

Capitolo 6 – Analisi preliminare alla progettazione dei rilievi del lotto 6

6.1 Premessa

Nei capitoli precedenti si sono estratti dall'allegato tecnico del PdC i requisiti richiesti ai rilevamenti ed alla rappresentazione dei vari lotti della linea 1 del PdC e si è analizzato il contesto offerto dagli scavi di Pompei, per evidenziare quello che può sinteticamente definirsi il grado di complessità dei rilievi e della rappresentazione, calcolato applicando un Criterio di Parametrizzazione delle Criticità (CPC) alle varie tipologie d'utilizzo (TU) ricorrenti negli scavi di Pompei. E' molto probabile che a fronte di differenti richieste tecniche le criticità, almeno in parte, cambierebbero, così come il grado di complessità, anche se nella sostanza quanto prescritto dal PdC riflette le normali consuetudine di un rilevamento finalizzato alla rappresentazione di un Bene Archeologico in scala 1:50.

Nel presente capitolo ci si concentra invece sul lotto 6, che è sostanzialmente coincidente con la Regio VIII ed ha estensione superiore ai 6 ettari, compresa la viabilità compresa al suo interno ed inclusi i tratti di via dell'Abbondanza e via Stabiana che la circondano.

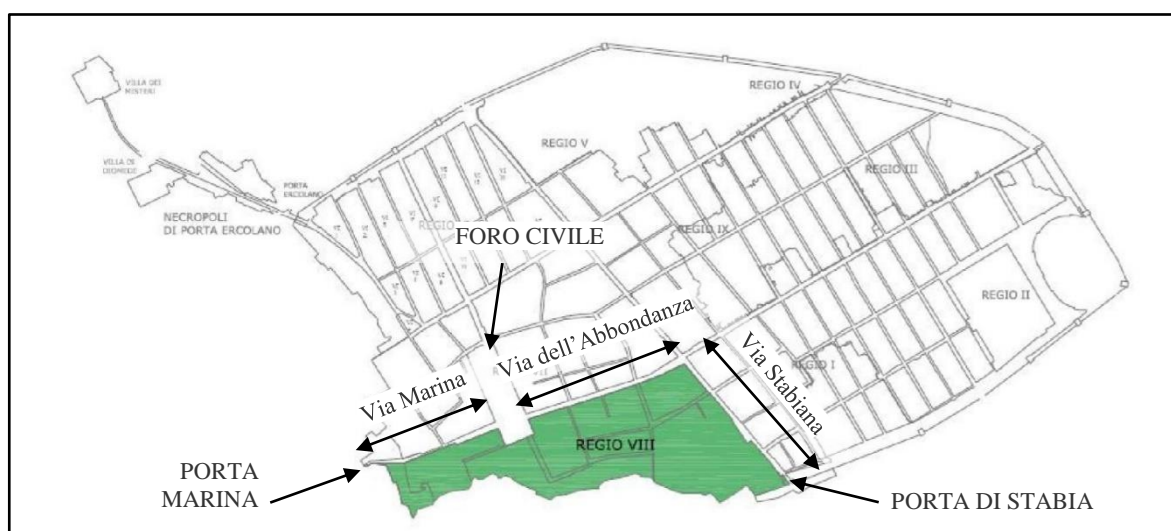


Figura 6.1 – La posizione della Regio VIII all'interno degli scavi

Dunque si riprendono le considerazioni in merito alle criticità generali, già riportate al capitolo 5, e si prova ad applicarle alla realtà del lotto 6, cercando di ottenere un quadro analitico della difficoltà di esecuzione dei rilievi e della rappresentazione, così da fornire un supporto quantitativo oltre che qualitativo alle attività progettuali descritte al capitolo 7.

6.2 La Regio VIII

La Regio VIII è anche detta *Regio meridionalis*, perché occupa la posizione sud-ovest della città antica ed ha superficie pari a 75.000mq. E' delimitata a nord da via dell'Abbondanza, dal foro civile e da via Marina, da via Stabiana ad est e dalle mura a sud-ovest.



Figura 6.2 – La Regio VIII. Tratta dal sito del MIBACT

E' caratterizzata dalla presenza di tante abitazioni ad uso privato, tra le quali alcune domus di grande pregio e notorietà, e di importanti edifici pubblici: la Basilica e gli edifici municipali ed il *Comitium* situati sul lato meridionale dell'area forense, il Foro Triangolare e il quartiere dei Teatri, il Tempio di Iside e di Venere.

In figura 6.3 si mostra la suddivisione della Regio VIII in 7 Insulae, le cui caratteristiche sono schematizzate in figura 6.4.

