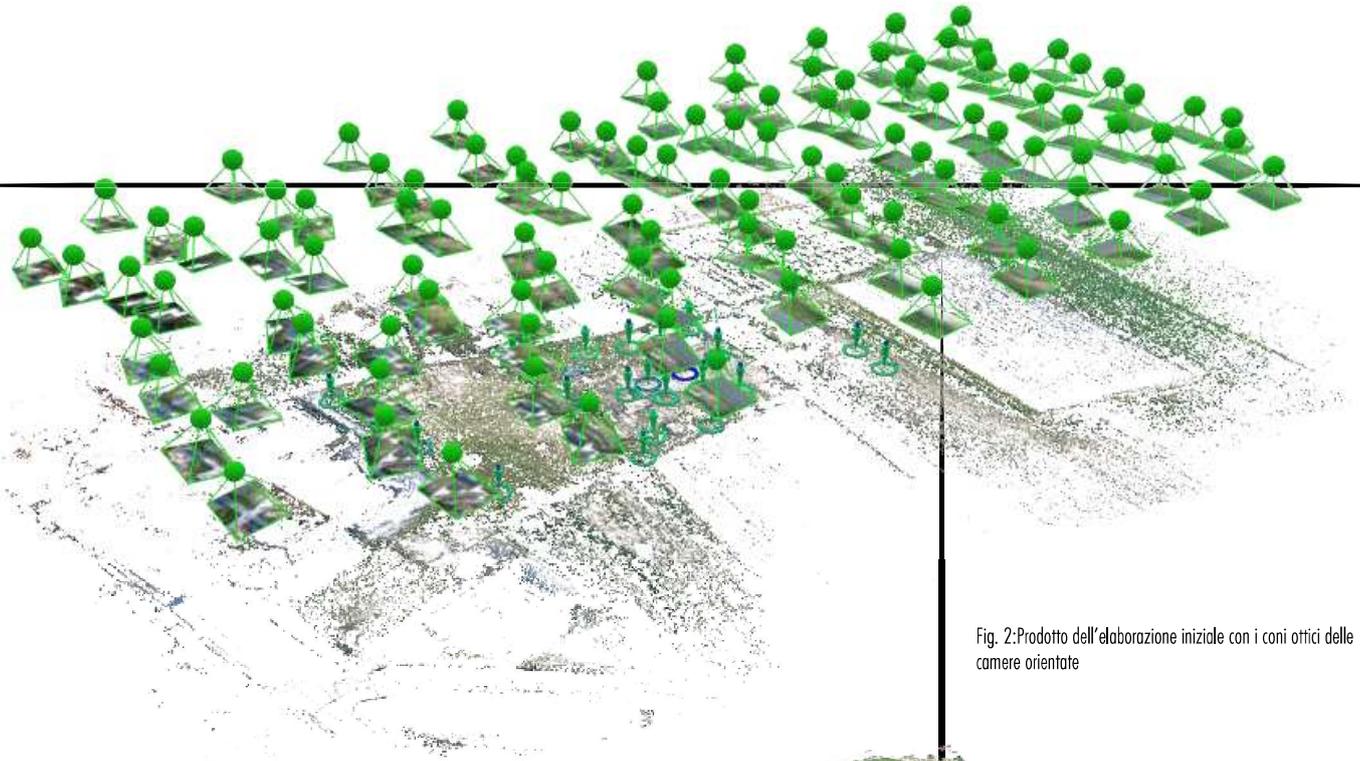


Fig. 2: Prodotto dell'elaborazione iniziale con i coni ottici delle camere orientate



Fig. 3: Nuvola di punti



Fig. 4: Mesh

Fig. 5: Ortofoto ottenuta utilizzando le prese  
fotogrammetriche aeree



Terminate le elaborazioni il programma restituisce un report con molte informazioni legate all'elaborazione indicando la qualità del prodotto.

Il report presenta subito un dato riassuntivo, il Quality Check, una tabella contenete le specifiche inerenti ai parametri relativi alla qualità dell'orientamento e dell'ottimizzazione dell'allineamento dei fotogrammi.

Nel nostro caso abbiamo:

- errore medio sulle coordinate dei marker=0.018 m
- media tie poits per fotogramma=12862
- foto allineate: 111 su 113

|                     |  |
|---------------------|--|
| Images              | median of 45917 keypoints per image  |
| Dataset             | 111 out of 113 images calibrated (98%), all images enabled                         |
| Camera Optimization | 0.26% relative difference between initial and optimized internal camera parameters |
| Matching            | median of 12862 matches per calibrated image                                       |
| Georeferencing      | yes, 19 GCPs (19 3D), mean RMS error = 0.018 m                                     |

E' presente anche un grafico DSM(Digital Surface Model) insieme all'ortofoto il DSM è rappresentato da falsi colori che avvalendosi di un cromatismo che va dal rosso al verde ci indica se vi sono un buon numero di corrispondenze(verde) o meno.(Fig.6)

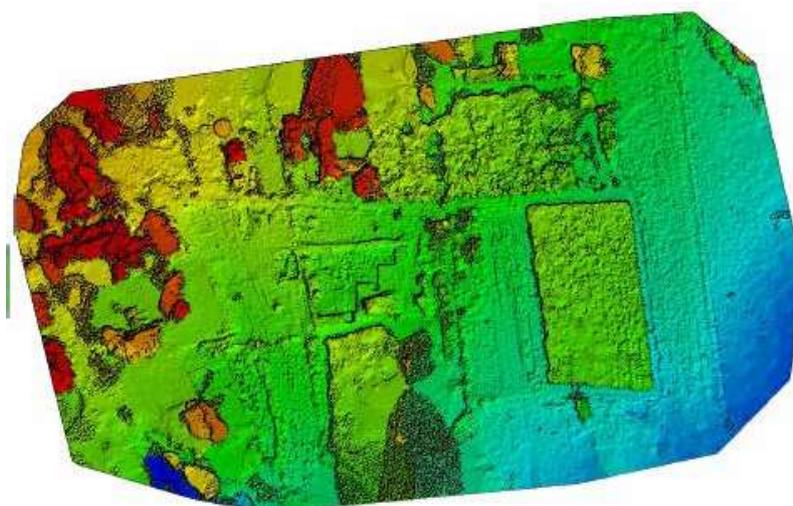


Fig.6: Grafico DSM  
Fonte: Quality Check prodotto dal programma Pix4Dmaps

Ma vi sono altri importanti valori che vengono proposti come:

I valori di overlapping, cioè la sovrapposizione tra i vari fotogrammi  
 Questo dato è proposto sottoforma di grafico che va ad esprimere in quanti fotogrammi è presente l'area utilizzando una scala cromatica che va da 1 fotogramma (rosso) a 5+ fotogrammi (verde) (Fig.7)

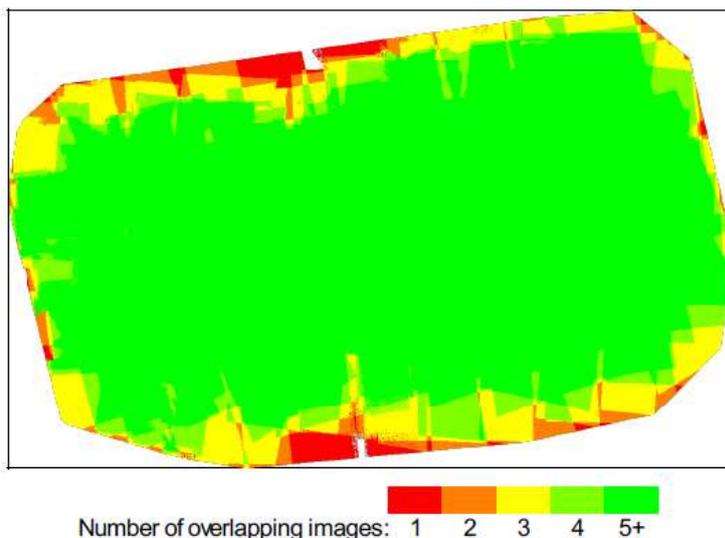


Fig.7: Grafico inerente all'overlapping dell'area  
 Fonte: Quality Check prodotto dal programma Pix4Dmaps

Alcune informazioni legate ai GCP quali accuratezza, l'errore sull'asse x, y, z.

| GCP Name      | Accuracy XYZ [m] | Error X [m] | Error Y [m] | Error Z [m] | Projection Error [pix] | Verified/Marked |
|---------------|------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|-----------------|
| 1RTK22 (3D)   | 0.020/0.020      | 0.008       | -0.002      | 0.054       | 0.440                  | 7/7             |
| 1RTK21 (3D)   | 0.020/0.020      | -0.005      | -0.011      | 0.025       | 0.284                  | 4/4             |
| 1RTK20 (3D)   | 0.020/0.020      | 0.001       | 0.015       | -0.023      | 0.622                  | 7/7             |
| 1RTK18 (3D)   | 0.020/0.020      | -0.004      | 0.008       | 0.000       | 0.450                  | 6/6             |
| 1RTK17 (3D)   | 0.020/0.020      | -0.009      | -0.002      | -0.004      | 0.285                  | 4/4             |
| 1RTK16 (3D)   | 0.020/0.020      | 0.003       | -0.017      | -0.008      | 0.505                  | 4/4             |
| 1RTK15 (3D)   | 0.020/0.020      | -0.001      | 0.003       | -0.006      | 0.292                  | 4/4             |
| 1RTK14 (3D)   | 0.020/0.020      | -0.016      | -0.010      | 0.011       | 0.380                  | 5/5             |
| 1RTK12 (3D)   | 0.020/0.020      | 0.004       | 0.009       | 0.014       | 0.416                  | 4/4             |
| 1RTK11 (3D)   | 0.020/0.020      | 0.007       | 0.002       | -0.013      | 0.465                  | 6/6             |
| 1RTK9 (3D)    | 0.020/0.020      | -0.010      | -0.008      | -0.020      | 0.527                  | 6/6             |
| 1RTK8 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.017       | 0.015       | -0.090      | 0.016                  | 2/2             |
| 1RTK7 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.004       | 0.004       | -0.021      | 0.519                  | 4/4             |
| 1RTK5 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.035       | -0.028      | -0.087      | 0.150                  | 2/2             |
| 1RTK4 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.007       | -0.007      | -0.021      | 0.371                  | 5/5             |
| 1RTK3 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.001       | 0.001       | -0.020      | 0.280                  | 5/5             |
| 1RTK2 (3D)    | 0.020/0.020      | 0.000       | 0.005       | 0.003       | 0.345                  | 4/4             |
| 1RTK1 (3D)    | 0.020/0.020      | -0.010      | -0.003      | 0.028       | 0.535                  | 7/7             |
| 1RTK (3D)     | 0.020/0.020      | 0.004       | -0.007      | -0.014      | 0.793                  | 6/6             |
| Mean [m]      |                  | 0.001957    | -0.001810   | -0.010208   |                        |                 |
| Sigma [m]     |                  | 0.010928    | 0.010518    | 0.033194    |                        |                 |
| RMS Error [m] |                  | 0.011102    | 0.010672    | 0.034728    |                        |                 |

## 5.3 ELABORAZIONE RILIEVO TERRESTRE

Per elaborare le prese ottenute dal rilievo terrestre e quindi dalle acquisizioni con metodologie laser scanning e fotogrammetriche sono stati utilizzati una serie di fasi mediante l'utilizzo di numerosi software:

-Registrazione delle diverse nuvole LiDAR in un'unica nuvola tramite il software SCENE

-orientamento fotogrammetrico e generazione della nuvola di punti con il software PHOTOSCAN

-Gestione, modifica delle nuvole di punti e le mesh con il software 3DReshaper

-Sezione delle nuvole di punti grazie al software PointCab

### 5.3.1 SCENE

Scene è il software della FARO necessario per l'elaborazione dei dati acquisiti con lo scanner.

Ogni singola scansione laser precedentemente rilevata necessita di essere riferita a un sistema di riferimento comune.

Infatti fino a che non viene determinata la relazione spaziale che la lega con le altre, è riferita al proprio sistema di coordinate la cui origine è la posizione in cui il laser incontra lo specchio dello scanner.

Occorre quindi rototraslare ciascuna scansione in un sistema comune a tutte.

Per fare ciò sufficiente che vi siano, in una scansione, almeno tre oggetti di riferimento, in modo da poterne determinare matematicamente la posizione esatta e l'orientamento in un sistema di riferimento desiderato, che solitamente, come in questo caso, è determinato per via topografica.

Le scansioni acquisite con il laser scanner sono state perciò importate sul software Scene e sovrapposte tra loro grazie ai punti naturali, target, precedentemente posizionati e rilevati topograficamente

In prima fase, dopo aver caricato sul programma le scansioni è necessario una prima collocazione manuale da parte dell'utente in modo da avvicinarle e impostarle il più possibile su uno stesso piano.

Grazie a questo passaggio si facilita la collocazione nuvola a nuvola che il programma dovrà eseguire successivamente.

La procedura di elaborazione utilizzando il software SCENE si articola come segue:

#### 1-Nuovo workspace e caricamento delle scansioni

Le nuvole provenienti dalle varie scansioni ed esportate in formato \*.fls, sono state caricate all'interno del nuovo workspace creato da Scene.

#### 2-Verifica dell'allineamento delle nuvole

Una volta caricate le scansioni, è stato verificato visivamente il loro orientamento secondo lo stesso sistema di riferimento ponendosi in una vista tridimensionale del Workspace.

Nella figura è possibile notare che le varie nuvole sono sfalsate e che quindi dovranno essere allineate tra loro in una prima fase manualmente. (Fig.8)

#### 3-Collimazione dei target

Per poter rototraslare tutte le scansioni secondo uno stesso sistema di coordinate di riferimento, che in questo caso coincide almeno in un primo momento con quello della prima scansione, sarà necessario fare in modo che i target di ogni scansione coincidano fra di loro.

Per far ciò è stato collimato ogni singolo target presente su ciascuna nuvola di punti.

Per ogni scansione devono essere individuati un numero sufficiente di punti, che normalmente corrisponde a un minimo di 4.

I target comuni dovranno essere rinominati allo stesso modo per fare in modo che ognuno corrisponda a quello della scansione successiva.

#### 4-Rototraslazione delle scansioni

La registrazione delle nuvole viene resa definitiva lanciando il comando "colloca scansioni" automaticamente che unisce tutte le nuvole sotto lo stesso sistema di riferimento, attraverso la finestra di report è possibile valutare gli scarti di ogni trasformazione che una semplice analisi visiva non evidenzerebbe.

In questo modo, se sono presenti errori elevati, sarà possibile eliminare i target in questione ed aggiungerne di nuovi. (Fig.9)

Non risulta possibile testurizzare il prodotto ottenuto con il software SCENE, si è dovuto ricorrere ad altri due programmi : Photoscan e 3DReshaper.

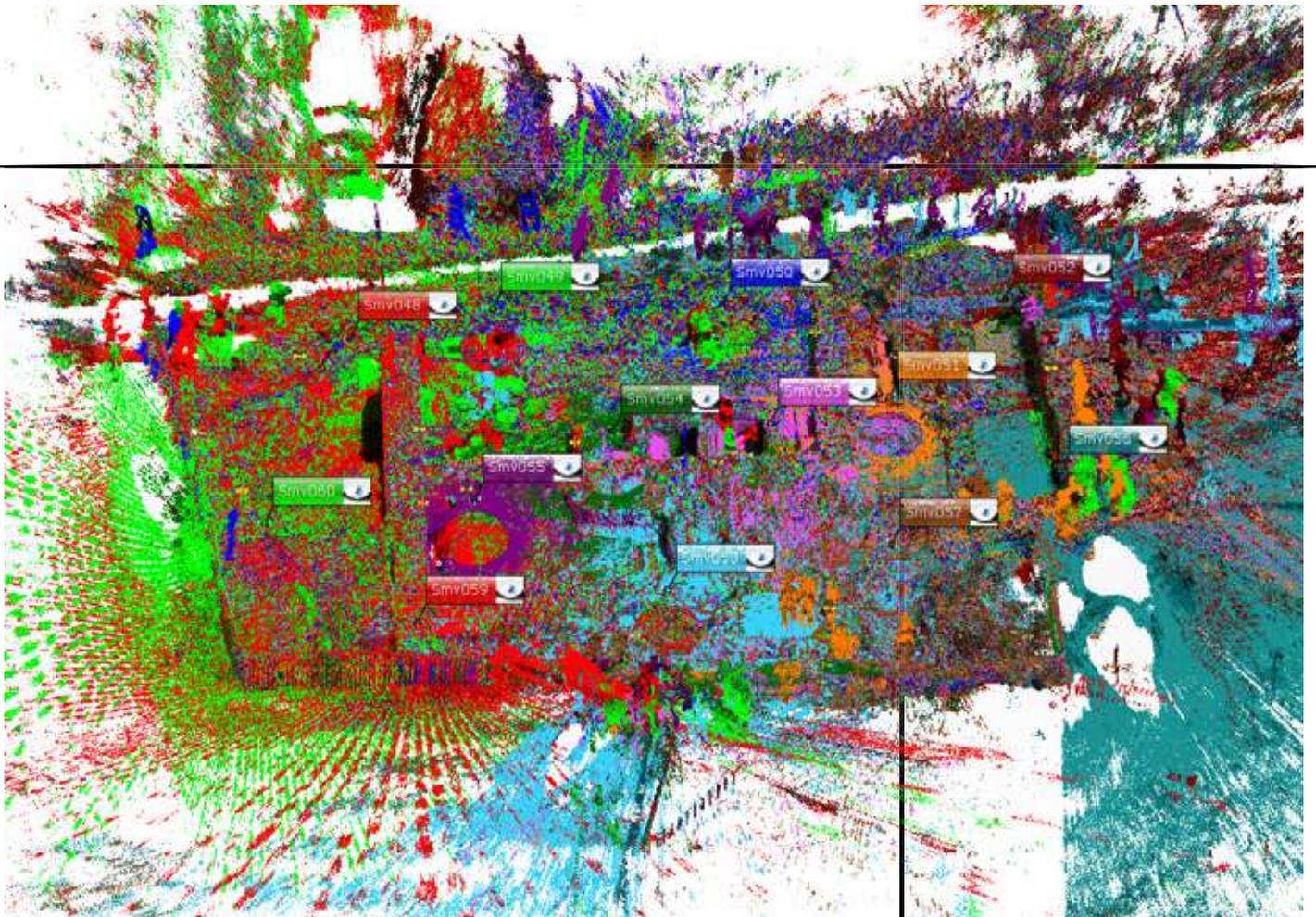


Fig.8: Fase finale di montaggio delle scansioni, collocazione per target



Fig.9: Scansioni registrate per forma e target, nuvola densa colorata

### 5.3.2 PHOTOSCAN

Il programma Photoscan dell'Agisoft è uno dei programmi più utilizzati in ambito fotogrammetrico.

La particolarità di questo programma è quella di ottenere una buona texture direttamente dalle immagini utilizzate oltre che disporre delle funzioni simili al software pix4D impiegato per le riprese aeree.

Nel caso specifico di Costigliole Saluzzo è stato utilizzato sia per creare la mesh texturizzata partendo dai fotogrammi sia per texturizzare la nuvola di punti prodotta dal rilievo laser.

Questi due processi, che apparentemente portano allo stesso risultato, sono stati effettuati per valutare quale delle due strategie in questo caso porta al risultato migliore a livello qualitativo.

La procedura di elaborazione utilizzando il software PHOTOSCAN così si articola:

1-Nuovo Workspace e caricamento delle coordinate e orientamento delle immagini

Le coordinate vengono caricate in Ground Control così da poterle inserire tramite i marker che sono stati immessi su ogni immagine precedentemente caricata.

In seguito è stato eseguito l'allineamento delle immagini utilizzando come parametro Pair Preselection: Ground Control.

2-Creazione della nuvola di punti

È stato ottimizzato l'allineamento delle prese e si è proceduto alla creazione della nuvola densa di punti.

In base al livello di dettaglio i tempi di elaborazione possono variare anche di molto, per questo progetto abbiamo tenuto un livello di dettaglio medio-alto. (Fig. 10)

3-Creazione della mesh

Sulla base dei punti della nuvola densa viene triangolata la superficie della mesh, quindi maggiore è la densità della nuvola e maggiore saranno le triangolazioni che andranno a comporre la superficie della mesh.

Il principio su cui si basa la creazione è legata a due algoritmi differenti: Height Field, per le superfici planari come quella dei terreni e Arbitrary per ogni tipo di oggetto.

Terminato il processo il programma permette di editarla e di effettuare alcune modifiche e/o filtri come: la decimazione della mesh, la rimozione di componenti indipendenti, la chiusura dei vuoti, la levigatura.

Per modifiche più ingenti bisogna utilizzare programmi dedicati come 3DReshaper. (Fig. 11)

4-Mappatura della texture

Utilizzando il controllo della Built Texture è stato possibile mappare la mesh, operazione che il programma esegue in automatico utilizzando le foto. (Fig. 12)



Fig.10: Dense cloud del sito  
Elaborazione effettuata con Photoscan

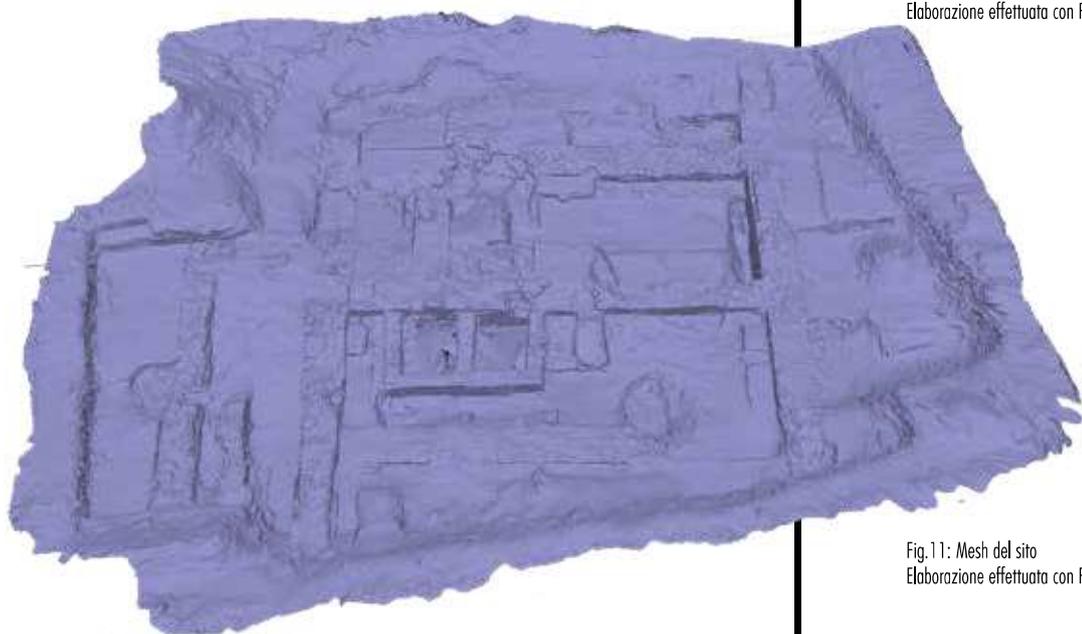


Fig.11: Mesh del sito  
Elaborazione effettuata con Photoscan

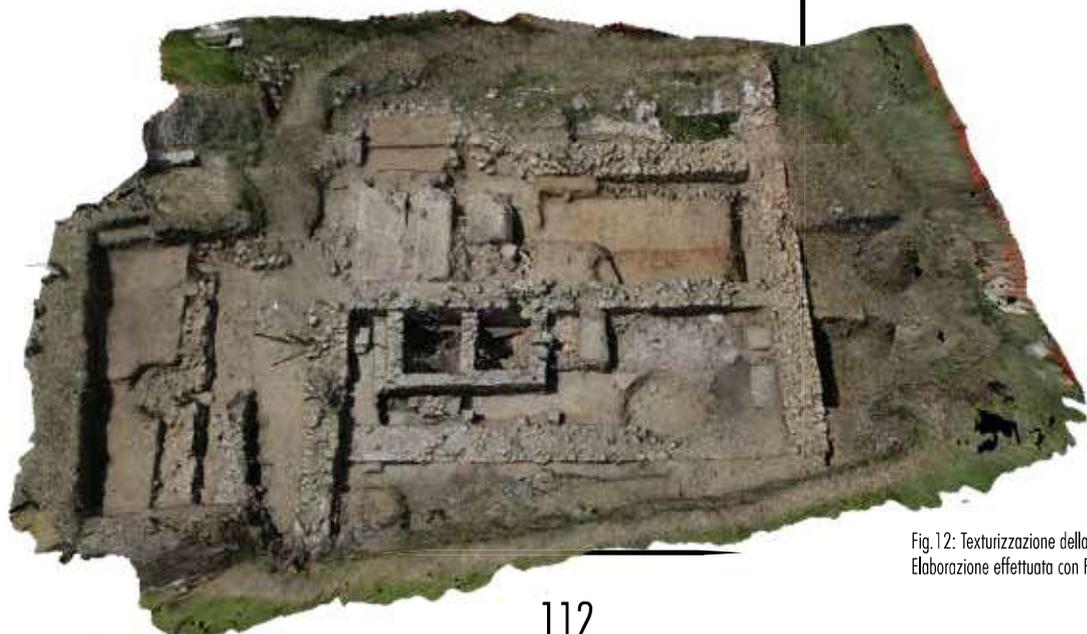


Fig.12: Texturizzazione della mesh del sito  
Elaborazione effettuata con Photoscan

### 5.3.3 3DRESHAPER

Come precedentemente detto il software SCENE non ha la possibilità di calcolare una mesh tantomeno texturizzarla.

Abbiamo dovuto quindi elaborare la nuvola densa prodotta dalle scansioni laser registrate con un differente programma. (Fig. 13)

La nuvola densa georiferita è stata esportata da SCENE attraverso un file con estensione \*.e57 che è stato caricato sul programma di modellazione 3DRESHAPER.

In una prima fase di elaborazione sono stati eliminati dalla nuvola tutti gli elementi acquisiti dal laser scanner che non riguardavano il nostro manufatto, come elementi non architettonici e punti sovrabbondanti. per una migliore pulizia del manufatto si è reso quindi necessario scomporre l'intera area in parti più piccole.

Un'ulteriore operazione di pulizia viene proposta dal software tramite il comando "filtra" per diminuire il numero di punti da visualizzare e per la riduzione del rumore.

Lo step successivo è stato la creazione della mesh, ovvero una superficie continua formata da una serie di modelli triangolari che uniscono i vari punti acquisiti.

Per ottenere una superficie il più possibile riconducibile alla forma originaria, è stato utilizzato il metodo della triangolazione a due passi.

Si è reso necessario effettuare una prima triangolazione con elementi più grandi di dimensioni con una restituzione di superficie grezza dell'oggetto, per poi rifinirla con un secondo passaggio.

Questo procedimento è stato ripetuto più volte suddividendo le superfici uniformi da quelle più complesse e andando a modificare i valori di precisione.

Una volta ottenuta la mesh desiderata, si è poi passati all'operazione di "ponte" e successivamente di "tappatura" dei buchi per eliminare i vuoti lasciati dal programma.

Infine si è utilizzato il comando liscatura automatica e manuale per uniformare la mesh. (Fig. 14)

La superficie così ottenuta è stata esportata utilizzando il formato \*.obj sul programma Photoscan grazie al quale è effettuata la texturizzazione.

Questa interoperabilità tra i programmi ha reso possibile la georeferenziazione.

Infatti precedentemente all'importazione della mesh era stato avviato un processo di elaborazione di una nuvola densa georiferita sulla quale è stato possibile importare e posizionare in automatico la superficie da texturizzare. (Fig. 15)



Fig. 13: Dense cloud del sito prodotto attraverso il metodo laser scan  
Elaborazione effettuata con il programma SCENE



Fig. 14: Mesh della dense cloud precedentemente prodotta  
Elaborazione effettuata con il programma 3DRESHAPER

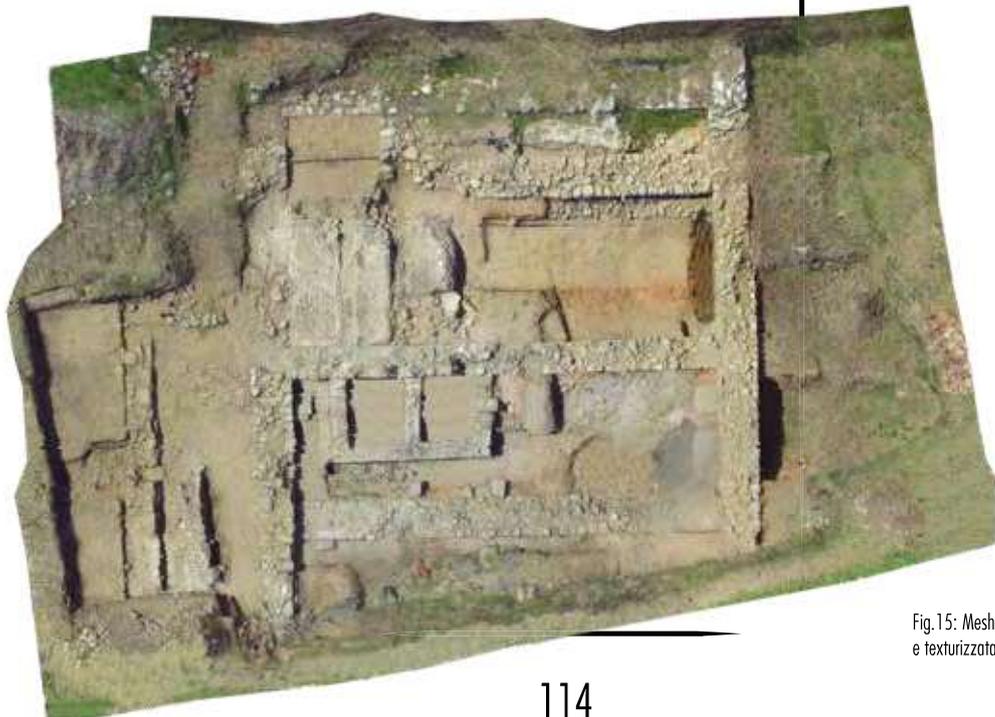


Fig. 15: Mesh precedentemente prodotta, importata e texturizzata mediante il programma Photoscan

#### 5.3.4 POINTCAB

Pointcab è un software che permette all'operatore possa realizzare un elaborato architettonico integrando viste della nuvola proiettate sui piani di proiezione canonici del disegno architettonico partendo da una nuvola ottenuta con il laser scanner o la fotogrammetria.

Con questa tecnica è possibile, importando le nuvole di punti precedentemente create, creare delle viste parallele della nuvola molto simili alle ortofoto dell'oggetto rilevato. Inserendo le coordinate del piano di sezione desiderato, il programma genera delle immagini raster che consentono la successiva restituzione vettoriale con un software CAD. E' possibile inoltre esportare i file grafici ottenuti in formati standard i quali conservano le coordinate di geolocalizzazione e quindi possono essere elaborati con misurazioni fedeli.

In questo modo è possibile ottenere prospetti, viste ,piante.

Nel nostro caso, attraverso una serie di piani di sezione su tutta l'area è stato possibile individuare le quote delle varie pavimentazioni e creste delle murature.

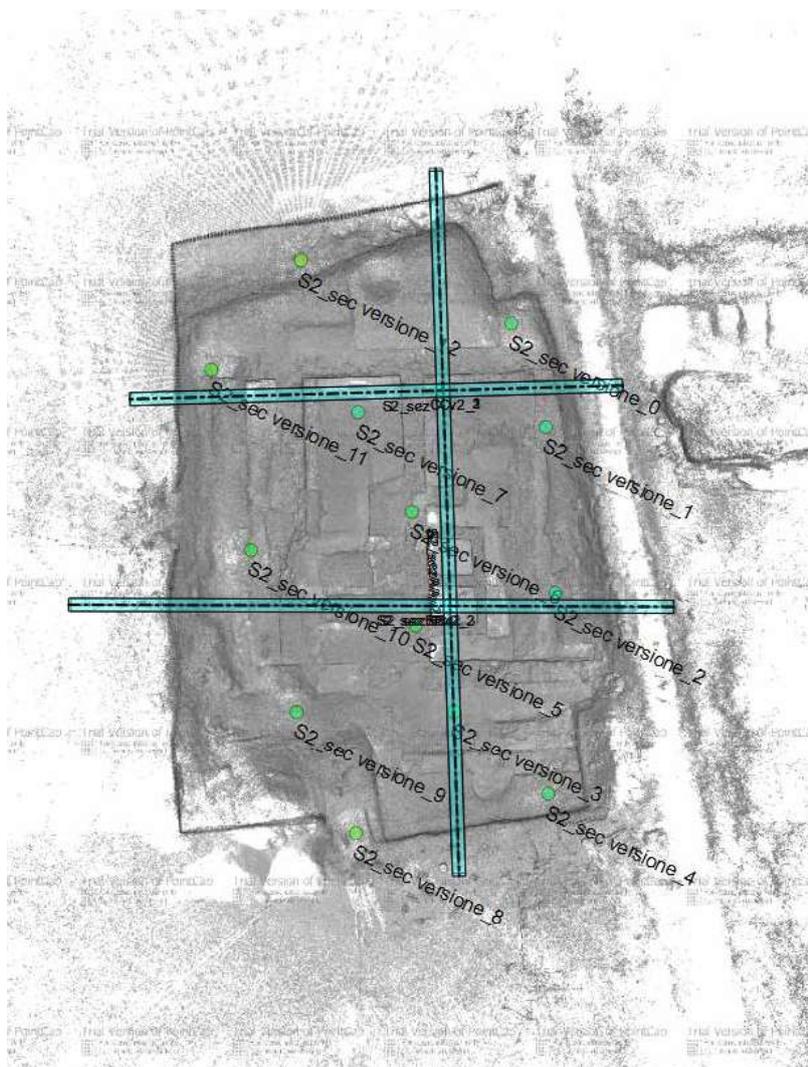
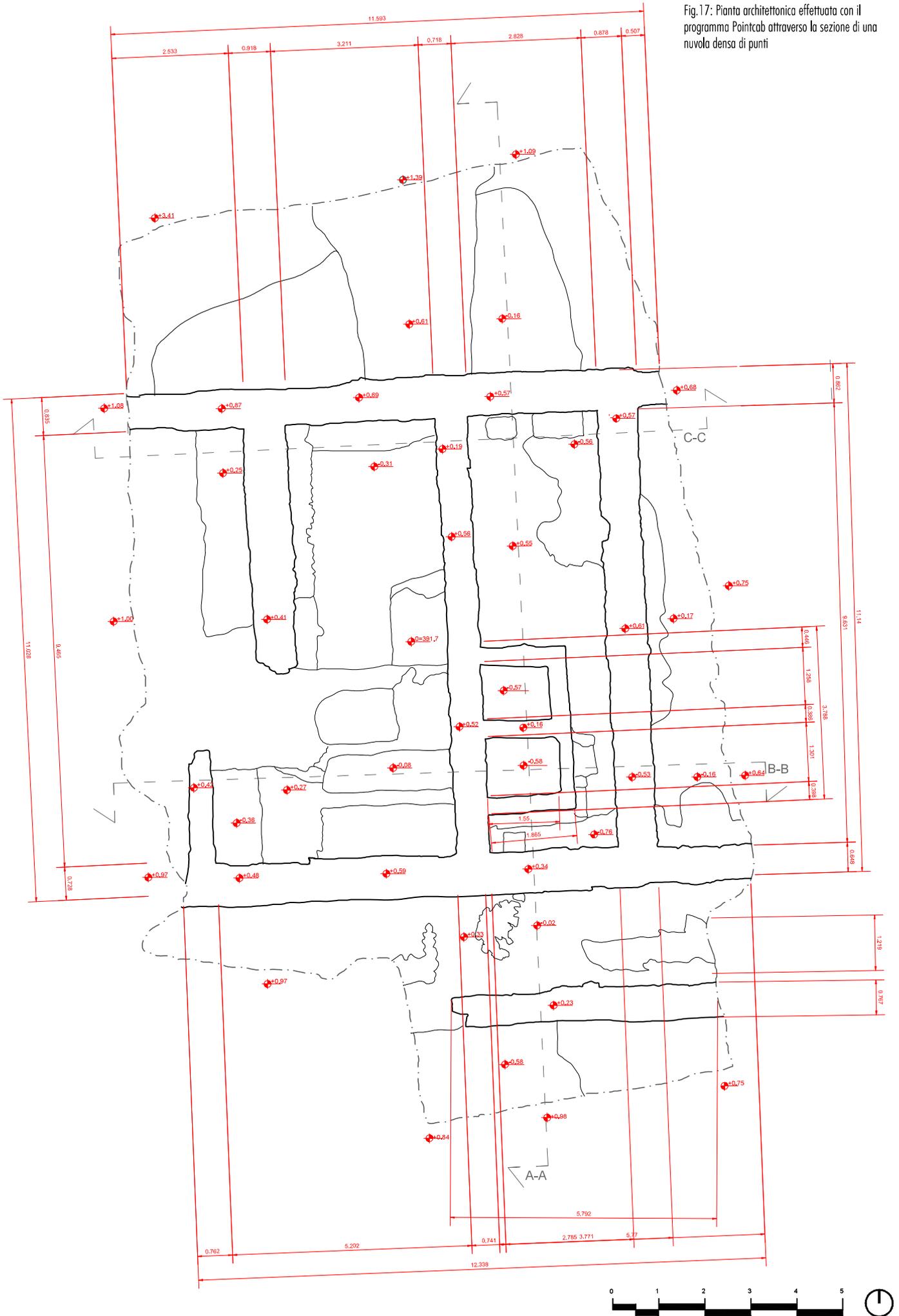


Fig.16: Dense cloud importata sul programma Pointcab con dei piani di sezione longitudinali e trasversali.

Fig.17: Pianta architettonica effettuata con il programma Pointcab attraverso la sezione di una nuvola densa di punti



**6.**

**La villa:  
origine del  
manufatto e  
evoluzione  
del sito  
archeologico**

## 6.1 IL COMPLESSO DELLA VILLA ROMANA DI COSTIGLIOLE SALUZZO

Le prime informazioni ufficiali relative ai ritrovamenti di origine romana risalgono agli anni 1995-2000 grazie ad alcuni saggi effettuati dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Piemonte.

Il sito rappresenta un importante esempio di insediamento di epoca romana scoperto nella fascia pedemontana pianeggiante del versante meridionale della Valle Varaita, collocato in una zona ricca d'acqua, grazie allo sbocco in pianura del torrente omonimo, l'area doveva avere un ruolo strategico, importante perché localizzata in prossimità dell'incrocio tra il percorso vallivo di collegamento transalpino e l'itinerario pedemontano piemontese.<sup>1</sup>

La presenza a 2,5 km di distanza da Costigliole, a Piasco, di un punto doganale dove si esigeva la *Quadragesima Galliarum* avvalorava tale interpretazione.

Nello specifico, l'area interessata dagli scavi e dai ritrovamenti archeologici fin qui effettuati ha un'estensione di circa 3 ettari e si sviluppa fino ad un centinaio di metri ad est del percorso della moderna Strada Provinciale Saluzzo-Cuneo.

Prima di entrare però nell'analisi specifica delle strutture riscontrate nel sito di Costigliole, è necessario soffermarsi sul rapporto tra lo stesso e l'area geografica all'interno del quale venne fondato.