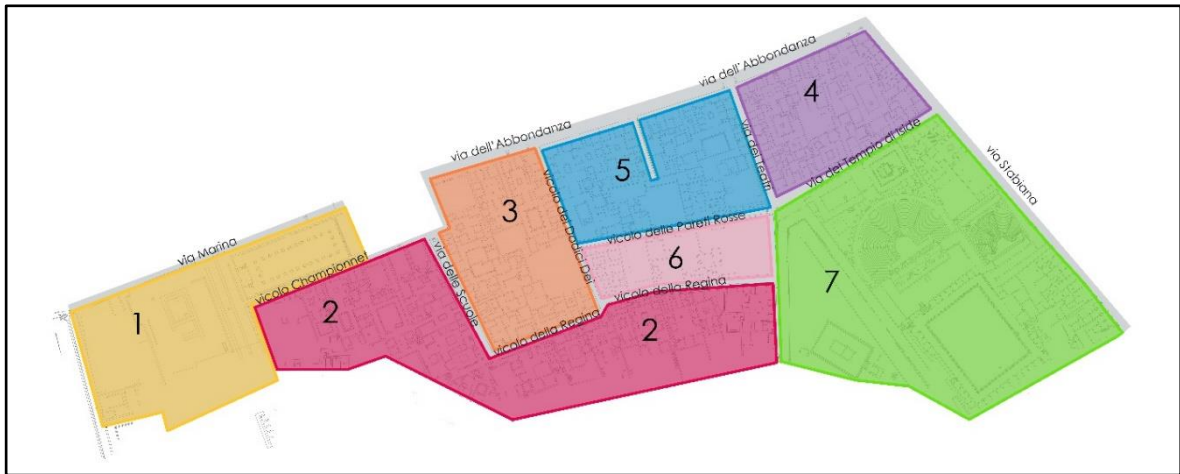


Figura 6.3 - Regio VIII, Insulae e strade

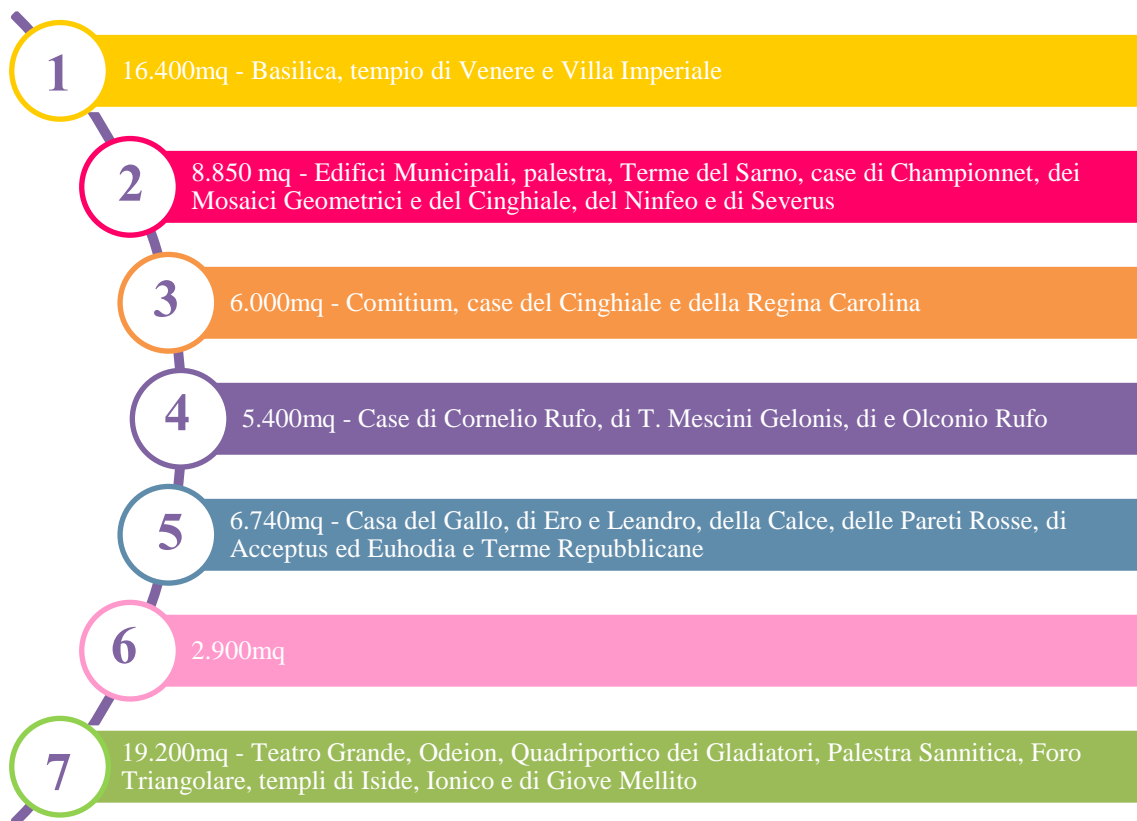


Figura 6.4 - Principali monumenti di ciascuna Insulae

Ogni Insula, a parte la 6, presenta alcuni monumenti di particolare importanza (figura 6.4), ma nel complesso sono aree molto eterogenee tra loro, sia per la loro estensione, sia per le loro caratteristiche: affianco alle Insulae 3, 4 e 5, caratterizzate da una superficie intorno ai 6.000 mq e destinazione prevalentemente residenziale ed in misura minore commerciale, si trovano delle Insulae come la 1 e la 7, con superficie superiore ai 16.000mq e destinazione pubblica e religiosa, l’Insula 2 che coniuga un importante quartiere residenziale ad altrettanto importanti edifici pubblici, anche se la superficie è pesantemente sbilanciata verso il primo dei due, ed infine l’Insula 6 con superficie inferiore ai 3.000mq e priva di domus di pregio.

6.3 Il lotto 6 del PdC

La figura 6.5 identifica il lotto 6 sulla ortofoto aerea e sulla cartografia “Morichi”.



Figura 6.5 - Il lotto 6 del PdC

Come si può notare osservando la figura 6.5, il lotto 6 comprende anche un contrafforte posto a valle delle mura sud.

I numeri del lotto 6 sono mostrati nelle figure a 6.6 e 6.7 sotto forma di istogrammi: nella prima le superfici, nella seconda le distanze lineari. Si nota subito una discrepanza tra le superficie oggetto del rilievo geometrico e di quello fotogrammetrico, perché dal primo sono escluse alcune aree.

Di seguito si dà evidenza di come sono stati calcolati questi numeri.

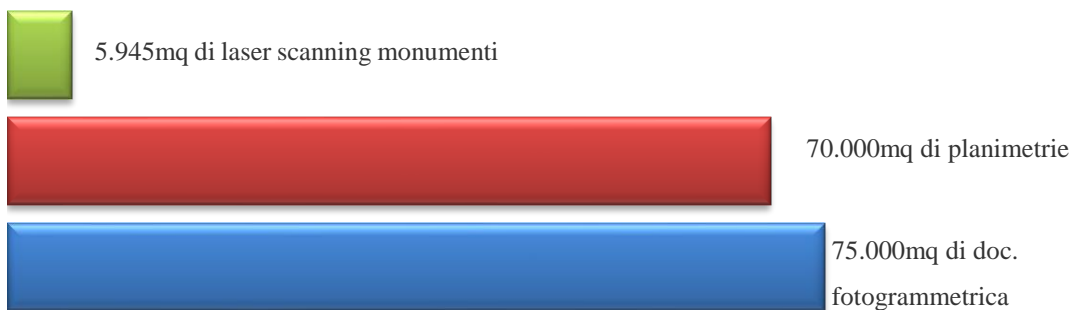


Figura 6.6 - Estensione dei rilievi del lotto 6



Figura 6.7 - Distanze lineari oggetto di rilievo nel lotto 6

6.3.1 La planimetria

Complessivamente al lotto 6 viene attribuita una superficie pari a 70.000 mq quindi leggermente inferiore rispetto a quella della Regio VIII, perché sono escluse dal rilievo

plano-altimetrico di dettaglio finalizzato alla restituzione queste aree:

- Teatro Grande (VIII, 7, 20-21)
- Odeion (VIII, 7, 17-19)
- quadriportico dei Gladiatori (VIII, 7, 16-21 e 34-37)
- Tempio di Giove Meilichio (VIII, 7, 25).

Tali aree sono comunque incluse nelle attività ispettive e di schedatura, quindi necessitano di documentazione fotografica e necessariamente anche di rilievo plano-altimetrico dei PFA.

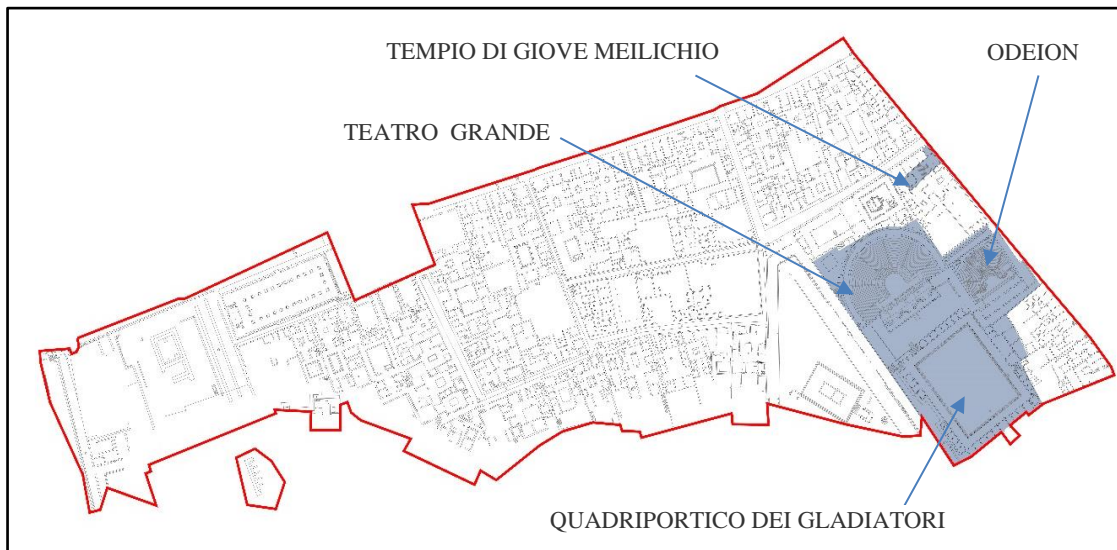


Figura 6.8 - Aree escluse dalla restituzione delle planimetrie

6.3.2 Le sezioni prospetto

Le sezioni prospetto sono disposte come in figura 6.9: due di esse sono poste in asse a via dell'Abbondanza ed a via Stabiana e sono rivolte verso la Regio VIII, mentre la terza attraversa la porzione occidentale dell'Insula 5 e prosegue, sempre parallela a via delle Scuole, nella porzione meridionale dell'Insula 2.