Una delle caratteristiche principali della fascia pedemontana tra il corso del Po e il sito di San Lorenzo Caraglio/Forum Germa (...) è la sostanziale assenza di tracce relative al fenomeno della centuriazione che invece si riscontra con certezza nelle aree circostanti alla stessa.<sup>2</sup>

La villa rustica scoperta a Costigliole e oggetto d'indagine archeologica negli ultimi venti anni ricopre un'importanza fondamentale per tentare di ricostruire l'assetto assunto da tale territorio dai primi decenni del I sec. d. C.

La presenza di una proprietà terriera così imponente a dispetto delle piccole fattorie a conduzione familiare fin qui rilevate nel territorio circostante trova giustificazione nello sfruttamento dell'attività vinicola dell'area pedecollinare e nella presenza di strutture al suo interno strettamente connesse alla stessa.

Legata a tale considerazione e all'assenza della centuriazione, si è anche ipotizzata la presenza di un latifondo; secondo la Prof.ssa Enrica Culasso Gastaldi, tale interpretazione potrebbe essere giustificata anche dalla documentazione epigrafica rinvenuta nell'area piemontese.<sup>3</sup>

Lo sviluppo nei secoli con fasi alterne della villa di Costigliole deve molto alla probabile presenza di veri e propri assi viari, tra cui quello più importante dovrebbe essere la

1: Elia, Meirano, La villa di Costigliole Saluzzo, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, p.59-62

2: Melli Boffa, Il territorio costigliolese tra preistoria e medioevo: dati archeologici, p.16-17

3: Culasso Gastaldi, L'ager Saluzzensis nella romanizzazione della Cispadana occidentale, p.28-28

direttrice nord-sud, che univa i principali centri posti ai margini della fascia pianeggiante, su cui si inserivano da ovest i percorsi transalpini di fondovalle, accessi privilegiati alle vallate interne dell'arco alpino.

Gli scavi archeologici fino ad oggi effettuati hanno portato alla luce alcuni tratti di una via glareata, cioè una strada extraurbana con ghiaia e ciottoli di piccole dimensioni, a pochi metri dalla villa che potrebbero corrispondere al tracciato dell'itinerario pedemontano o ad un asse viario ad esso affine che doveva servire lo stesso complesso indagato.<sup>4</sup>

Le ricerche condotte nel sito di Costigliole Saluzzo fino al 2011 hanno permesso di identificare numerosi complessi inizialmente considerati slegati tra loro ma poi interpretati quali parti di una vera e propria villa rustica di pianta rettangolare con un'estensione di 5000 mq (55,70 m in direzione nord-sud e 85 m ca. in direzione est-ovest). Ad essa inoltre, sebbene ancora non indagati in maniera esaustiva, sarebbero da collegare alcuni edifici posti a qualche decina di metri di distanza nell'area settentrionale dello scavo. La villa rustica ha una tipica forma "ad U" caratterizzata su tre lati da una perimetrazione.

Il nucleo centrale è collocato ad est mentre nell'area occidentale si sviluppa un ampio cortile di 1200 mq (37x34 m ca.) delimitato a nord e a sud dalle ali dell'edificio larghe rispettivamente 11,3 e 10,2 m. Queste ultime sono caratterizzate da spazi adibiti allo stoccaggio dei prodotti agricoli e agli impianti produttivi, mentre il corpo centrale ospita la zona residenziale organizzata a sua volta intorno ad uno spazio rettangolare (8,20x15,90 m) e pavimentato.

Le strutture ritrovate presentano un'ampia varietà di tecniche che riflettono la diversa funzionalità dei vari settori e il dimensionamento degli spazi.

Ad esempio si è rilevato che le murature appartenenti alla parte residenziale hanno uno spessore ridotto (circa la metà) rispetto ai componenti murari rinvenuti nella parte rustica.

In questo caso le murature sono realizzate in materiale lapideo, ciottoli e scagli di pietra, o frammenti di laterizi legati con argilla.

Nelle ali laterali, destinate a funzioni produttive, gli ampi spazi sono delimitati da murature di spessore rilevante, circa 90cm realizzate in opus incertum, con ciottoli fluviali ed abbondante presenza di malta di buona qualità.<sup>5</sup>

Grazie al ritrovamento di ingenti crolli del manto di copertura è stato possibile ricostruire la struttura del tetto.

Si sa che la copertura era in coppi e tegole, molte delle quali presentavano il simbolo "L.Masae" che indicava l'artigiano che le aveva prodotte.

4: Elia, Meirano, La villa di Costigliole Saluzzo, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, p.57

5: Elia Meirano, Scavi dell'università di Torino a Costigliole Saluzzo, L'insediamento di età romana in località cimitero, p27-19

## 6.2 EVOLUZIONE STORICA DEL COMPLESSO

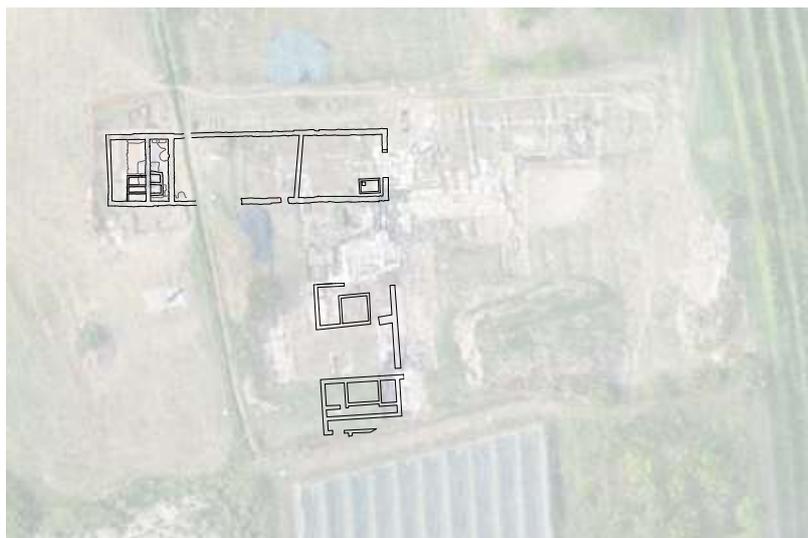
L'edificio è frutto dell'esito di una complessa successione di ampliamenti e ristrutturazioni.

L'edificio si strutturava su due corpi di fabbrica distinti posti frontali tra loro che si affacciavano su un ampio cortile comune.

Il nucleo settentrionale è composto dagli ambienti C, D, E, F, G che, sulla base degli studi, doveva comporre la pars rustica del complesso.

Il nucleo meridionale invece, composto dagli ambienti a, b, c, f, h, l, n, o avrebbe la funzione di pars urbana.

Questi ambienti appena elencati appartengono al primo periodo di sviluppo della villa quindi risalgono al periodo augusteo.<sup>1</sup>



Nella fase II, risalente alla seconda metà del I secolo d.C., il complesso fu interessato da una ristrutturazione che prevedeva l'espansione dell'ala settentrionale verso ovest, ambienti A e B e verso est, ambienti H1, H2, H3, I, I1, I2, I3, M, N1, N2, O, P nonché la fusione dei due nuclei originari.

Inoltre con la costruzione dell'ala meridionale, speculare all'ala settentrionale, l'edificio assunse un carattere unitario con uno schema a U.

In questa seconda fase è possibile individuare molte fasi intermedie che hanno apportato dei cambiamenti puntuali all'interno del complesso.

I ritrovamenti ceramici e alcuni reperti mobili permettono inoltre di definire in maniera maggiormente puntuale la vita e lo sviluppo di tale sito archeologico.

Nei livelli più antichi la ceramica a vernice nera è datata tra la seconda metà del I sec. a. C. e l'età tiberiana.

Ad essa segue il rinvenimento di ceramica sigillata italica, di produzione aretina e medio

<sup>1</sup>:Barra Bagnasco Elia, 2007, p. 277-280

Foto 1: I fase di evoluzione del complesso

italica e produzioni padane e tardo-padane che si distribuiscono tra il I e il III sec. d. C. E' scarsa la produzione di origine gallica, mentre nei livelli più recenti della villa compare la terra sigillata tarda regionale caratteristica del III sec. d. C.

Anche le attestazioni numismatiche si concentrano tra il I e il IV sec. d.C..

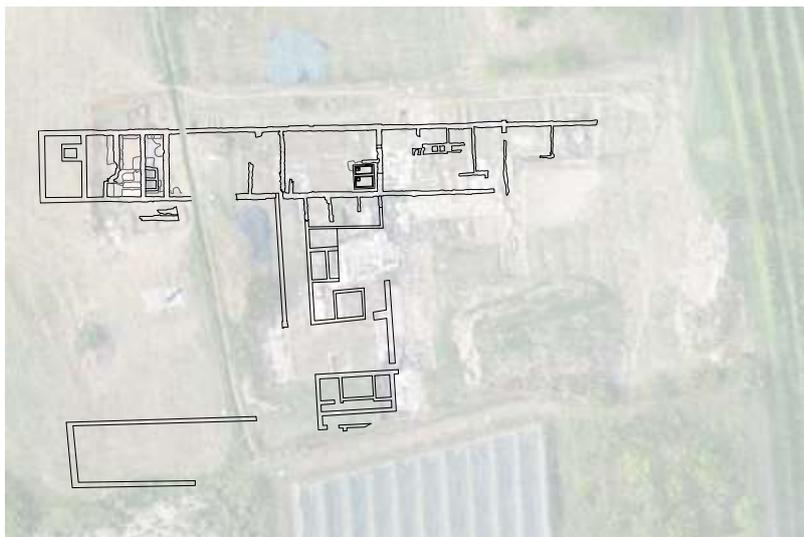


Foto 2:Il fase di evoluzione del complesso

italica e produzioni padane e tardo-padane che si distribuiscono tra il I e il III sec. d. C. E' scarsa la produzione di origine gallica, mentre nei livelli più recenti della villa compare la terra sigillata tarda regionale caratteristica del III sec. d. C.

Anche le attestazioni numismatiche si concentrano tra il I e il IV sec. d.C..<sup>2</sup>

2:Gambucci, 1995, pp 31-32, Volontè 1997, p434

Il complesso rimase in uso fino a III sec quando un violento incendio lo distrusse.

Le tracce a supporto di questa tesi sono particolarmente evidenti nella parte centrale del settore settentrionale.

Le ultime informazioni risalgono al IV-V sec.d.C, periodo in cui si pensa ci sia una rioccupazione parziale del complesso dopo alcuni decenni di abbandono.

In quest'ultima fase il complesso è già in uno stato di degrado avanzato, infatti è noto che le coperture erano ormai crollate e le pareti realizzate in materiale deperibile erano in gran parte dissolte.<sup>3</sup>

3:Elia Meirano,, 2012

## 6.3 LO SCAVO ARCHEOLOGICO

Nei primi anni 90, sotto la direzione della dottoressa Giulia Molli Boffa<sup>4</sup>, la Soprintendenza Archeologica del Piemonte effettuò alcune indagini su alcune aree limitate a Costigliole Saluzzo, in località Cimitero.

Le esplorazioni hanno portato alla luce tracce di epoca romana confermando la rilevanza geografica dell'insediamento, collocato strategicamente allo sbocco della pianura del Varaita all'incrocio tra il percorso vallivo e il collegamento transalpino.

Tra il 2003 e il 2005, sotto la nuova direzione della professoressa Marcella Barra Bagnasco sono riprese in maniera sistematica le ricerche nel sito<sup>5</sup>. Le successive esplorazioni dal 2007 fino al 2017 sono state effettuate dai professori Elia e Merano.

Grazie al supporto del comune e di alcuni enti locali è stato possibile rendere partecipi allo scavo anche gli studenti appartenenti al corso di Archeologia Antica dell'Università degli Studi di Torino.

L'ala settentrionale, come è già stato precedentemente esposto, era composta da una parte rustica, gli ambienti identificati con le lettere A, B, C, D, E, F, G e una pars urbana dagli spazi indicati con le lettere H1-2-3, I 1-2, M, N1, N2, O, P.



4: Molli Boffa 1996, p. 246, Molli Boffa 1998, p. 221-222, Molli Boffa 1999, p. 232, Molli Boffa 2000, p. 13-23

5: Barra Bagnasco, 2003, p. 33-42; Barra Bagnasco, 2005, p. 19-31; Barra Bagnasco Elia, 2007, p. 275-282

Fig. 3: Fasi di scavo nelle aree dalla F alla O da parte della cattedra di archeologia dell'Università degli Studi di Torino

Fig 4:Ortofoto con la pianta del complesso della villa romana di Costigliole Saluzzo



## AMBIENTI F-G

Nella parte rustica gli ambienti F e G si estendono per quasi 140mq e costituiscono le aree coperte più vaste del complesso

La progressione degli spazi continua con vani di grandi dimensioni con sviluppo in senso nord-sud.

Le murature, con uno spessore di 80-90cm hanno robuste fondamenta in opus incertum: presentano ciottoli accuratamente disposti con abbondante malta tenace nel lato settentrionale, rara in quello meridionale.

Il muro che separa questi due ambienti è stato sostituito, in una fase avanzata, da un'altra struttura di spessore ridotto collocata più a ovest.

Il vano F, con dimensioni di 9.60x14.05m, è stato indagato in maniera meno approfondita e riporta segni di una ripresa della frequentazione, in epoca tardo antica dopo l'abbandono della villa.

Inoltre questo spazio presenta una infrastruttura pirotecnica a pianta ovale.<sup>6</sup>

Sono stati rinvenuti crolli pertinenti alla copertura realizzata in tegole e coppi i cui componenti erano alternati a terreno di colore variabile, inoltre nella parte settentrionale dell'ambiente vi è una considerevole quantità di carboni, insieme a lembi di travi combuste della dimensione di 20x45cm appartenute probabilmente alla struttura lignea della copertura.

Il vano è stato oggetto di partizioni interne nei secoli, a seguito dell'erezione di un setto murario con andamento nord-sud non perfettamente ortogonale a quello perimetrale.

Questo muro presenta le pertinenze con altre strutture divisorie che fanno pensare a un'intervento unitario di sistemazione dell'area.

In questa parte dello scavo è stato rinvenuto un mattone crudo con dimensioni 30x20x10 che rappresenta un unicum nell'intero edificio.

Nell'area compresa tra i due muri di partizione, in base alla stratigrafia del terreno si può affermare che l'intero ambiente avesse un battuto interra come pavimentazione.

Anche nell'ambiente G sono stati individuati ingenti crolli e, l'analisi stratigrafica, ha individuato numerose tracce relative all'elevato di possibili strutture interne realizzate in opus craticium, cioè strutture con un telaio portante in legno e una tamponatura in opus incertum in argilla con dell'intonaco di rivestimento.

Tali tramezzi dovevano essere direttamente appoggiati al suolo visto che non sono stati rinvenuti zoccoli basali o fondazioni.

Centralmente al lato orientale dell'ambiente è stato identificato un ampio varco d'accesso, largo circa 4m: i setti murari nord e sud presentano ancora la testa regolarizzata con grandi scaglie di pietra, tale varco, in una fase successiva del complesso fu chiusa.

Nell'angolo sud orientale sono state individuate due vasche interrato affiancate profonde circa 50 cm.

Le pareti della prima, quella meridionale, sono rivestite in malta bianca mescolate a raro e minuto tritume di laterizi.

Il fondo è in cocciopesto omogeneo e coeso e presenta un pozzetto della profondità di circa 40cm.

<sup>6</sup>:Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p47-48

In entrambe le vasche sono presenti delle modanature in malta rosata con sezione a quarto di cerchio.

La vasca settentrionale ha delle caratteristiche analoghe alla prima ma mostra una minore accuratezza nella realizzazione.

La malta utilizzata per rivestire le pareti risulta più grossolana caratterizzata da un'elevata percentuale di tritume di laterizi e le modanature risultano di fattura più approssimativa. Entrambe le strutture delle vasche sono in laterizi uniti da tenace maltagiiallo-rosata.

Sulla base delle informazioni rilevate durante di scavi si può affermare che la vasca meridionale è quella costruita per prima, mentre la seconda in una fase avanzata dello sviluppo dell'insediamento.

La presenza di queste infrastrutture legate a pratiche artigianali e di lavorazione dei prodotti agricoli conferma l'estensione verso est della pars rustica che occupava parte dell'area settentrionale con l'impianto per la produzione vinicola.

#### AMBIENTI H1, I, L1, L2

Questi ambienti, edificati tutti nella seconda fase di sviluppo del complesso, presentano una conformazione sensibilmente diversa che si basa su ambienti di ridotte dimensioni separati da strutture edili con fondazioni superficiali.

L'area di forma leggermente trapezoidale ospita tre ambienti H1, L e L1 che presentano affinità e risultano accomunati da una pavimentazione in malta, segno di un probabile legame funzionale.

Tutta quest'area mostra notevoli danneggiamenti dovuti alla lavorazione dei campi e in molte zone si sono perse completamente le unità stratigrafiche, di conseguenza vi è stata una considerevole perdita di informazioni come le soglie che così ci impediscono di individuare le aperture e ricostruire i percorsi in questo settore.

I tramezzi interni, sulla base delle informazioni ritrovate, sono di spessore esiguo, circa 18-25cm, rispetto alla muratura perimetrale, presentano inoltre un utilizzo di tecniche povere con fondazioni superficiali e zoccoli in ciottolo o laterizi privi di malta.

A causa dell'intensa azione del fuoco, come è stato rinvenuto dai crolli, vi è stata la combustione di porzione delle pareti di argilla che presentano una superficie esterna liscia e internamente delle impronte parziali di canne utilizzate per un telaio.<sup>7</sup>

In base agli apprestamenti interni e i rapporti di quota tra i piani di calpestio sembra vi sia un ordine gerarchico.

L'ambiente H1, il più ampio, reca una pavimentazione in cocciopesto regolare con un motivo a crocette ravvicinate realizzate con minute tessere musive di colore bianco perimetralmente e al centro grigio che vanno a formare una sorta di reticolato a maglia quadrata;

Inoltre quest'ultimo è collocato a quota superiore rispetto agli altri.

Questa tipologia di decorazione nelle pavimentazioni è tipica delle domus urbane e applicazioni simili sono state rinvenute a Tortona, Alba, Aosta costruiti, tutti, intorno al I sec d.C

Nel caso invece di Costigliole non è possibile identificare un arco di tempo preciso, si sa solo che queste pavimentazioni, come tutta questa parte del complesso appartengono a

7: Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.49

un momento avanzato della seconda fase e rimangono in uso fino al III sec d.C.

La decorazione, che fa di questo pavimento uno dei più raffinati del complesso, potrebbe suggerire l'identificazione del vano H1 come un tridinium, cioè un'area predisposta per consumare i pasti sui letti triclinari<sup>8</sup>.

L'impiego, in tale vano, di decorazioni è confermato dalla presenza sulle pareti di lacerti di intonaco bianco conservato per pochi millimetri rispetto alla quota del piano pavimentale.

L'ambiente I è di dimensioni poco inferiori e presenta un pavimento in cocciopesto privo di decorazioni a una quota inferiore a quello dell'ambiente H1.

L'ambiente L1 è quello di dimensioni minori e risulta anch'esso pavimentato con un cementizio a base fittile ma in questo caso di mediocre qualità.

La quota risulta inferiore rispetto a quella precedente ambiente I di circa 6cm.

Originariamente il vano doveva aprirsi verso il grande ambiente H2 sull'intero lato meridionale ma solo in fase avanzata, in corrispondenza della realizzazione del pavimento in cocciopesto, furono infatti realizzati i muretti perimetrali verso est e verso sud risparmiando uno stretto spazio allungato, l'ambiente M, con la probabile funzione di corridoio di accesso all'area.