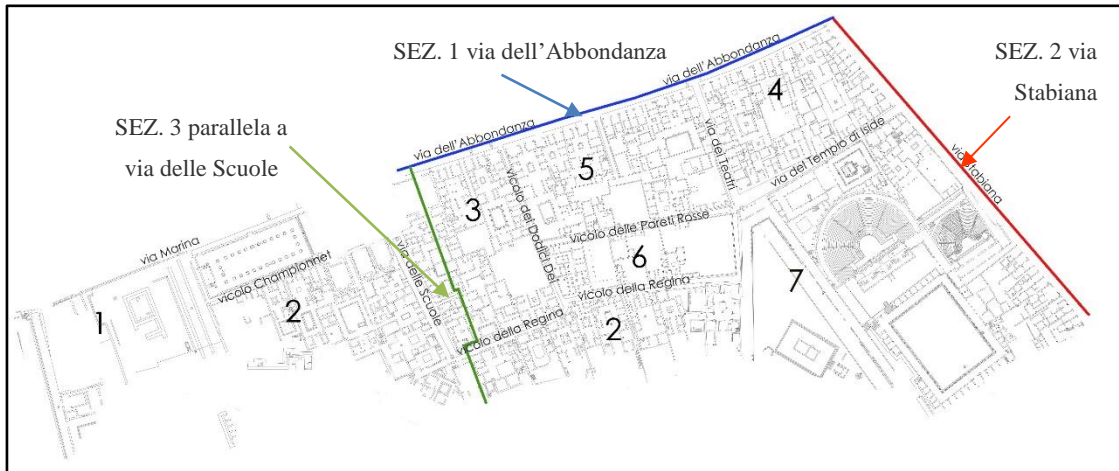


Figura 6.9 - Posizione delle sezioni prospetto

Le sezioni prospetto hanno uno sviluppo complessivo di circa 635 metri, così suddivisi:

1. via dell'Abbondanza 220 metri,
2. via Stabiana 255 metri,
3. parallela a via delle Scuole 150m.

6.3.3 I cinque monumenti

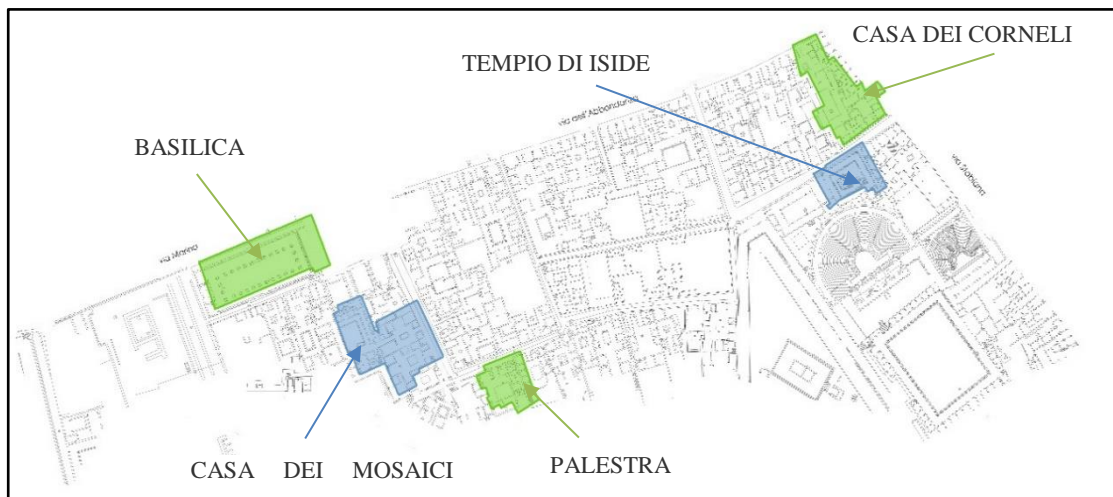


Figura 6.10 - Monumenti da rilevare con il laser scanner

Nella figura 6.10 sono evidenziati i 5 monumenti da rilevare con la tecnologia laser scanner: dei 3 colorati in verde bisogna fornire le nuvole di punti dense e colorate, senza coni d'ombra, georeferenziate nel sistema RUR, i siti navigabili per un mezzo di un browser e le planimetrie, mentre dei 2 colorati in celeste, oltre alle elaborazioni appena elencate, vengono richieste anche alcune delle sezioni-prospetto significative.

L'area complessivamente da rilevare con il laser scanner è di circa 5.945 metri quadrati, così suddivisi:

- a. Basilica (VIII, 1, 1) 1.740 mq
- b. Casa dei Corneli (VIII, 4, 21) 1.240 mq
- c. Palestra (VIII, 2, 23) 660 mq
- d. Casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 14-16) 1.600 mq
- e. Tempio di Iside (VIII, 7, 28) 705 mq

Le sezioni prospetto da restituire a partire dalle nuvole laser scanner dei monumenti, la cui posizione è indicata nelle figure 6.11 (per il Tempio di Iside) e 6.12 (per la casa dei Mosaici Geometrici) hanno lunghezza 350 metri così suddivisi:

- i. Casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 14-16) 208 metri
- ii. Tempio di Iside (VIII, 7, 28) 142 metri