Contestualmente furono probabilmente realizzate le strutture che delimitano lo spazio di piccole dimensioni L2, la sua realizzazione sembra seguire i caratteri tipici della cucina, l'area preposta per la cottura dei cibi.<sup>9</sup>

### AMBIENTI H2, H3

Questa parte dell'edificio corrisponde all'ampia porzione dell'ala settentrionale posto a sud degli ambienti H1 e M.

Sono stati ritrovati ingenti segni dell'incendio che ha distrutto il complesso.

Si è individuata un'area, H3, caratterizzata da un'elevata concentrazione di strutture ravvicinate connesse all'uso del fuoco in cui sono stati riconosciuti gli apprestamenti relativi alla cucina.

Si possono identificare tre fasi differenti di ristrutturazione e ognuna presenta un focolare. La superficie del focolare usato precedentemente veniva foderata con frammenti di tegole disposti accuratamente in piano diventando un piano di appoggio sopraelevato; contemporaneamente fu allestito un nuovo focolare a ovest di dimensioni analoghe al precedente.

Il piano orizzontale destinato a ospitare le braci, si presenta rubefatto, liscio e ribassato, inquadrato a est ed a ovest da spallette accuratamente costruite in mattoni e rinforzata esternamente da ciottoli e lastre di pietra infissi nel terreno.

Nella parte restante dell'ambiente H2, come in molti altri, l'incendio ha causato estesi danni che rendono difficile una lettura chiara e quindi una possibile ricostruzione.

In questo caso però, grazie al rilievo in stratigrafia di resti bruciati di elementi mobili si può asserire che questo ambiente aveva la funzione di deposito di generi alimentari.

8: Mollo Mezzena, 1985, p.124, fig 68, amb.6; Eadem 2004, p 10-11

9: Eia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.50-51

Inoltre, l'elevata quantità di oggetti rinvenuti, in netto contrasto con quello ritrovato in altre aree del complesso, costituisce un chiaro indizio del fatto che, mentre in altre aree la tempistica dell'abbandono permise asportare una parte cospicua delle suppellettili, in quest'area lo sviluppo dell'incendio fu repentino e violento tanto da non lasciare il tempo per recuperare gli oggetti neanche quelli più preziosi come le monete.<sup>10</sup>

Tale indizi, unitamente alla diffusione areale delle tracce d'incendio, lasciano supporre che quest'ultimo abbia avuto origine proprio in quest'area nel corso della seconda metà dei III sec d.C, verosimilmente nell'ultimo quarto.

In entrambi gli spazi sono stati rinvenute pavimentazioni in terra battuta circa 40cm più basse degli ambienti precedentemente trattati.<sup>11</sup>

#### AMBIENTI N1, N2, O, P

La parte più orientale della villa è quella dove le operazioni di scavo sono giunte solo nelle ultime due campagne di scavo quindi non è ancora possibile definire con precisione la planimetria degli ambienti.

Limitando l'analisi all'ultima fase di vita della villa occorre segnalare nella fascia settentrionale il piccolo cortile interno N1, intorno al quale si dispongono i corridoi M e vano H2 citati già in precedenza.

La natura ipetrale del vano N1 è desumibile dall'altezza delle tracce di copertura pesante nonché dalla presenza di una fossa rivestita con mattoni posti accuratamente di taglio a creare una sorta di opus spicatum privo di malta.

Questo cortiletto, in origine era aperto verso nord, attraverso un varco largo 4m lungo il muro perimetrale settentrionale dell'edificio fiancheggiato da due ante; in una fase avanzata è stato poi tamponato.

Anche in questo caso abbiamo pavimentazioni in terra battuta.

Procedendo verso est vi era poi l'ambiente O che risulta essere stato fatto solo in una avanzata fase dell'edificio con un'articolazione degli spazi mantenuta poi fino all'abbandono testimoniato dai livelli di crollo.

Troviamo poi l'ambiente P che rappresenta l'attuale limite di avanzamento degli scavi; dai ritrovamenti si pensa a un ambiente coperto con una copertura in paglia che sia priva su uno spazio scoperto, caratterizzato per circa sei metri in direzione est-ovest da una gettata di ghiaia e piccoli ciottoli immersi in terreno argilloso che potrebbe essere o un cortile oppure la sede di una via glareata.

Tra gli interventi di risistemazione esterna dell'edificio si rilevano pavimentazioni simili a nord del vano O e proseguono oltre il margine settentrionale dello scavo, caratterizzati da lunghezza costante.<sup>12</sup>

#### AMBIENTI m, s, t, u

Questi ambienti sono posti a sud dell'ala settentrionale della villa e al muro perimetrale dell'ambiente G.

Questo nudo è composto dal cortile i e da una serie di vani disposti in modo paratattico serviti da corridoi retrostanti<sup>13</sup>.

L'area indagata presenta una planimetria molto articolata con una disposizione in parte

10:Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.53

11:Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.54

12:Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.56-57

13: Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.58

simile a quella già nota più a sud.

Lungo il muro perimetrale meridionale dell'ala nord si è confermata la presenza di una serie di vani accostati s, t, u, suddivisi da muretti di spessore esiguo con zoccolo in frammenti di laterizi, caratterizzati da pavimenti in terra battuta.

Questi ambienti si affacciano su uno spazio privo di copertura, una sorta di cortile allungato a forma rettangolare.

Il lato sud ha rivelato la presenza di altri tre ambienti, due dei quali p e q erano dotati di una copertura pesante, mentre riguardo al terzo v non è possibile ancora fare ipotesi.

La situazione stratigrafica permette di far risalire questa parte di villa al III sec d.C.<sup>14</sup>

Collocati a est vi sono stati dei ritrovamenti di un ingente crollo a conferma della prosecuzione dell'edificio in questa direzione.

Anche a sud sono stati rinvenuti ulteriori resti di una parte residenziale dell'edificio composta da due nuclei, ciascuno composto da tre vani e da un corridoio arretrato, per lo più pavimenti con minuto pietrisco bianco e sono gli ambienti a, b, c serviti dal corridoio f e h, l, m serviti dal corridoio o.

Questi ambienti si affacciano su un cortile interni, l'ambiente i, anch'esso pavimentato con pietrisco compatto, decorato da una fascia a mosaico in piccole tessere grigie sviluppata su tre lati.<sup>15</sup>

Si pensa che questa parte centrale del complesso avesse funzione di taverna e riparo per i viandanti, in supporto di questa tesi abbiamo la vicina ala meridionale di cui si pensa che la funzione fosse quella di deposito per i carri e le merci che transitavano o comunque predisposta all'utenza della taverna.

14:Elia, Merirano, La villa di Costigliole Saluzzo (CN). Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, Orizzonti, 2012, p.54

15:Elia, Merirano, Russo, Inseediamento di età romana. Interventi di scavo e di restauro: campagna 2012 dell'Università degli Studi di Torino, p.221

## 6.4 RICOSTRUZIONE VOLUMETRICA DEL COMPLESSO TRAMITE L'HBIM

L'ultima fase che compone questo elaborato tratta una possibile ricostruzione volumetrica del complesso attraverso l'utilizzo dell' HBIM.

Questa elaborazione si è basata sui dati di scavo stratigrafico ottenuti dalle campagne dell'Università degli Studi di Torino e del rilievo mediante metodologie reality based realizzato dal laboratorio di Geomatica per i beni culturali.

La prima fase di questo elaborato è stata strutturata sull'analisi e la discretizzazione di tutte le famiglie di elementi che compongono l'edificio.

Esse sono:

- definizione dei locali
- pavimentazioni
- apparati murari
- coperture

### 6.4.1 DEFINIZIONE DEI LOCALI

Prendendo in esame l'area della Cisalpina occidentale, lo schema planimetrico a U che la villa presenta trova solo vaghi e approssimativi confronti tra gli edifici rurali.

Sono noti infatti impianti con caratteristiche simili nei quali i vani si dispongono attorno a un cortile centrale ma con un'organicità più limitata senza il rispetto del rigoroso geometrismo ortogonale che caratterizza il complesso costiglionense e gli impianti diffusi nella x Regio.

L'area interessata dal complesso nella sua fase di massimo sviluppo si articola su una serie di ambienti basati sulla loro destinazione d'uso: pars urbana, pars rustica e taverna.

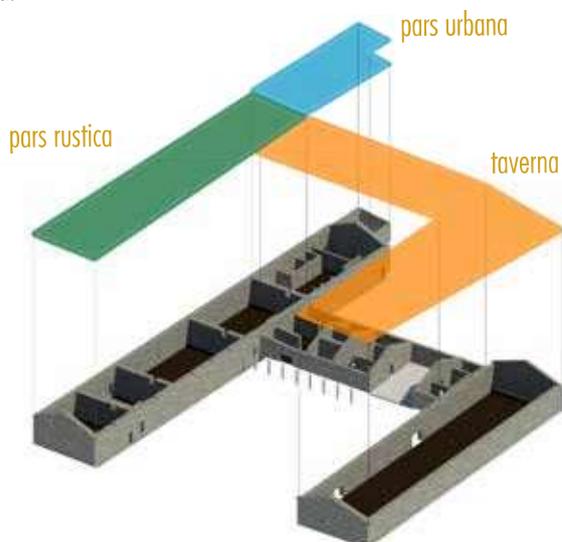


Fig 5: Divisione degli ambienti nelle tre aree che compongono la villa

La pars rustica è l'ambiente di maggiori dimensioni e con migliore fattura dell'apparato murario.

Si sviluppa in direzione est-ovest per 78 m e presenta un impianto per la trasformazione e stoccaggio dei prodotti locali.

È composto da 4 ambienti distinti tra cui l'area per la produzione del vino e lo spazio di maggiore estensione della villa con finalità di deposito.

L'analisi della stratigrafia ha rivelato la presenza in tutta questa parte di villa di un plancito ligneo sempre con funzione di deposito per le merci non stoccabili a contatto con il terreno per problematiche legate al loro deperimento.

Non è stato possibile individuare gli accessi a questa area sopraelevata, come quelli al piano terreno della villa a causa delle condizioni in cui versano i ritrovamenti.

L'individuazione da parte degli archeologi di buche da palo nella parte est dell'ambiente C oltre la sua conformazione spaziale potrebbero far pensare alla preesistenza di una scala in legno che potrebbe permettere l'accesso al piano superiore.



Fig. 6: Divisione dei singoli ambienti della pars rustica

La pars urbana costituisce il corpo dell'edificio costruito nel periodo più tardo e presenta 5 ambienti separati.

Quest'area dell'insediamento veniva usata come spazio residenziale.

Le informazioni in merito sono scarse perché si pensa che sia scoppiato in questo ambiente l'incendio che ha causato l'abbandono dell'insediamento quindi è qui che il rogo ha causato i danni maggiori.

Nell'ambiente H sono stati ritrovati dei focolari che farebbero presupporre la presenza di un'area di preparazione delle vivande da consumare nel vicino spazio H1 presumibilmente occupato da una sala con dei triclini.

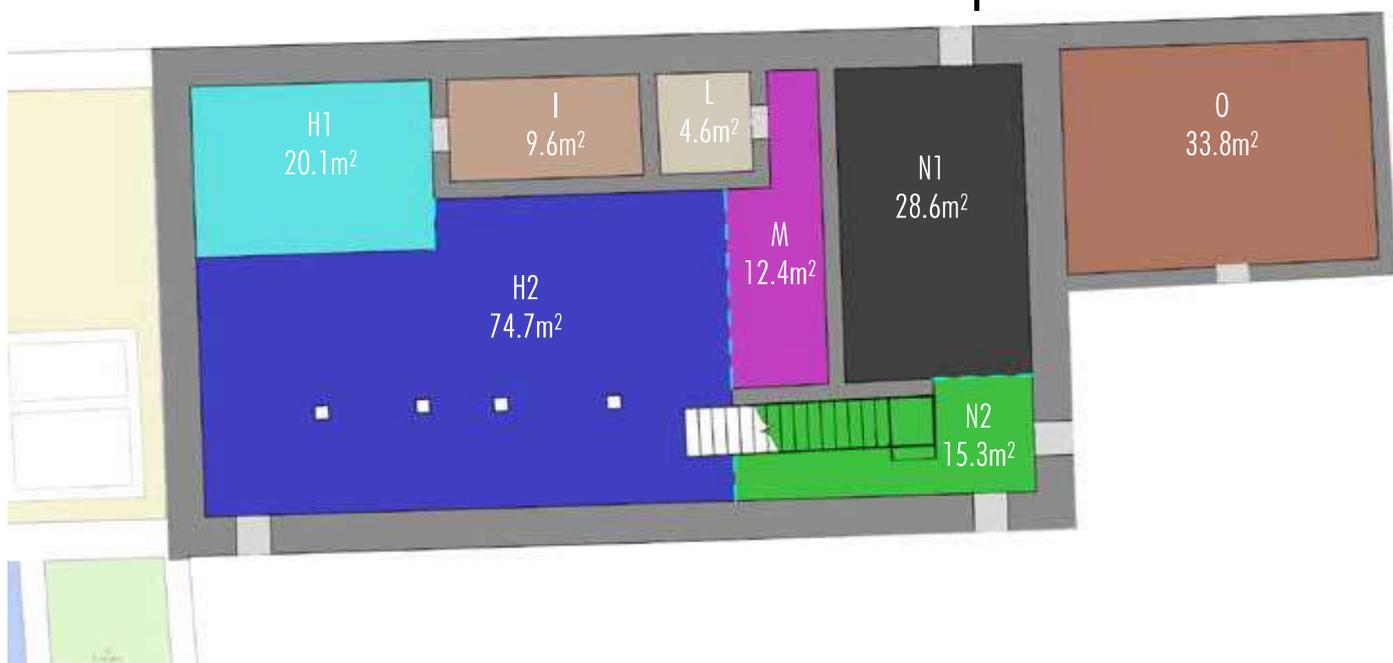


Fig. 7: Divisione dei singoli ambienti della pars urbana

Il corpo centrale dell'insediamento, l'unico con orientamento nord-sud, si pensa servisse per l'accoglienza e il riposo dei viaggiatori.

Gli spazi di questa area si articolano attorno a un cortile scoperto posto in posizione defilata e con ampio accesso diretto all'angolo sud-orientale della grande corte, aperta verso il tracciato della via che passava immediatamente a ovest della villa.

In particolare questo settore presenterebbe una sorta di autonomia planimetrica e funzionale.

I vani infatti sono affiancati paratatticamente sui lati a settentrione e a meridione mentre i singoli accessi sono in stretta relazione con i corridoi retrostanti.



Fig. 8: Divisione dei singoli ambienti dell'area per l'accoglienza dei viandanti

## 6.4.2 PAVIMENTAZIONI

All'interno della villa possiamo distinguere 7 tipi differenti di pavimentazioni che differiscono sia da un punto di vista materico che dei livelli di posa.

**TIPOLOGIA 1:** Questa tipologia è quella che si trova maggiormente all'interno della villa e si compone da un battuto in terra.

Gli ambienti che presentano quella tipologia di pavimentazione sono gli ambienti legati alla parte rustica della villa quindi legata all'aspetto lavorativo e a un'utenza di ceto medio basso oltre che aspetti puramente funzionali.

**TIPOLOGIA 2:** Si tratta di una sistemazione in cocchiopesto piuttosto regolare con un motivo a crocette ravvicinate realizzate con minute tessere musive di colore bianco, al centro, grigio: esse sono disposte su file parallele in modo da formare un reticolato a maglia quadrata.

Lungo le file esterne, sui lati ovest e nord, lo spazio è occupato da tre tessere bianche allineate con il centro delle crocette in modo da creare una cornice: la decorazione fa di questo pavimento il più raffinato del complesso.

Sulla base delle unità stratigrafiche è stato possibile ricostruire una possibile stratigrafia che si componeva di uno strato di cocchiopesto direttamente a contatto con il terreno e uno di malta con presenza di frantume di laterizio piuttosto grossolano.

La pavimentazione, presente solo nell'ambiente H1, risulta in gran parte danneggiata a causa dei processi di lavorazione del terreno legati all'agricoltura, ma vi sono altri motivi decorativi della stessa tipologia attestati in area Piemontese e valdostana sempre in domus urbane.

L'impiego profuso nella decorazione della pavimentazione e dell'apparato murario che presenta dello stucco in alcune sue parti, fa pensare a un triclinium, cioè ad uno spazio per consumare i pasti distesi su dei letti triclinari da un'utenza di ceto benestante come potevano essere i proprietari della villa.

Da notare anche la quota di posa della pavimentazione rialzata rispetto agli ambienti limitrofi che serve proprio a rimarcare la posizione sociale di chi utilizzava questo ambiente.

A Costigliole Saluzzo è molto difficile stimare l'arco temporale di utilizzo, sicuramente posato in un momento avanzato della seconda fase dello sviluppo dell'insediamento ed è stato utilizzato sino al III sec d.C.<sup>16</sup>

**TIPOLOGIA 3:** Questa tipologia di pavimentazione è in cocchiopesto privo di decorazioni. Esso si presenta nell'ambiente immediatamente a est del precedentemente trattato e risulta a una quota inferiore di circa 30cm

**TIPOLOGIA 4:** Presenta una superficie in materiale cementizio a base fittile, di mediocre qualità, caratterizzato da una minima quantità di malta che si conserva con concentra-

<sup>16</sup>:Elia Meirano, La villa di Costigliole Saluzzo, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, articolo Orizzonti, 2012, p.50

zione variabile, mentre il frantume di laterizio risulta grossolano. Anche in questo caso abbiamo una diversa quota di posa che varia dall'ambiente attiguo di circa -7cm.<sup>17</sup>

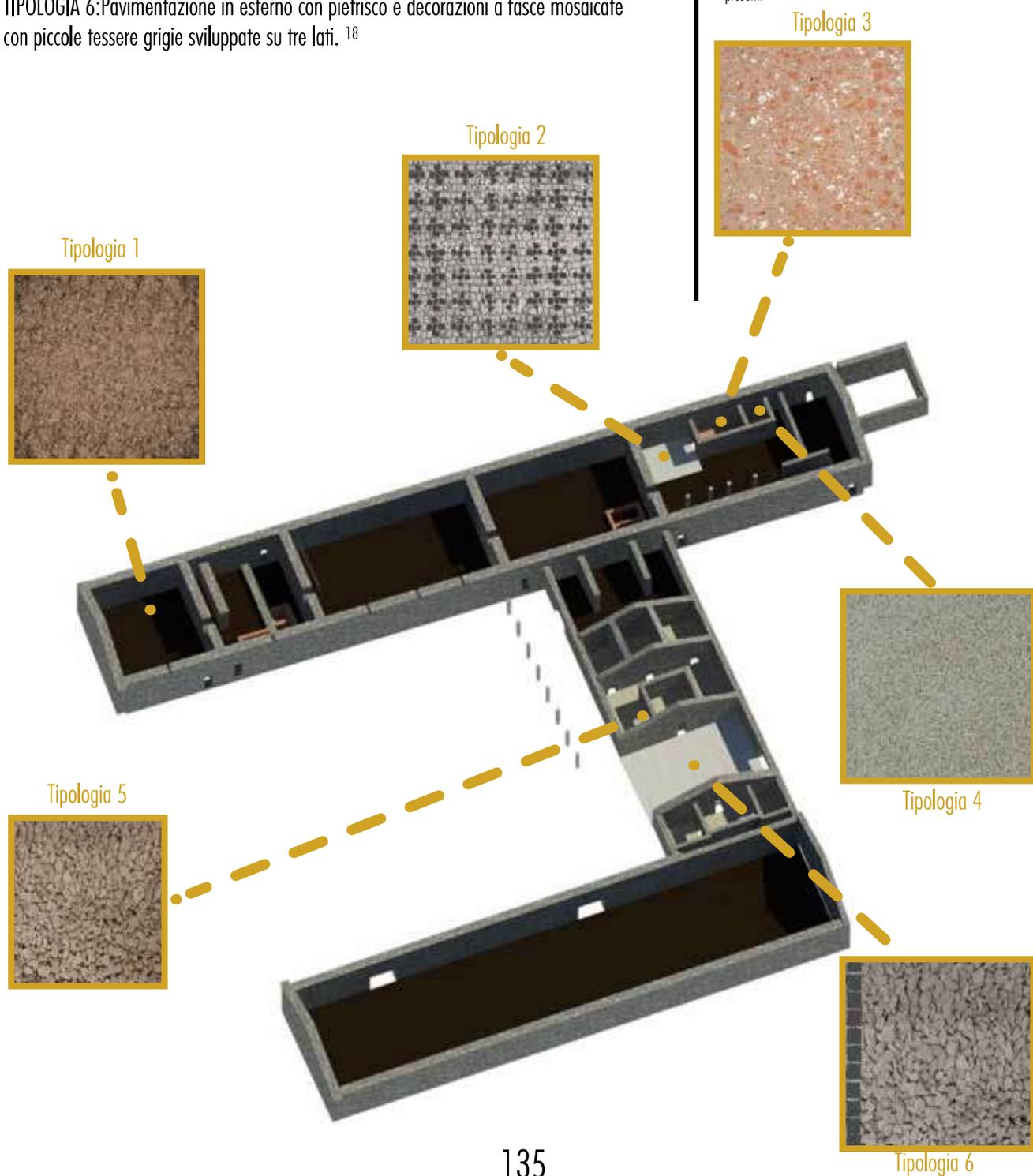
**TIPOLOGIA 5:** Pavimentazione in pietrisco bianco

**TIPOLOGIA 6:** Pavimentazione in esterno con pietrisco e decorazioni a fasce mosaicate con piccole tessere grigie sviluppate su tre lati.<sup>18</sup>

17: Elia Meirano, La villa di Costigliole Saluzzo, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, articolo Orizzonti, 2012, p.51

18: Elia Meirano, Scavi dell'università di Torino a Costigliole Saluzzo, l'insediamento di età romana in località cimitero, Bollettino della società piemontese di archeologia e belle arti, p.29

Fig. 9: Schematizzazione delle varie tipologie di pavimentazioni presenti



### 6.4.3 CLASSIFICAZIONE DELLE MURATURE

Il metodo di classificazione applicato in questo caso studio risulta essere tipologico, perché l'analisi condotta ha considerato le murature da un punto di vista materico, costruttivo, distributivo e temporale, senza tuttavia eseguire una particolare analisi stratigrafica del manufatto.