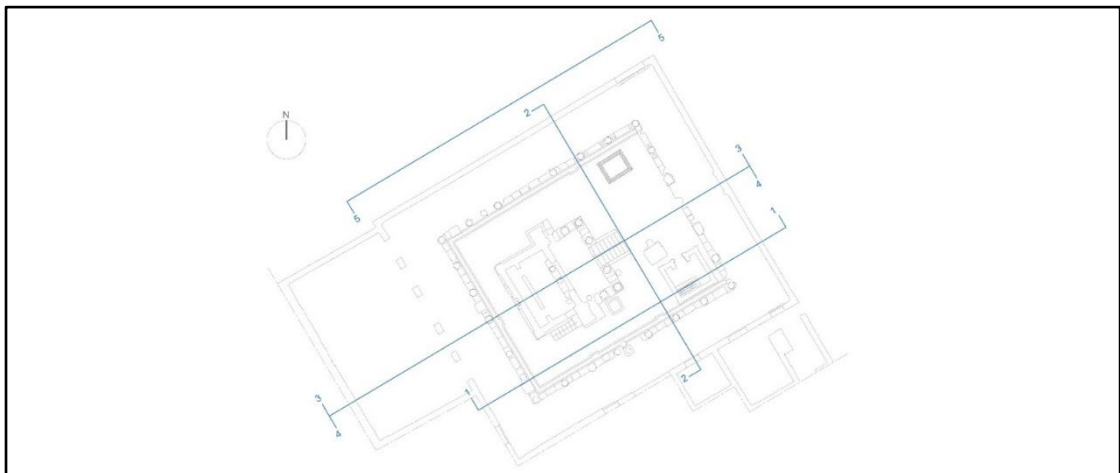


Figura 6.11 - Posizione delle sezioni-prospetto della casa del Tempio di Iside

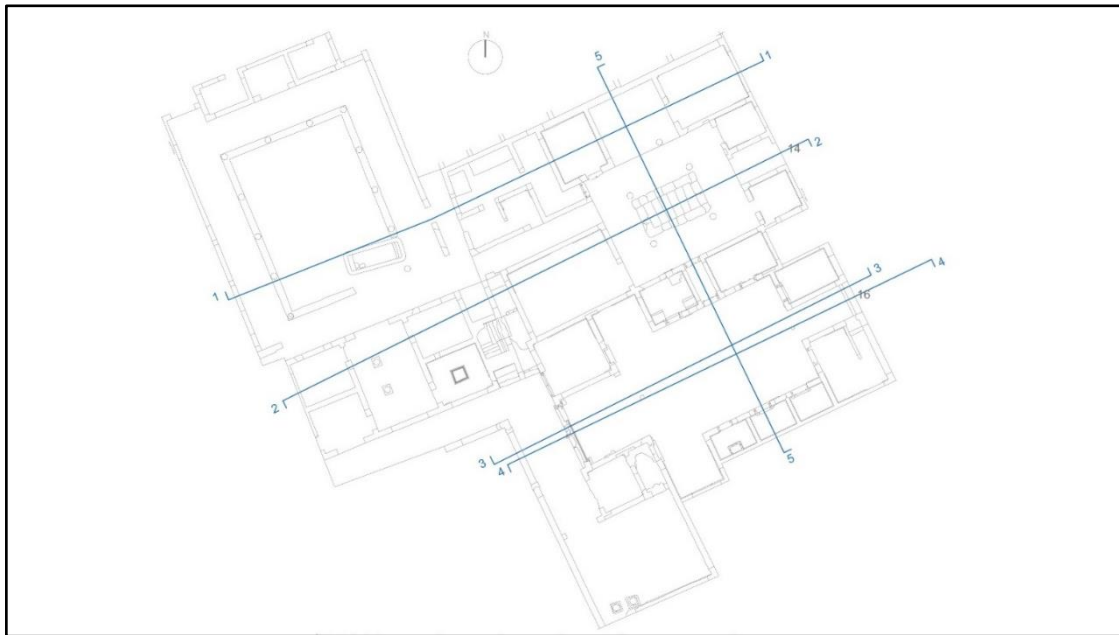


Figura 6.12- Posizione delle sezioni-prospetto della Casa dei Mosaici Geometrici

6.4 Criticità specifiche del lotto 6

Dopo avere calcolato l'entità dei rilievi del lotto 6, in questo paragrafo si prova a dare una quantificazione analitica alla complessità della loro esecuzione, a partire dalle criticità generali e dalle singolarità introdotte al capitolo 5; questo procedimento dovrebbe permettere di acquisire a priori delle informazioni quantitative di supporto alla progettazione dei rilievi geometrici e fotogrammetrici, secondo le modalità indicate dall'allegato tecnico del PdC.

L'elemento alla base di questa analisi è stato individuato nella tipologia d'utilizzo (TU) dei vari monumenti presenti negli scavi. Al paragrafo 5.5.11 si sono quindi individuate, oltre alle strade, 7 distinte TU ed a ciascuna di esse si attribuisce un valore di complessità di esecuzione dei rilievi, per mezzo di un Criterio di Parametrizzazione delle Criticità (CPC), che permette di esprimere numericamente una serie di considerazioni tutte ascrivibili alla distribuzione architettonica ed alla ricchezza dell'apparato decorativo che generalmente le caratterizza. Questa analisi si basa su una serie di considerazioni generali sulle TU e chiaramente prescinde dalle eccezioni, che vengono prese in esame a parte insieme alle altre singolarità. L'analisi trova una quantificazione nell'abaco delle difficoltà nello svolgimento

dei rilievi e della restituzione di figura 5.46. L’approccio che si vuole dare all’analisi a priori è di non conoscenza dettagliata del sito (o nel caso del lotto 6 della porzione di sito) da rilevare, in modo da poterla replicare nel caso di scavi meno noti e più remoti di quello di Pompei: si prova a basare quindi l’analisi a priori sulle informazioni che si possono ricavare dai documenti messi a disposizione dalla Soprintendenza e ovviamente dal web.

I documenti forniti dalla Soprintendenza, oltre a quelli a base gara che sono stati esaminati nel capitolo 4, comprendono le planimetrie delle Insulae della Regio VIII in scala 1:500 della “Cartografia Morichi” e l’elenco delle Anagrafiche censite all’interno del lotto 6, che rappresentano il solo *datum* disponibile a priori. Dai siti web, alcuni estremamente ricchi di immagini (come pompeipictures) è possibile raccogliere tante informazioni di dettaglio, ma si prova ad utilizzare solo Google Maps, per provare a generalizzare il concetto di analisi a priori rispetto agli scavi di Pompei, che sono certamente tra i più documentati al mondo.



Figura 6.14 - Planimetria Morichi dell'Insula 4 Regio VIII

Tramite la consultazione della planimetria Morichi si ricavano immediatamente tre informazioni:

- il numero di civici compresi in ogni Insula, identificati in figura 6.14 con la freccia rossa: si tratta di un numero molto visibile,
- il numero di vani compresi in ciascuna Insula, identificati in figura 6.14 con la freccia verde: in questo caso il conto è meno immediato, in alcuni casi vengono identificati con le lettere, altri con i numeri, ma è nell'insieme abbastanza rapido,
- il numero di muri compresi in ciascuna Insula, indicati in figura 6.14 con la freccia ciano: bisogna contarli uno per uno, ma non è un conto particolarmente complesso, perché nella planimetria Morichi sono bene identificati

La stessa planimetria, consultata in formato shape file tramite un programma come QGIS o similari permette di conoscere le superfici totali delle Insulae.

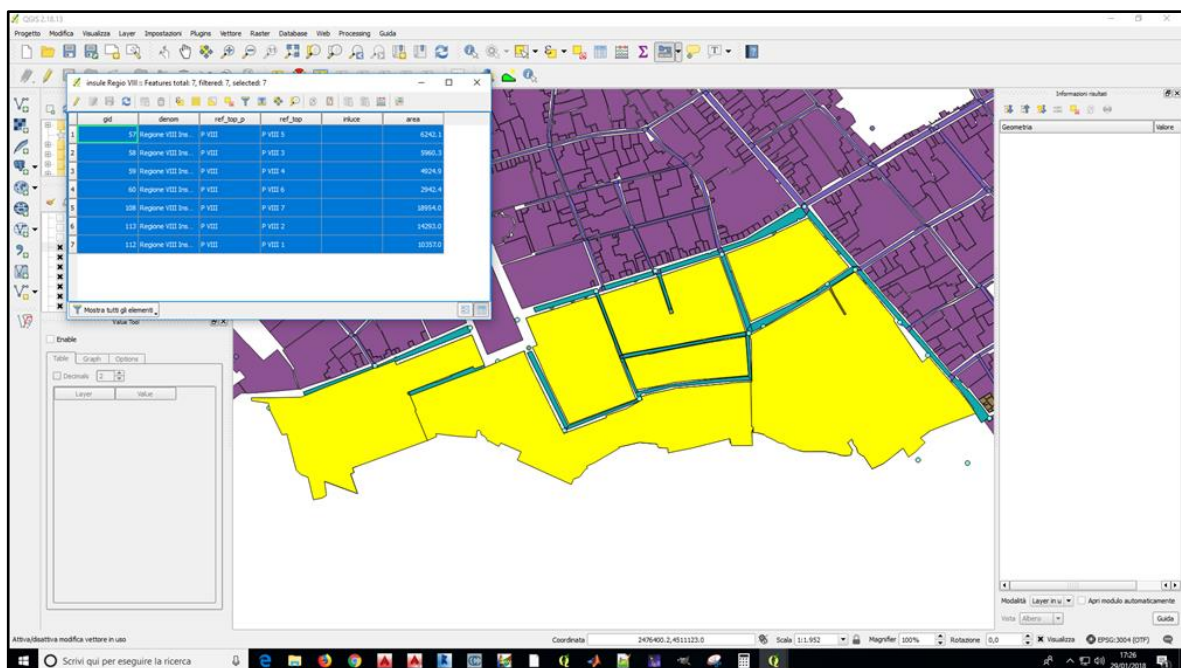


Figura 6.14 - Consultazione delle features della planimetria Morichi in QGIS

Infine dall'elenco delle Anagrafiche si ricavano immediatamente gli elementi da fotografare e schedare. Non sono invece deducibili il numero di unità catastali e le loro destinazioni d'uso. Per quanto riguarda il primo aspetto si è già scritto che si approssima per eccesso il

numero delle unità catastali a quello dei civici. Mentre la non conoscenza delle destinazioni d'uso è una problematica molto più seria, dato che su di esse si basa la quantificazione della difficoltà del rilievo. Le planimetrie Morichi permettono ad un primo sguardo di distinguere le tipologie più ricche da quelle più modeste, ma fatto salvo per i Teatri ed il Foro Triangolare, non è sempre facile o possibile attribuire ai vari monumenti una precisa natura. Si tratta dunque di trovare una chiave di lettura che permetta di applicare la difficoltà implicita nelle tipologie d'uso alla realtà della Regio VIII, ottenendo la difficoltà dell'esecuzione dei rilievi e della rappresentazione del lotto 6.