Le murature del complesso, come riportato nel capitolo 6.3, possono tutte ricondursi alla famiglia delle tecniche costruttive litiche e quelle in cui vengono usati materiali deperibili.

Nel caso delle litiche l'apparato murario veniva apparecchiato seguendo il modello dell'opus incertum.<sup>19</sup>

Questo, tipico dell'architettura romana del I sec d.C, si basa sull'utilizzo di pietre con forma irregolare con faccia in vista più o meno piana e con l'aggiunta di elementi di minori dimensioni legati con una gettata di malta liquida.

Le strutture murarie realizzate in pietra, tanto in fondazione quanto nello zoccolo, costituiscono, nell'area meridionale del Piemonte, una tipologia costruttiva molto utilizzata soprattutto in ambito alpino e subalpino, meno usate sono invece nelle aree di pianura. In queste zone l'impiego su larga scala, anche in costruzioni risalenti all'epoca imperiale, dei materiali lapidei, spesso messi in opera a secco affidandosi quindi solamente al naturale incastro degli elementi, costituisce un segno di marcata continuità con le tecniche edificatorie di uso locale risalenti alla seconda età del Ferro, epoca in cui si era già sviluppato un efficace adattamento alle condizioni ambientali del territorio da parte dell'attività costruttiva.

Per ciò che riguarda il materiale lapideo impiegato nell'edilizia rurale il più presente è il ciottolo.

Il suo impiego è strettamente legato alle caratteristiche ambientali e naturali proprie dell'area di edificazione soprattutto alla presenza di corsi d'acqua di una certa rilevanza che permettono di avere grandi quantità di materiale facilmente recuperabile dalle sponde.

Nel caso specifico di Costigliole Saluzzo il fiume Varaita, che scorre a poca distanza dalla villa, costituisce la fonte di tutto il materiale lapideo impiegato.

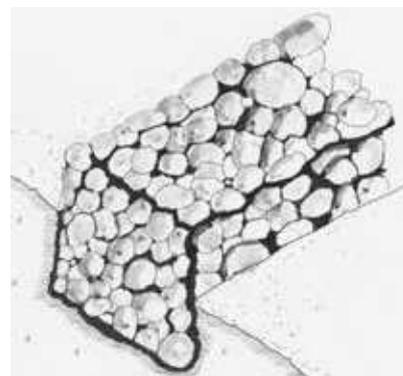
Solitamente il ciottolo non veniva trattato o lavora preliminarmente, era utilizzato intero.

Il legante solitamente utilizzato in questa tipologia di muratura è la malta di calce, utilizzata dai romani già dal III sec a.C., che presenta ottima resistenza ed efficienza nel stabilizzare la struttura.<sup>20</sup>

All'interno della muratura la troviamo in grandi quantità negli alzati, meno nelle fondazioni per evidenti motivi di tenuta statica dell'insieme.

Altra caratteristica significativa delle murature lapidee dell'area rurale alpina/padana

19: Bacchetta, Edilizia rurale romana. Materiali e tecniche costruttive nella Pianura Padana (II sec a.C-IV sec d.C), All'insegna del Giglio



20: Elia Meirano, Scavi dell'università di Torino a Costigliole Saluzzo (Cn): L'insediamento di età romana in località cimitero

è che nelle murature dei complessi edilizi non si rileva distinzione tra nucleo della muratura e paramento esterno.

In questi casi abbiamo la superficie a vista della parete costituita da una doppia cortina realizzata con materiali di medio-grandi dimensioni e con forma regolare, posti in opera in maniera particolarmente precisa e accurata con finalità di contenimento dei pezzi collocati ordinatamente nell'intercapedine.

Questa caratteristica può essere considerata come consuetudine edificatoria legata alla componente funzionale dell'oggetto più che del suo fattore estetico con influenze portate dall'edilizia antica.<sup>21</sup>

Analizzando l'insediamento abbiamo individuato 4 tipologie differenti di muratura:

Tipologia 1: Muro perimetrale con spessore rilevato che va dagli 80cm ai 90cm.

L'intero apparato è formato da ciottoli fluviali con diametro costante impiegati sia nell'apparato di fondazione, sia nell'alzato.

In altri casi documentati i contesti edilizi rurali presentavano solamente le fondazioni in materiale lapideo per assicurarne la solidità ma a livello di alzati si ipotizza l'impiego di materiali leggeri e deperibili, messi in opera secondo tecniche e modalità differenziate, in base alla pratica costruttiva ricorrente nell'edilizia del luogo.

La scelta costruttiva applicata al caso di Costigliole può essere ricondotta a delle problematiche progettuali riguardanti la luce del corpo centrale, con una sezione di 9.5m, che quindi necessitava di murature importanti per reggere il peso del soppalco e della copertura.

È stato rilevato inoltre, un'abbondante utilizzo di malta

Tutte queste informazioni evidenziano l'importanza di questa parte della villa perché era l'area predisposta allo stoccaggio e alla trasformazione dei prodotti locali, punto vitale attorno al quale ruotava l'economia dell'insediamento.

Tipologia 2: Tramezzo con facce a vista costituite da grandi ciottoli non lavorati con riempimento nell'intercapedine di materiale laterizio.

La struttura presenta del pietrame di varia natura disposto in maniera regolare, generalmente su corsi ad andamento approssimativamente orizzontale in faccia a vista; la parte interna del muro invece ha un funzionamento a sacco composto da materiale di varia natura, generalmente lapideo con frammenti di laterizi di recupero annegati nella malta.

Tutti gli elementi appartenenti a questa tipologia sono stati edificati in una fase avanzata di sviluppo dell'insediamento e sono il segno di come la romanizzazione ha modificato le popolazioni assoggettate sotto ogni punto di vista, da quello culturale fino alle tecniche costruttive.

Inoltre rappresenta un'interessante sfruttamento dell'ambiente naturale atto a utilizzare al meglio tutte le risorse disponibili sul territorio in cui si operava, attraverso l'impiego

21: Bacchetta, Edilizia rurale romana Materiali e tecniche costruttive nella Pianura Padana (II sec a.C-IV sec d.C.), All'insegna del Giglio, p.81-85

sia dell'argilla proveniente dagli abbondanti depositi naturali sia del materiale lapideo.<sup>22</sup>

Tipologia 3: Tramezzo interno di ridotto spessore, dai 18cm ai 25cm, in opus incertum con fondazioni poco profonde e zoccoli in materiale laterizio privo di malta. Questa tipologia muraria è solo presente in alcuni spazi interni della pars urbana. Il ridotto spessore è segno di una minore importanza dell'ambiente oltre che una fase più tardiva di costruzione.

Tipologia 4: Questa tipologia si discosta dalle altre precedentemente esposte perché non rientra né nelle murature perimetrali e portanti, né nei tramezzi. Infatti nella parte rustica sono presenti 4 differenti vasche, 2 nella parte vinicola e due nell'ambiente F. La muratura di queste vasche è composta da malta mescolata a raro e minuto tritume di laterizi che presenta una grande maestria costruttiva.

Tipologia 5: Sulla base dei ritrovamenti stratigrafici effettuati dagli archeologi, soprattutto nell'ambiente della parte urbana, sono emerse tracce di alcuni paramenti murari in materiale deperibile.

Questa tipologia presenta una struttura lignea composta da elementi verticali piantati nel terreno, che quindi non necessitavano di fondamenta, consolidati da elementi orizzontali e obliqui.

Questa solida intelaiatura costituisce lo scheletro dell'impianto parietale, a cui è affidata la tenuta statica dell'insieme, dal momento che, solo lo scheletro risulta sottoposto alle sollecitazioni strutturali.

La struttura in questa maniera è autoportante.<sup>23</sup>

Gli spazi lasciati dalla struttura vengono a loro volta tamponati con procedimenti che possono essere messi in atto tramite una certa varietà di soluzioni differenti, condizionate dalla disponibilità di materiale, ma anche funzionale.

Nel nostro caso, sulla base di alcuni resti di argilla recanti segni di incanniccato gli archeologi hanno dedotto che le tamponature potevano essere in canne intrecciate con uno strato esterno in argilla.

22: Bacchetta, Edilizia rurale romana *Materiali e tecniche costruttive nella Pianura Padana* (II sec. a.C-IV sec. d.C.), All'insegna del Giglio, p.95

23: Elia Meirano, *La villa di Costigliole Saluzzo*, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, p.52

TIPOLOGIA 3

TIPOLOGIA 2

TIPOLOGIA 1

TIPOLOGIA 3

TIPOLOGIA 2

TIPOLOGIA 1

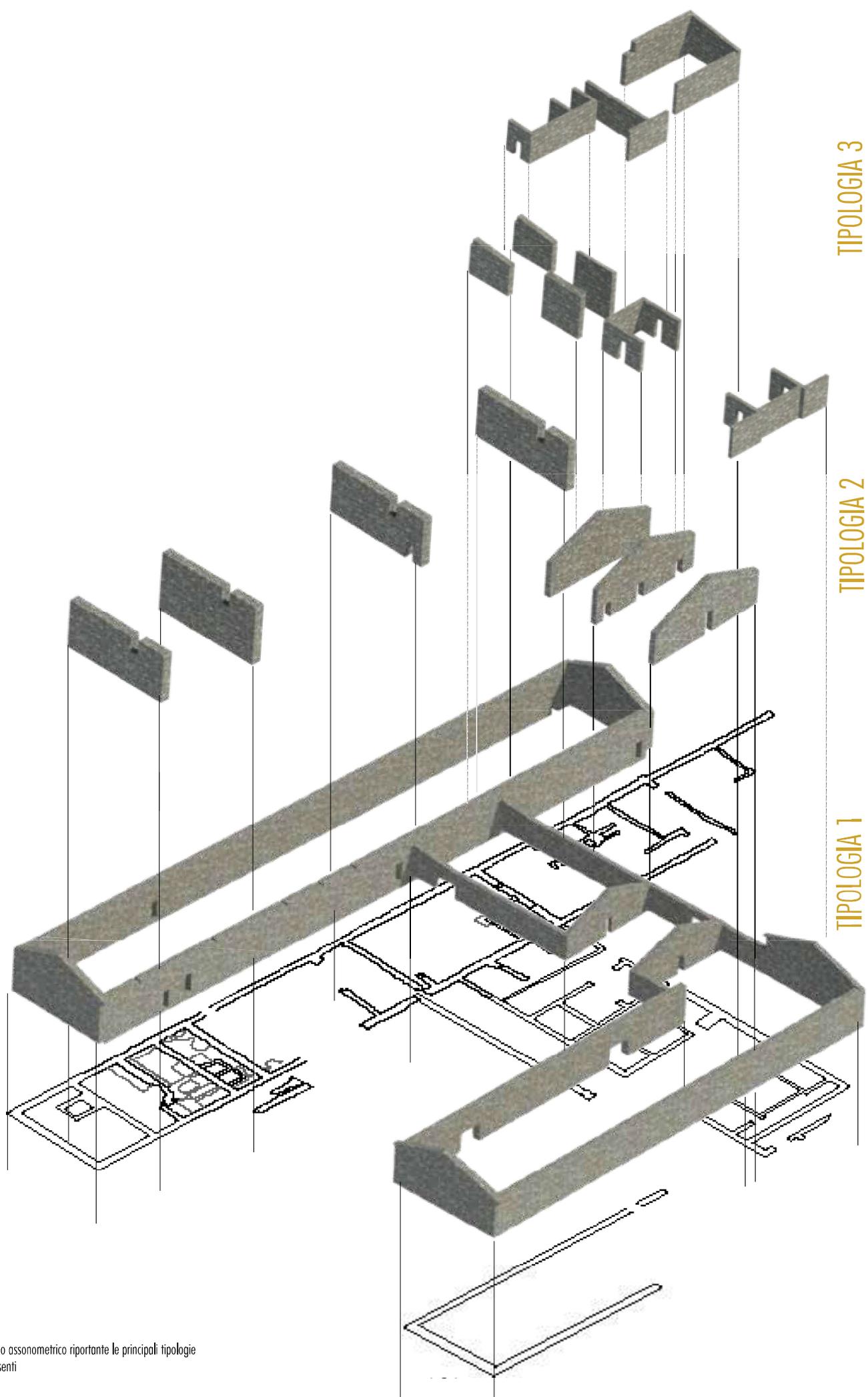


Fig. 10: Esploso assometrico riportante le principali tipologie di muratura pesanti

#### 6.4.4 COPERTURE

La causa principale dell'abbandono della villa, come abbiamo precedentemente visto, è da imputarsi a un grande incendio.

Questo fenomeno ha anche reso molto difficile ritrovare reperti lignei quali la struttura portante della copertura.

Le uniche informazioni che si hanno, esclusi alcuni ritrovamenti sporadici, sono frutto di una lettura ad ampia scala delle tecniche costruttive romane nell'area Cispadana di altri siti archeologici presenti nell'area.

La tecnica utilizzata per realizzare la copertura della villa consiste in un tetto a due falde con una struttura lignea che trasmettere il grande peso della copertura realizzata in coppi e tegole per mezzo di capriate.

L'origine di questa tipologia di copertura si fa risalire alle popolazioni etrusche che, come si è già visto all'interno del capitolo 3.4, erano presenti nell'area per motivi legati al commercio prima che sopraggiungesse la popolazione dei Bagenni.<sup>24</sup>

La struttura di questa copertura si basa sulla capriata della quale si hanno attestazioni di un utilizzo arcaico sin dal periodo pre-romano con uno sviluppo tecnologico nel periodo romano per la copertura di edifici di grande luce portandola ad avere la forma triangolare come viene utilizzata ancora oggi.

Una testimonianza scritta di questa tecnologia deriva dal "De Architettura" di Vitruvio che gli dedica alcune parti del suo manoscritto.

Il Rondelet, nel suo "Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare", a proposito delle armature dei tetti, introduce tre modelli di capriate: semplice a triangolo, con controcatena e a monaco con contraffissi per spiegare l'evoluzione in relazione alla luce da coprire.

Rondella inoltre, pur non avanzando ipotesi sull'evoluzione delle capriate lignee, fa chiari riferimenti all'esistenza di queste nel periodo romano quando cita coperture quali il tetto di Santa Sabina a Roma e San Pietro e San Paolo fuori le mura.<sup>25</sup>

Nel nostro caso, sulle base delle informazioni a nostra disposizione, per la fase ricostruttiva del complesso abbiamo adottato una capriata triangolare lignea con monaco collegato alla catena caratterizzata da elementi a sezione circolare di diametro pari a 20cm.<sup>26</sup>

Per quanto riguarda lo strato laterizio di copertura l'incendio ha causato problematiche minori e sono state trovate molte tegole con ala e coppi frantumati sul battuto che in alcuni casi ha permesso la ricostruzione integrale.

Sulla base di questi ritrovamenti sappiamo che le tegole avevano erano rettangolari di lato 1x0.5m.

E' stato possibile, attraverso la ricostruzione di alcune di esse, risalire al bollo del produttore noto già nell'area di Cervignasco.

Per tegola, o embrice si identifica l'elemento piano di copertura del tetto, dotato di margini longitudinali rilevati.

24:Paolucci, Gli etruschi, abitazioni e vita quotidiana, AMAT

25:Placido Munafò, Le capriate lignee antiche per i tetti a bassa pendenza, Alinea Editrice, 2002, p.13-19

26:Elia Meirano, La villa di Castigliole Saluzzo, Contributo alla romanizzazione del territorio piemontese in età romana, p.47

Dal punto di vista di posa in opera le tegole vengono disposte sul tetto per file parallele, parzialmente sovrapposte per evitare l'intrusione e la risalita dell'acqua piovana con un coppo in sovrapposizione alla parte rilevata tra due embri.