Il CPC proposto individua nelle Insulae le unità di misura dell'analisi e pertanto richiede la definizione di un metodo quantitativo che permetta la valutazione della TU prevalente in ciascuna.

Questo approccio si sposa bene con al Regio VIII, che è suddivisa in 7 Insulae, due delle quali sono in modo molto leggibile e evidente costituite da poche tipologie d'uso:

- l'Insula 1 si suddivide in tre aree, ciascuna occupata da un grande monumento, la Basilica (edilizia pubblica), il Tempio di Venere (edilizia di culto) e la villa Imperiale (edilizia residenziale),



Figura 6.15 - Insula 1 da Google Maps

- l'Insula 7 copre poco meno di 19.000mq, dei quali solamente la porzione più prossima a Porta Stabia è dedicata a funzioni abitative o commerciali, il resto è suddiviso tra l'edilizia ludica (il quartiere dei Teatri e la palestra Sannitica), edilizia pubblica (il Foro Triangolare), edilizia religiosa (templi di Iside e di Giove Meilichio).

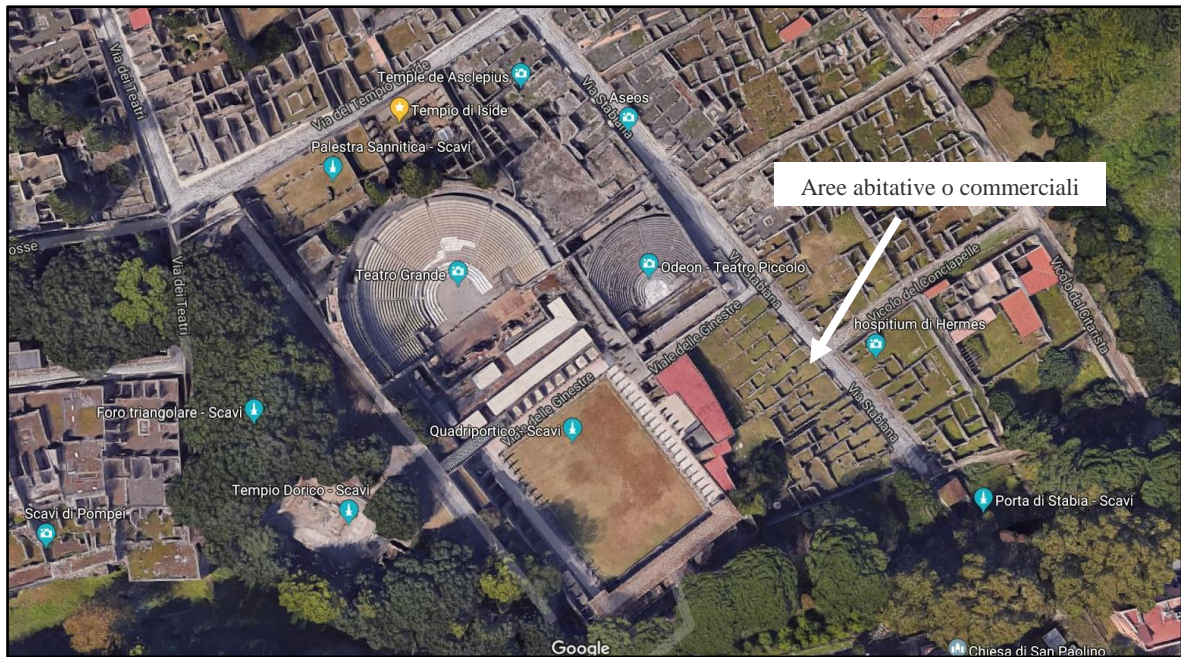


Figura 6.16 - Insula 1 da Google Maps

Le Insulae 1 e 7 possono fornire dunque una validazione della correttezza dei criteri di valutazione della tipologia edilizia prevalente di ciascuna Insulae che vengono proposti.

Nelle figure dalla 6.17 alla 6.20 sono rappresentate, per mezzo di istogrammi, le distribuzioni tra le Insulae dei 4 elementi appena elencati. Dare un'interpretazione non è semplice e, proprio la conoscenza delle Insulae 1 e 7 permette di capire che alcune letture immediate possano essere fuorvianti.