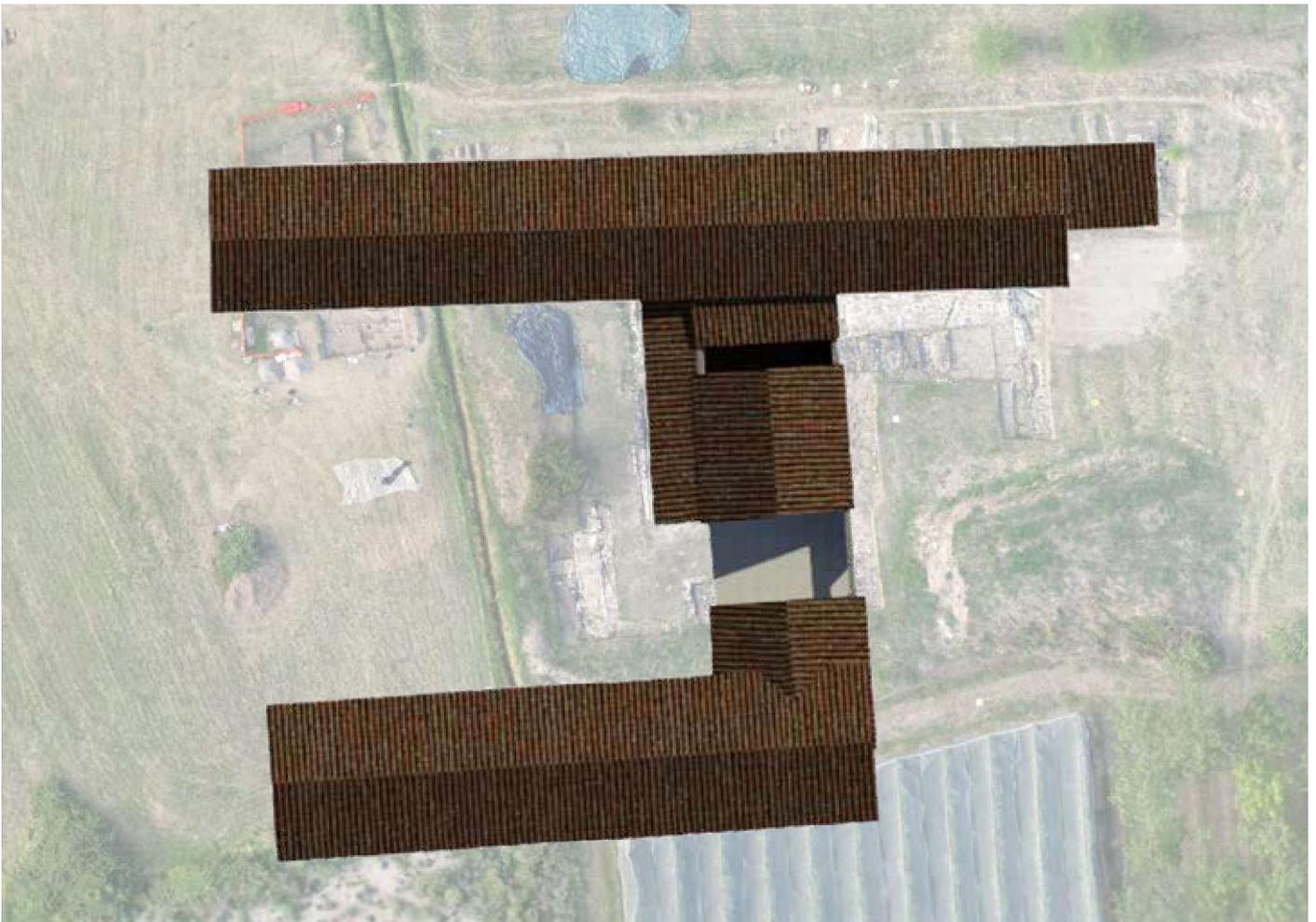


Fig. 11: Pianta delle coperture su ortofoto ottenuta fotogrammetria aerea

#### 6.4.5 ELABORAZIONE SPAZIALE DEL COMPLESSO

Terminata questa prima fase prettamente analitica di tutti gli elementi edilizi che compongono la villa si è notato che a causa dello stato di degrado del sito vi erano alcune lacune legate ad elementi fondamentali dell'edificio quali, ad esempio, le aperture.

Si è reso quindi necessario il confronto con altri edifici documentati. In particolare si è considerata la villa di Cavalaire, Var in Francia e il complesso vinicolo di Brauneberg in Germania.

La villa di Cavalaire presenta similitudini da un punto di vista formale e organizzativo del complesso oltre che uno sviluppo storico simile a quello della villa di Costigliole. La sua fondazione si ritiene legata alle legioni romane augustee che, dopo la "Pax Romana" furono smobilitate.

I legionari ricevettero in cambio del loro servizio il titolo di cittadino romano e delle terre a loro disposizione.

La villa si articola su un'ala dedicata alla produzione e allo stoccaggio del vino che compone la pars rustica di età augustea e un articolato insieme di spazi riccamente decorati che compone la pars urbana costruita in una seconda fase di sviluppo del complesso.

Si è anche ritrovato uno spazio dedicato alla produzione della anfore Dressel dentro le quali veniva stoccato il vino per essere trasportato.

La pars rustica si componeva in una manica composta da due spazi, uno di minori dimensioni dove vi era lo spazio per la pigiatura dell'uva e la fermentazione del mosto e uno che ricopriva il ruolo di cantina.

La pars urbana invece era lussureggiante, presentava due terme e un portico che permetteva l'accesso al complesso.

Un incendio all'inizio del V secolo segnò un primo abbandono che si alternò a fasi di riutilizzo sino al VI sec d.C. periodo in cui cadde in completo stato di abbandono.

Il complesso vinicolo di Brauneberg invece è collocato in Germania, nell'area del Reno. Risale al IV sec d.C. ed è composta da due edifici di forma rettangolare con una lunghezza di 40m e una profondità di manica di 9m posti specularmente rispetto a una strada che vi passa in mezzo.

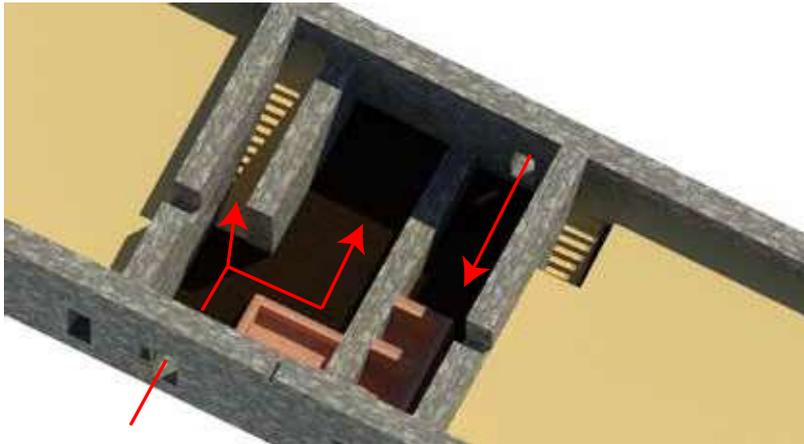
L'ala orientale presenta una cantina e un torchio a leva collegato a due vasche con capacità ciascuna di 12hl.

Le similitudini tra questo complesso e quello costigliolese non sono tanto legate alla struttura dell'edificio, ma piuttosto al complesso vinicolo che, secondo gli archeologi, doveva avere lo stesso funzionamento.

Sulla base dei dati raccolti da queste due ville è stato possibile prendere posizione riguardo ad alcuni tratti del complesso di Costigliole che il tempo ha distutto.

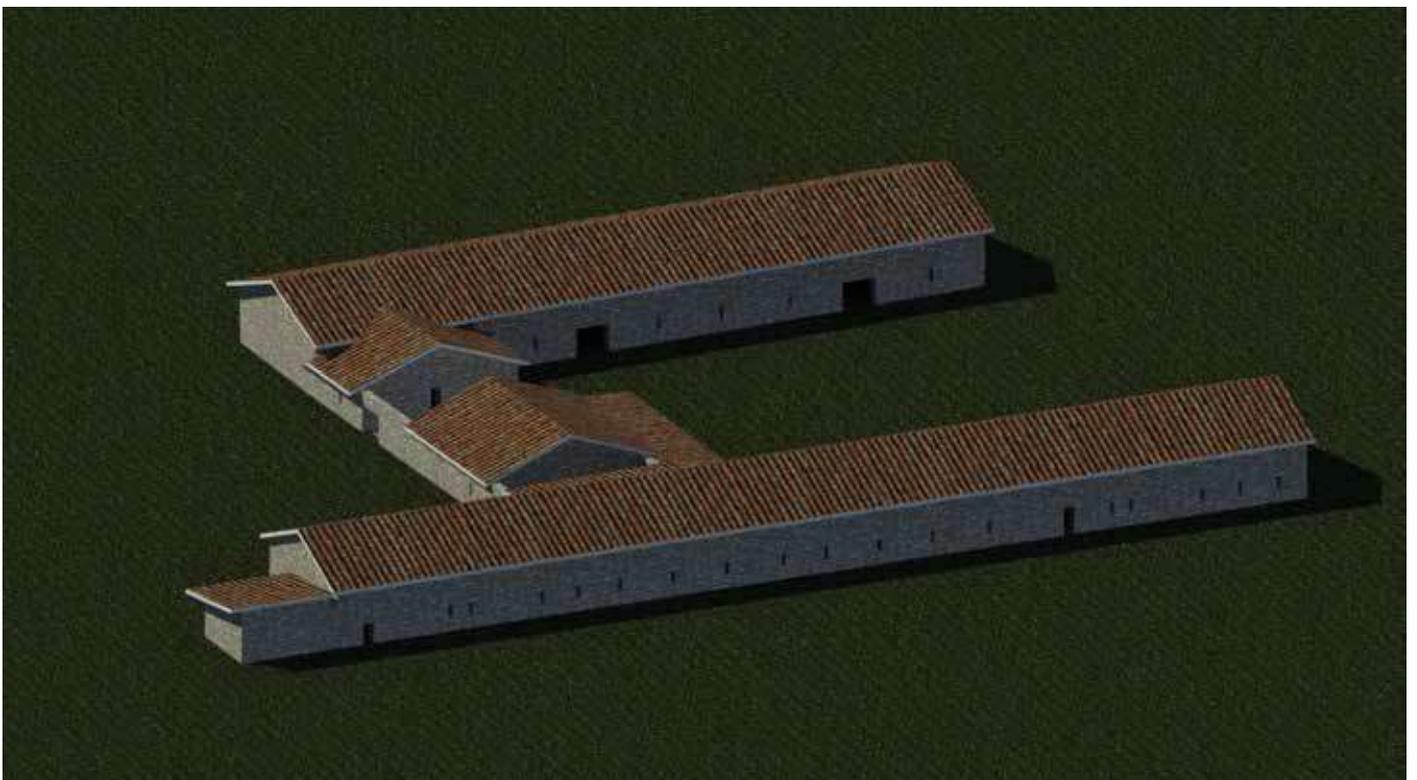
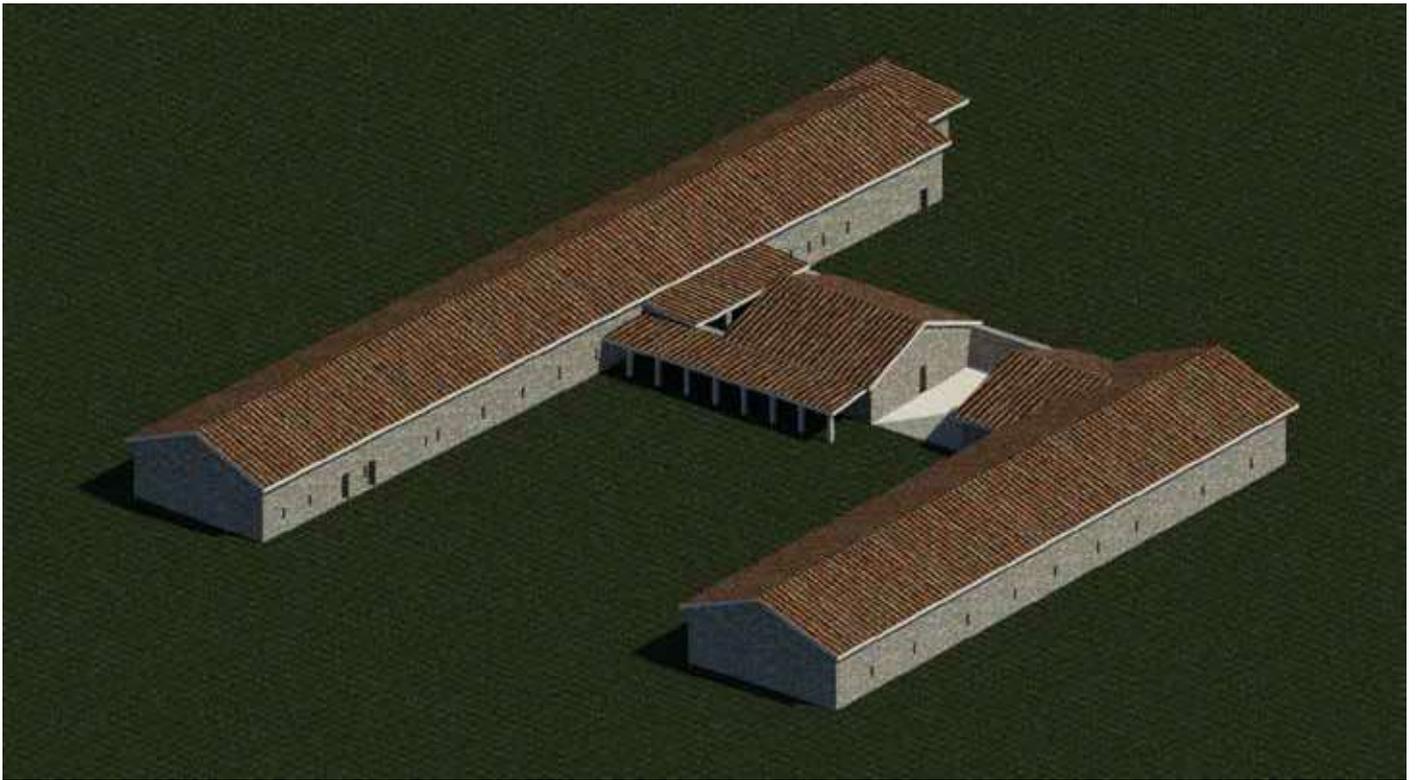
Nello specifico della restituzione dell'intero complesso:

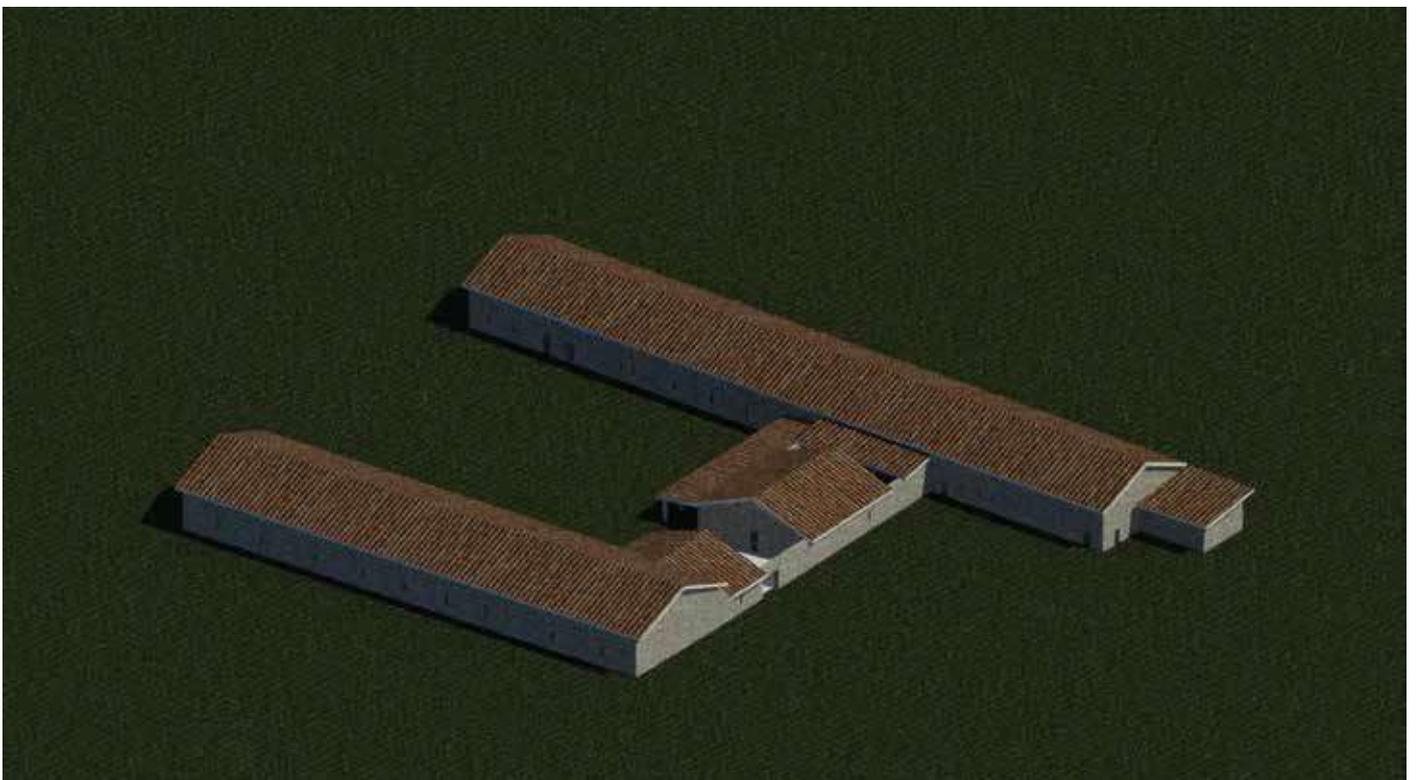
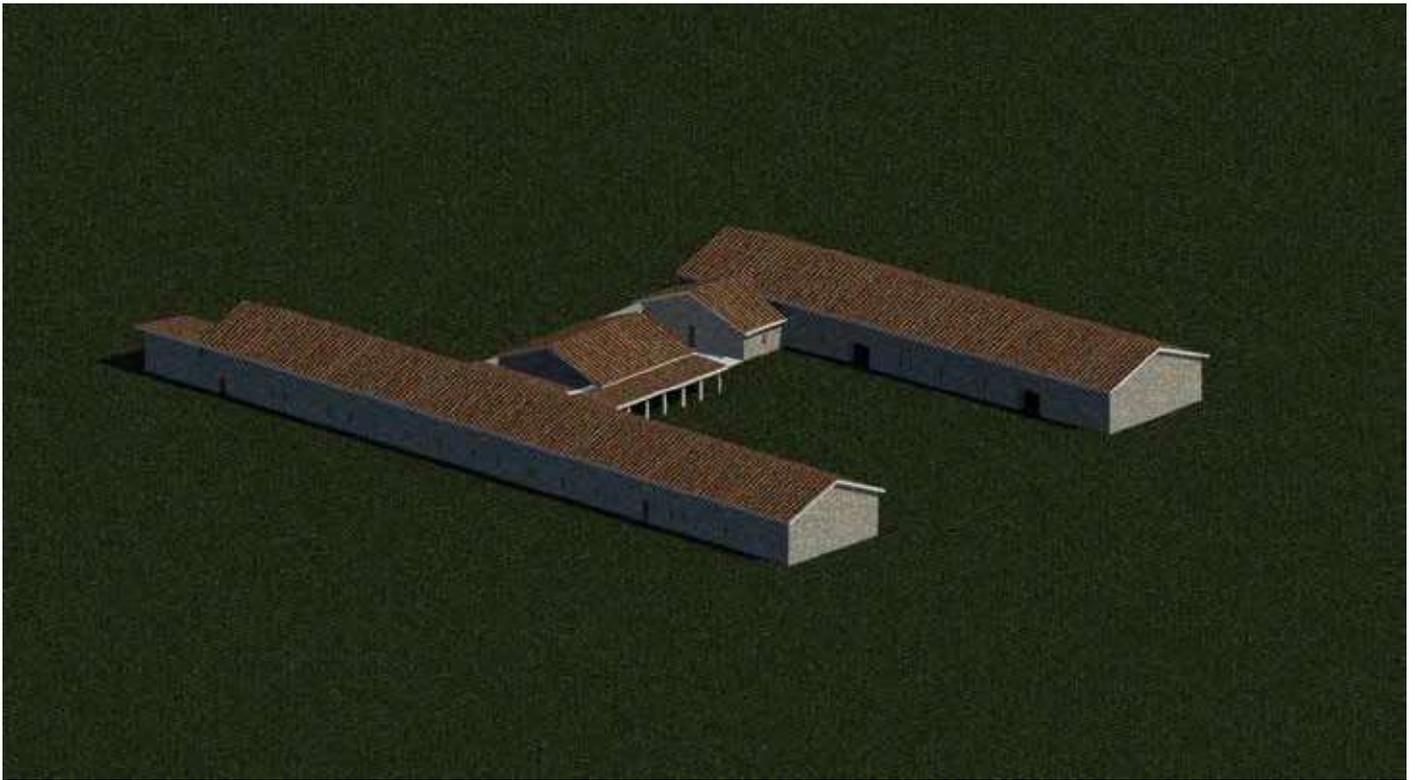
- Lo schema degli accessi è stato progettato sulla base dei possibili percorsi di fruizione dei vari ambienti.



- Le finestre riprendono la geometria tipica utilizzata nella muratura lapidea, quindi di piccole dimensioni ma in numero sufficiente per l'illuminazione degli ambienti.
- Le pavimentazioni sono state tutte individuate grazie al rilievo stratigrafico quindi coincidono ai ritrovamenti archeologici
- Sulla base dei ritrovamenti tutta l'ala settentrionale presentava un plancito ligneo che è stato posto a un'altezza di 3m in modo da ottenere un'altezza utile di lavoro sia al piano terra, sia nel sottotetto
- Il plancito ligneo, pur essendo adibito a deposito quindi soggetto a un carico notevole non presenterà supporti strutturali intermedi atti a interrompere i 10m di profondità della manica  
Questa presa di posizione andrà inevitabilmente a influire sulla sezione delle travature di quest'ultimo ambiente
- Gli accessi a questo primo piano sono stati individuati puntualmente nell'area vinicola, negli ambienti F e G non vi sono tracce che ci possano far intuire la possibile collocazione di eventuali scale o strutture per superare il dislivello
- La copertura dell'intero complesso è strutturata su un sistema di capriate con travature di diametro pari a 20cm (sulla base dei ritrovamenti archeologici);  
La copertura è in embrici e coppi.

Queste riflessioni hanno dato modo di restituire attraverso un'elaborazione tridimensionale la villa nel suo periodo di massimo sviluppo.





#### 6.4.6 APPROFONDIMENTO INERENTE AL COMPLESSO VINICOLO

Durante la campagna di scavi effettuata nel 2009 sono stati individuati due ambienti a est dell'ambiente F che hanno avvalorato l'ipotesi che l'ala settentrionale della villa fosse adibita per lo stoccaggio e la trasformazione dei prodotti del luogo.

Attraverso l'analisi delle due aree si è infatti capito che l'ambiente era adibito ad impianto di produzione vinicola.

Nell' primo spazio, posto alla quota di campagna, si sono individuate due vasche utilizzate per la fase di pigiatura dell'uva.

A causa del deterioramento dei setti murari è stato possibile recuperare solamente i piani d'uso in cocciopesto e le spallette laterali.

Nel secondo spazio, posto a una quota inferiore di 56cm, è stato possibile recuperare due vasche per la raccolta del mosto.

Queste si presentano meglio conservate e sono costruite con frammenti di laterizi e di grandi contenitori messi in posa con abbondante malta.

Per rendere impermeabilizzate entrambe le strutture è stato messo in opera un rivestimento impermeabilizzante.

I due spazi sono separati da un elemento in muratura di spessore medio pari a 52cm che presenta, in corrispondenza delle vasche superiori, una fistola che permetteva di far defluire il mosto per caduta nelle vasche dell'ambiente 2.

Come in tutta la pars rustica del complesso si trovano pavimentazioni in terra battuta.

A causa degli ingenti danni causati dalla lavorazione dei terreni agricoli le murature si presentano a una quota tale da non consentire l'individuazione delle soglie e quindi individuare gli accessi e i percorsi interni.

L'ambiente 1 inoltre, nella sua parte più a ovest presenta tracce di fondazioni per una muratura non portante che ricavano uno spazio di larghezza inferiore al metro con evidenti segni di buche da pali.

Nelle campagne recenti è stato anche accuratamente esplorato il canale che corre all'esterno delle vasche nell'ambiente 2, caratterizzato da un andamento inclinato a scendere da nord a sud si pensa avesse funzioni legate alla fase di pulizia delle vasche stesse.

Fino ad ora non è stata ritrovata alcuna traccia della cella vinaria cioè l'ambiente preposto alla stoccaggio del vino in dolia.

Un'ulteriore interrogativo, che però caratterizza l'intera pars rustica soprattutto nei vicini ambienti Fe G, è la completa assenza di tracce di elementi strutturali interni all'edificio che possano interrompere la luce che intercorre tra i due setti murari portanti della manica.

La luce da coprire in questo caso con un unico elemento ligneo superai 10m.

#### LA VINICOLTURA NELL'AREA CISALPINA

La presenza di un'ambiente con tale destinazione d'uso viene inoltre avvalorata dalla ricca cultura della vite in Piemonte.

Questo aspetto è profondamente legato ai cambiamenti economici, demografici e

sociali tanto e permette di essere utilizzata per analizzare nel complesso i fenomeni collegati, tipici dei fattori progressivi dell'evoluzione di una società.

Questo processo iniziò nell'età del Ferro attraverso le influenze incrociate dell'agricoltura massaliota del sud della Francia e della viticoltura etrusca, precocemente diffusa nella Padania.

Come per le caratteristiche culturali, tali tecniche si diffusero perché trovarono un substrato locale pronto ed evoluto nell'utilizzazione di vitigni di origine selvatica che hanno lasciato evidenti segni nella terminologia e nelle tecniche viticole fino ad oggi.

L'elemento cardine su cui si articola l'espansione della viticoltura è legata al processo espansionistico Etrusco e di come, a seguito di una prima fase di importazione di vini vi sia una fase di impianto di vigneti presso gli empori più vicini ai destinatari del commercio.

Ciò permette a un sistema commerciale di garantire una produzione capace di sostenere una domanda che era in continuo aumento oltre che un prodotto con un minor costo. Secondo i ritrovamenti ceramici di grandi anfore etrusche il primo sistema di trasporto di vini si basava sulla rete fluviale per una clientela di alto rango che coincide con la prima fase di importazione pocanzi citata.

La seconda fase viceversa si basa sull'impianto di viti nelle aree di maggiore richiesta in modo da poter soddisfare il progressivo allargamento del consumo, queste zone risultano essere localizzate in Emilia e nell'alto adriatico ma anche in piena Traspadana. ]

Un'ulteriore testimonianza della presenza di coltivazione della vite e commercio del vino nell'area alpina è data dall'iconografia dell'epoca dove: steli, archi di trionfo e opere funerarie presentano riportate scene di coltivazioni agricole viticole oltre che di commercio.

Un esempio sono le steli risalenti al I e II-III sec d.C. trovate a Caraglio, ai piedi della Valle Maira, che riportano questa tipologia iconografica.

In particolare la stele di Q.Veiqasius Optatus presenta l'immagine di una botte sul un carro nella quale un servo serve probabilmente del vino mentre nella stele del mulattiere Rinnius Novicius vi è un carro che trasporta una botte.

Vi sono inoltre testimonianze di storici antichi quali Polibio (II sec a.C.) il quale parlando delle derrate alimentari provenienti dalla fertilissima Gallia Cisalpina al tempo suo annota che per ogni libbra d'oro era possibile acquistare 2250 anfore di vino, un prezzo inferiore di cinquantasei volte rispetto al prezzo più basso rinvenuto a Roma al tempo dei Gracchi, segno quindi di un grande quantitativo di prodotto.

Strabone, al tempo di Augusto, aveva a sua volta sottolineato la grande abbondanza di vino della Gallia Cisalpina, parlando inoltre di grandi botti di legno di castagno grandi come case, dalle quali si prendeva il vino misurandolo a giare.

Marziale, alla fine del I sec d.C., ironizza da parte sua sul fatto che il vino in quest'area dell'impero fosse meno raro dell'acqua.

Per delineare una continuità storica della produzione vinicola nell'area del saluzzese si sono inoltre recuperati documentazioni risalenti al 1500.

In particolare il "regstrum bonorum" del 1515, un censimento dell'epoca, rileva che la maggior parte dei terreni agricoli era dedicata alla coltivazione dei cereali ma i contadini non avevano abbandonato la viticoltura.

In particolare circa il 93% dei contadini censiti nell'area aveva investito in vigneti e che avevano una produzione non solo atta a soddisfare il fabbisogno familiare, ma anche per il mercato traendo probabilmente maggiori profitti di quanti garantissero i cereali. Nel periodo in cui è redatto questo censimento i terreni utilizzati per la coltivazione vinicola erano quantificati in 15 giornate, circa 5.7 ettari solo sul territorio comunale di Costigliole Saluzzo.

È stato inoltre approntato un confronto cartografico tra la prima levata IGM del 1880 e la più attuale cartografia inerente all'uso dei terreni agricoli del 2007.

Questo esercizio di confronto tra un'ambiente pre-urbano e post urbano serve a evidenziare le trasformazioni dei terreni utilizzati per la coltivazione della vite.

Nel caso specifico della restituzione del complesso vinicolo:

- Sulla base delle informazioni dateci dagli archeologi la tipologia del complesso e le tecnologie adottate sono similari a quella rinvenuta presso il complesso vinicolo di Brauneberg.
- Attraverso un'interpretazione degli spazi e l'individuazione di alcune tracce in stratigrafia per questi due ambienti si è potuto ricostruire lo schema dei percorsi e quindi ricavato gli accessi sia all'ambiente al piano terra sia all'ambiente sopraelevato del tavolato ligneo.





# 7. Conclusioni

## 7. CONCLUSIONI

La finalità di questa tesi era analizzare da un punto di vista critico, attraverso l'applicazione ad un ambito di studio archeologico, quale la villa romana di Costigliole Saluzzo, le metodologie Reality Based.

I risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati di rilievo hanno dimostrato come sia possibile e vantaggioso impiegare queste metodologie per lo studio del manufatto archeologico in tutte le sue forme.

L'elaborazione di modelli digitali bidimensionali e tridimensionali dell'intero manufatto, ha permesso di ottenere elaborati molto legati all'oggetto reale contenenti un immenso quantitativo di informazioni geometriche oltre che materiche e cromatiche.

Inoltre, il lavoro effettuato, costituisce una banca dati per future rappresentazioni a diverse scale di rappresentazione, grazie all'implementazione di queste metodologie.

La collaborazione intrapresa con il gruppo di archeologi che si occupa degli scavi della villa, in particolare i professori Elia e Meirano, ha permesso di approfondire ulteriormente un caso studio di così grande importanza del nostro territorio.

La cooperazione tra l'ambito geomatico e archeologico nello studio dei beni culturali ha ampliato i risultati della ricerca offrendo così la possibilità di comparare i dati archeologici ai dati dei rilevamenti ottenuti con le metodologie Reality Based.

Si è così prodotto un lavoro maggiormente completo che ha costituito le basi per la ricostruzione 3D del complesso presentata nel capitolo 6 di questa trattazione.

Il rilievo, componente metrica del progetto, rappresenta la base di questo elaborato mentre le nozioni acquisite dal lavoro degli archeologi hanno avuto la funzione di arricchire, verificare e interpretare gli elementi analizzati e restituiti graficamente.

In conclusione si può quindi affermare che l'universo dell'archeologia può trarre vantaggio da queste metodologie analizzate, andando ad agire sia sulle tempistiche legate alle acquisizioni dati sia dal punto di vista di una restituzione precisa, affidabile e esaustiva.



---

## BIBLIOGRAFIA

Bacchetta, Edilizia rurale romana Materiale e tecniche costruttive nella Pianura Padana, all'Insegna del Giglio, 2014

Chiara Maurini, Le tecniche costruttive nell'edilizia abitativa tardoantica/altomedievale dell'arco alpino orientale, continuità e trasformazioni, 2002

Comba, Vigne e vini nel Piemonte antico, L'arciera, 1994

Cristina Preacco, Vigne e vini nel piemonte antico, 1998

Elia Meirano Brigadeci, Costigliole Saluzzo, località Cimitero, Insediamento di età romana. Campagne 2013-2014 dell'Università degli Studi di Torino: attività di scavo e di restauro.

Elia Meirano Russo, Costigliole Saluzzo, località cimitero, Insediamento di età romana. Interventi di scavo e di restauro: campagna 2012 dell'Università degli Studi di Torino

Elia Meirano, La villa di Costigliole Saluzzo, Contributo alla conoscenza del territorio piemontese in età romana, 2012

Elia Meirano, Scavi dell'università di Torino a Costigliole Saluzzo: l'insediamento di età romana in località cimitero.

Elizabeth Jane Shepherd, Tegole di copertura in età romana: questioni di forma, posa in opera e impiego, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, 2016

Gullino, Costigliole Saluzzo un museo diffuso. Con atlante dei musei etnografici della provincia di Cuneo, Soc. Studi Stor. Archeologici, 2000

J. F. Bergier, G. Coppola, Vie di terra e d'acqua. Infrastrutture viarie e sistemi di relazioni in area alpina (secoli XIII-XVI), Il Mulino, 2008

Jean-Pierre Brun, Archeologie du vin et de l'huile en Gaule romaine, editions errance, 2005

Jean-Pierre Brun, Archeologie du vin et de l'huile dans l'Empire romain, editions errance, 2005

Molli Boffa, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, 2001

Molli Boffa, Molli Boffa, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, 2001

Preacco, Augusta Bagiennorum. Storia e archeologia di una città augustea, CELID, 2014

Primo Giovanni Embriaco, Raimondo Prosperi Marica Venturino Gambari - Egle Micheletto, Costigliole Saluzzo. Castello rosso, Insediamento protostorico e medievale, 2011

---

Agisoft PhotoScan Manuale d'uso

Antonia Teresa Spanò, slide Workshop Gps/Gnss, Politecnico di Torino A.A 2015/2016

Biallo, Introduzine ai sistemi informatic geografici, I quaderni di mondo Gis, 2011

Brocchini, D.; Chiabrando, Filiberto; Colucci, Elisabetta; Sammartano, Giulia; Spano', Antonia, The geomatics contribution for the valorisation project in the rocca of San Silvestro Landscape site, 2017

Caedini, Storie della terra , Einaudi, 2000

Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri, Misure, rilievo, progetto, Zanichelli Editore, Bologna, 2015

Chiabrando Spanò, I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d'architettura, bollettino SIFED 2012

Cina A., Dal GPS al GNSS (Global Navigation Satellite System). Per la geomatica, CELID, 2014

D. Andrews, J. Bedford, P. Bryan, Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, England, 2015

Daniele Manacorda, Il Mondo dell'Archeologia, 2002

Donadio Lingua Sammartano Spanò, Reality based modelling training. Photomodelling and LiDAR techniques for the St. Uberto Church in Venaria Reale, 2015

Erik Costamagna and Antonia Spanò, Semantic Models for Architectural Heritage Documentation, 2011

Filiberto Chiabrando Erik Costamagna Antonia Spanò, La correlazione di immagini per la generazione di modelli 3D per il patrimonio costruito, 2013

Filiberto Chiabrando; Francesco D'Andria; Giulia Sammartano; Antonia Spanò, 3d modelling from UAV data in Hierapolis of Phrigia, 2016

Francesca Noardo, Antonia Spanò, Modelli 3d multi sensore per l'acropoli segusina, 2016

Irene Aicardi, Piero Boccardo, Filiberto Chiabrando, Elisabetta Donadio, Andrea Lingua, Paolo Maschio, Francesca Noardo, Antonia Spanò, Rilievo metrico 3D multiscala per l'indagine e la rappresentazione architettonica e ambientale dell'area archeologica di Susa, 2016

Jean-Paul Saint Aubin, Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura, Moretti e Vitali, 1999

La modellazione digitale reality-based ed interpretativa per la valorizzazione del patrimonio culturale, Roms 2008

Marco Bianchini, Manuale di rilievo e documentazione digitale in archeologia, Aracne, 2008

Medri, Manuale di rilievo archeologico, Laterza, 2003

---

P. Bastonero , E. Donadio, F. Chiabrandò, A. Spanò, Fusion of 3D models derived from TLS and image-based techniques for CH enhanced documentation, Riva del Garda, 2014

Pix4D mapper, user manual

Riggio Cartucci, Topografia di base ,2015

Riggio, Carlucci, Topografia di base, EPC Editore, 2015

Russo, Guidi, La modellazione digitale reality-based ed interpretativa per la valorizzazione del patrimonio culturale, 2011

Sambuelli, Elia, Meirano, Colombero, Case history a magnetic and GPR prospectition on a roman rural villa in western Piedmont, 2016

Stefano Bertucci, Marco Bini, Manuale di rilievo architettonico e urbano, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012

Chiabrandò Spanò, I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d'architettura, bollettino SIFED 2012

G. Guidi, F. Remondino, M. Russo, Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale,2006

A.Licheri, Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling (BIM) in archeologia, Archeologia e Calcolatori, Supplemento, 2016

A.Spanò G.Sammartano, Heritage BIM on the move, GIM International, 2017

F. Chiabrandò, G. Sammartano , A. Spanò, Historical Buildings Model and their Handling via 3D survey:from points clouds to user-oriented HBIM, 2016

Filiberto Chiabrandò, Federica Fontana, Emanuela Murgia, Antonia T. Spanò, 3D Models from Reality-Based Survey Techniques: The Domus of 'Putti danzanti' in Aquileia Stephan T.A.M Mols & Eric M.Moormann, 2017

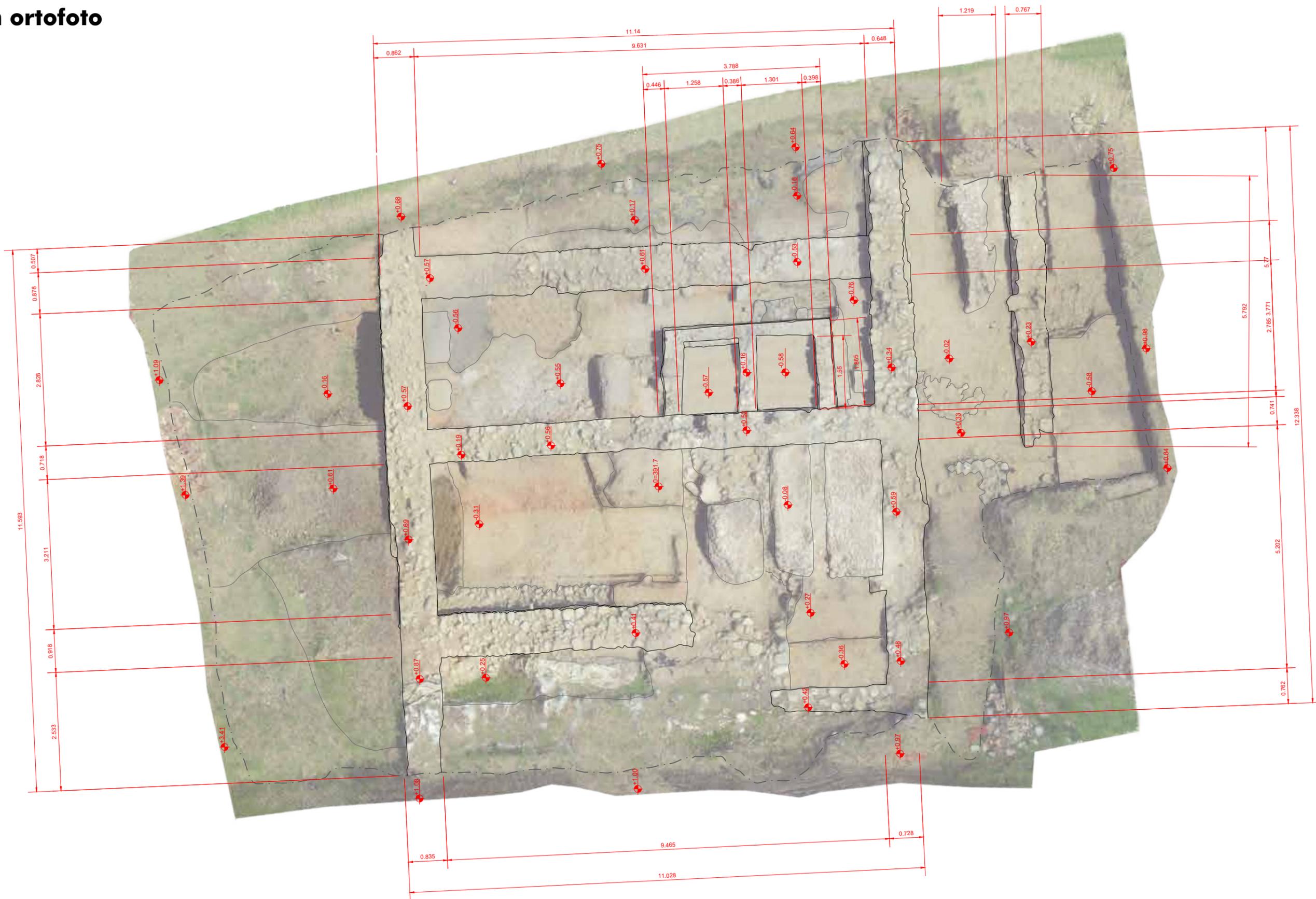
Garagnami, Gaucci, Govi, Archeobim, dallo scavo al building information modeling di una struttura sepolta, il caso del tempio tuscanico di uni a Marzabotto, Archeologia e Calcolatori, Supplemento, 2016

Osello, Il futuro del disegno con il BIM, per ingegneri e architetti, Politecnico di Torino, 2012

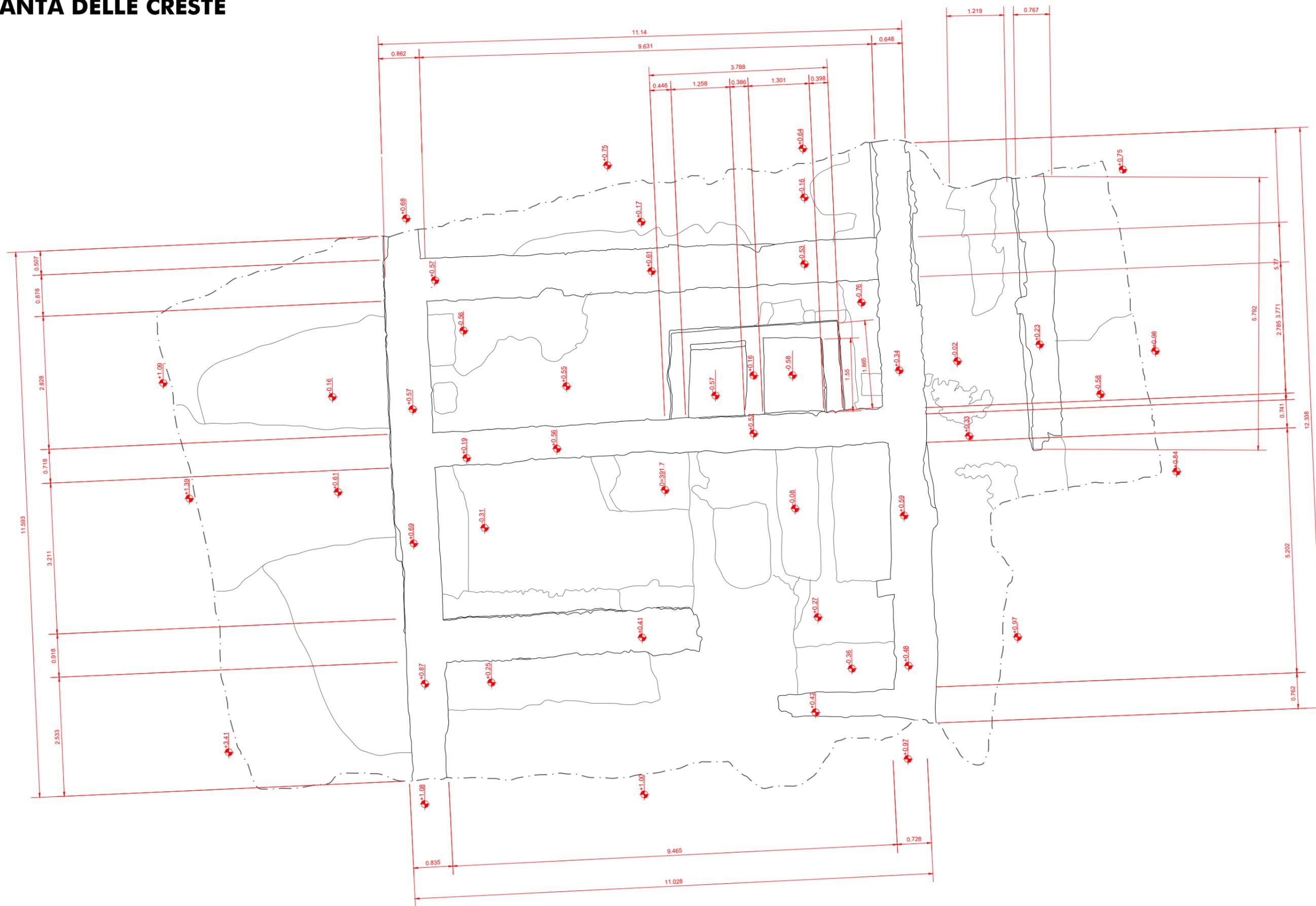
Sotiris Logothetis, Efstratios Stylianidis, Bim open source software for the documentation of cultural heritage, Virtual Archaeology Review, 2016

# Allegati

# PIANTA DELLE CRESTE con ortofoto



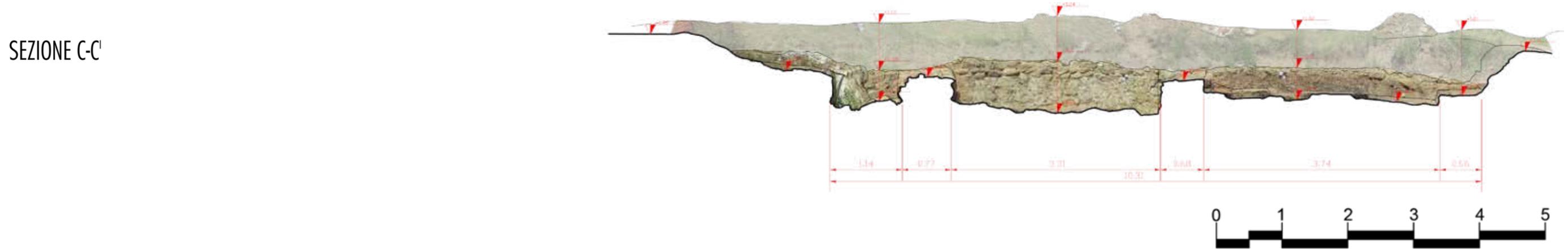
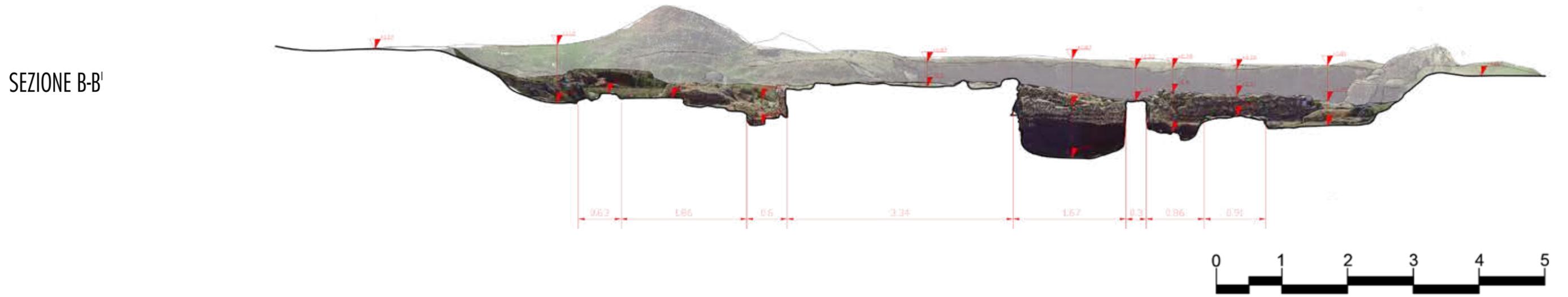
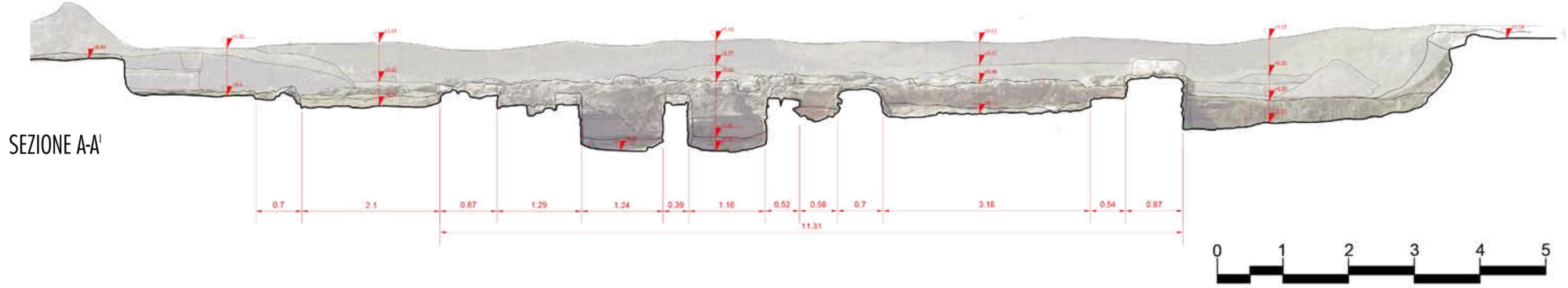
# PIANTA DELLE CRESTE





# SEZIONE ARCHITETTONICA

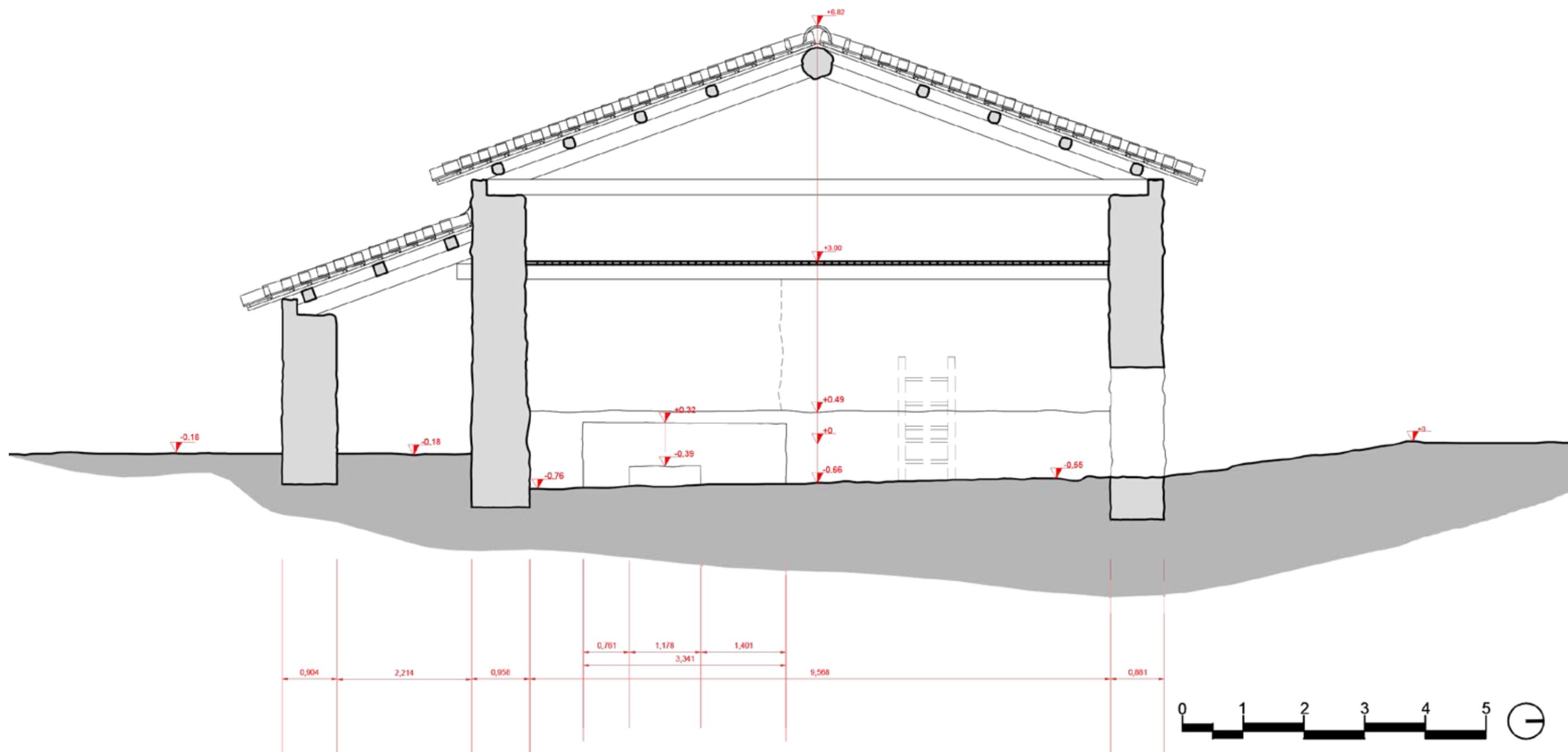
Restituzione grafica ottenuta sezionando la nuvola densa di punti ricavata dal rilievo terrestre





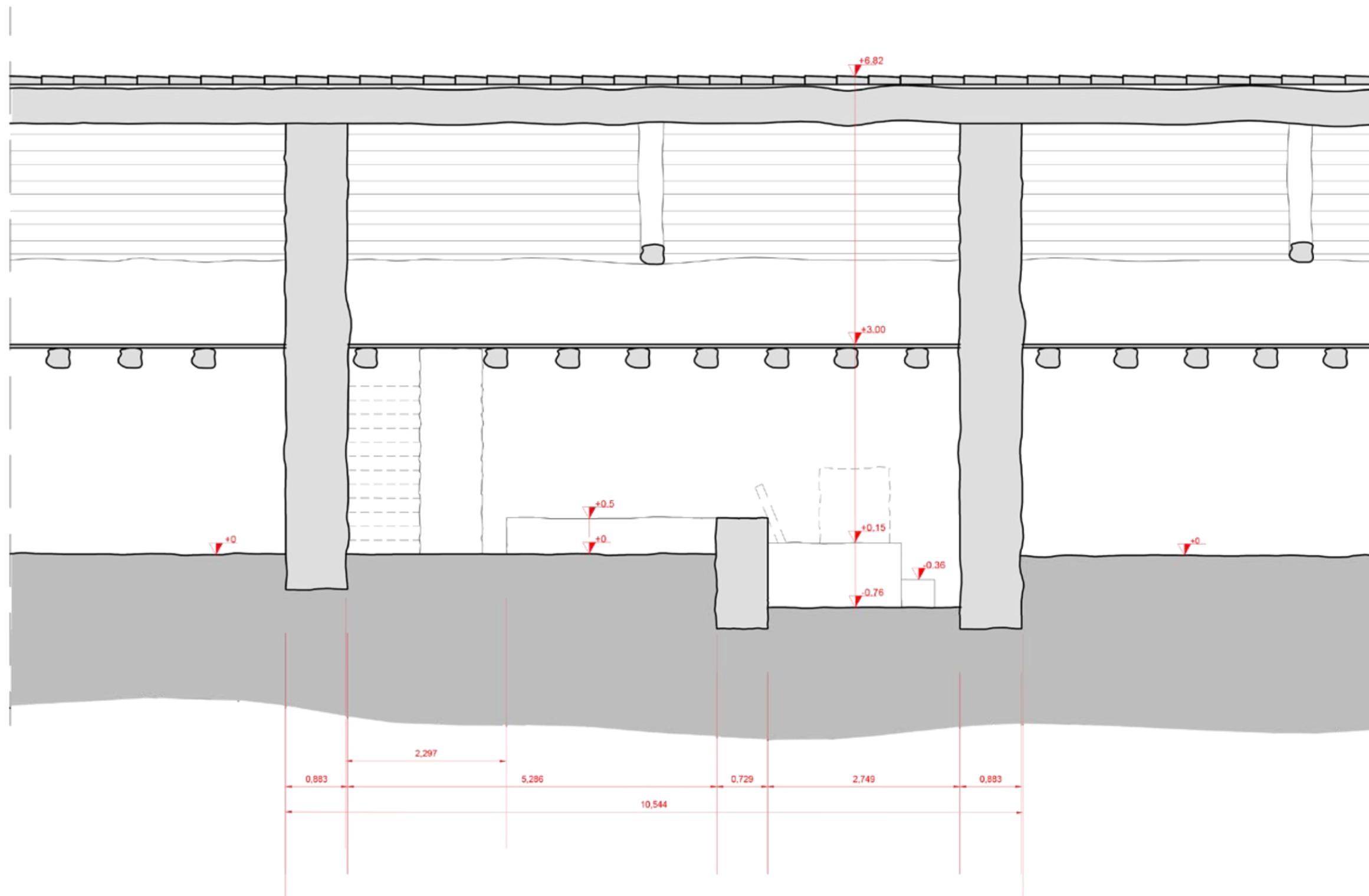
# SEZIONE ARCHITETTONICA A-A'

Ipotesi ricostruttiva dell'area vinicola



# SEZIONE ARCHITETTONICA B-B'

Ipotesi ricostruttiva dell'area vinicola



La tesi ha come oggetto l'applicazione dei metodi della geomatica applicati allo studio del patrimonio archeologico, ed in particolare, il caso specifico oggetto dell'analisi sarà la villa romana sita nel comune di Costigliole Saluzzo.

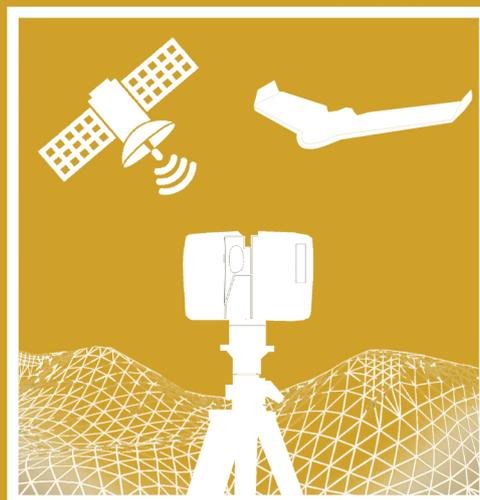
La villa, con la sua estensione di circa tre ettari, rappresenta un unicum nell'Italia settentrionale per la tipologia dell'impianto.

L'obiettivo è quello di realizzare uno strumento di supporto alla comunicazione dei segni lasciati dalle popolazioni che hanno vissuto nell'area nord-est padana, attraverso l'utilizzo di metodi di rilievo e modellazione reality-based e HBIM(Historical Building Information Modeling) e alla rappresentazione del territorio attraverso gli strumenti GIS(Geographical Information System).

Applicando il rilievo geomatico si risponderà all'esigenza di elaborare interdisciplinariamente e in modo interoperabile un gran quantitativo di informazioni derivanti da molteplici procedure.

A valle del rilievo 3D, si mirerà anche a realizzare la ricostruzione architettonica dell'intero organismo della villa, che ora presenta limitati alzati e alcune pavimentazioni, andando a utilizzare lo strumento HBIM che integrerà al modello ricostruttivo volumetrico informazioni legate agli studi e ai ritrovamenti eseguiti dagli archeologi in modo da ottenere una documentazione affidabile e consultabile, oltre che ulteriormente implementabile nel futuro.

Lo sviluppo di questa dissertazione è stato possibile grazie alla collaborazione tra il Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali del Politecnico di Torino ed i professori Diego Elia e Valeria Meirano dell'Università degli Studi di Torino, coordinatori degli scavi archeologici presso la villa romana di Costigliole Saluzzo.



**REALITY BASED METHODS**