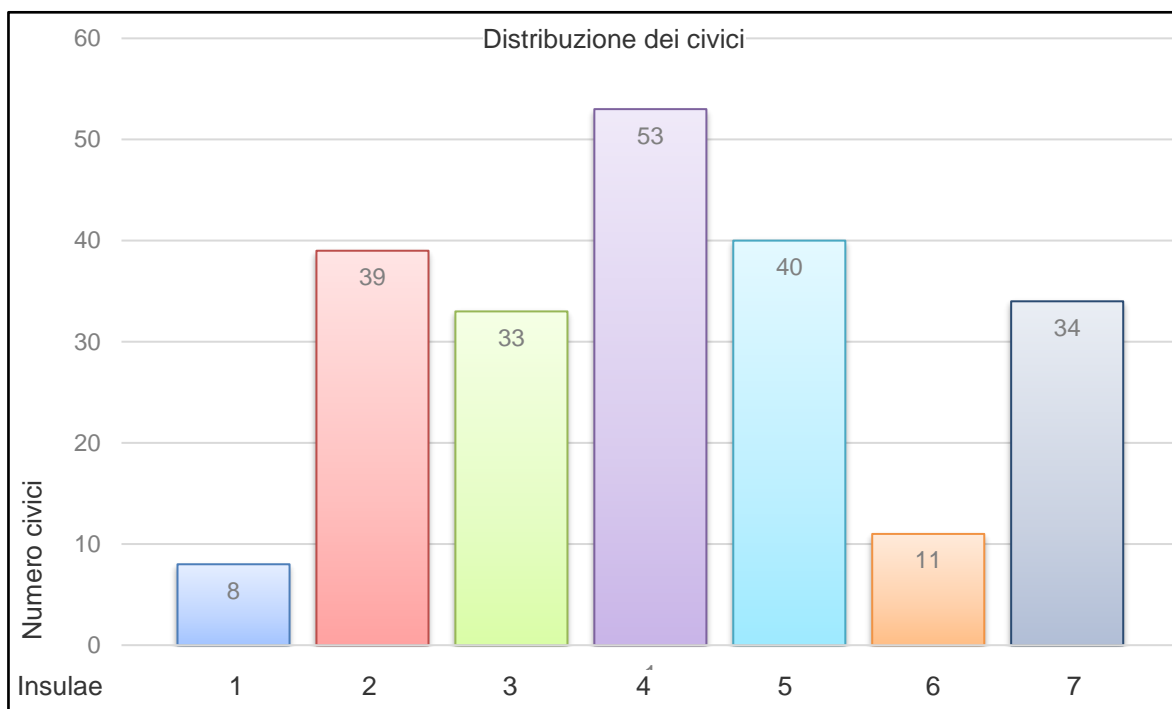


Figura 6.17 - Distribuzione dei civici sulle 7 Insulae della Regio VIII

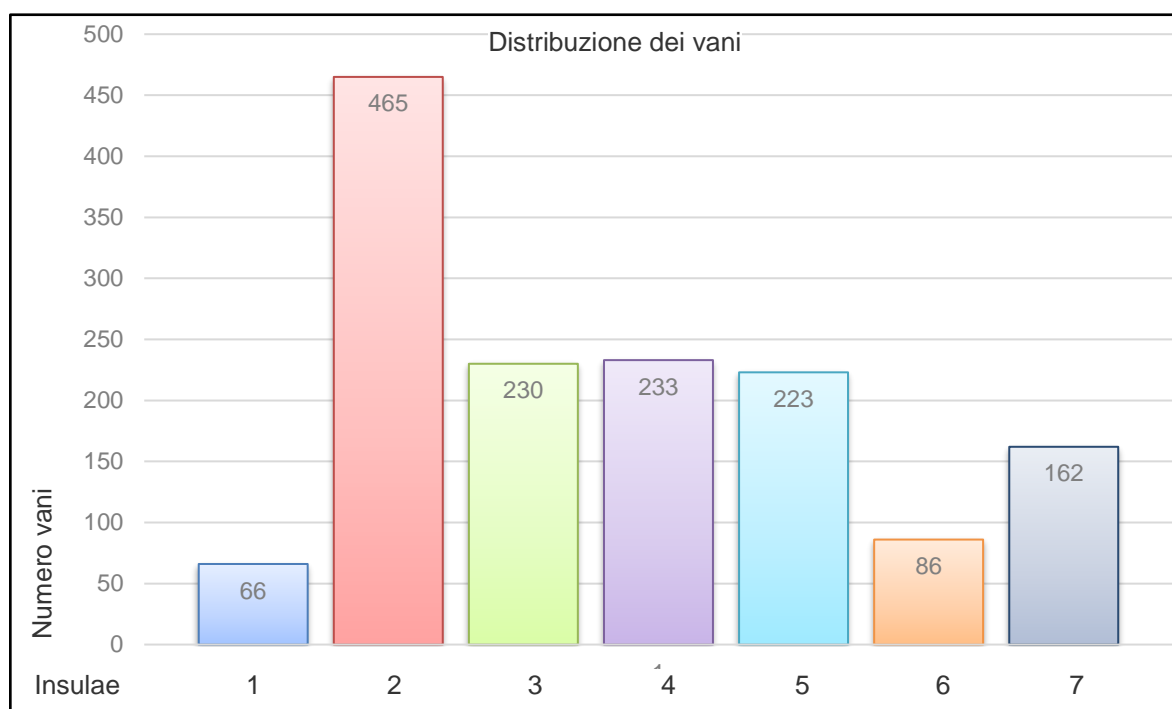


Figura 6.18 - Distribuzione dei vani tra le 7 Insulae della Regio VIII

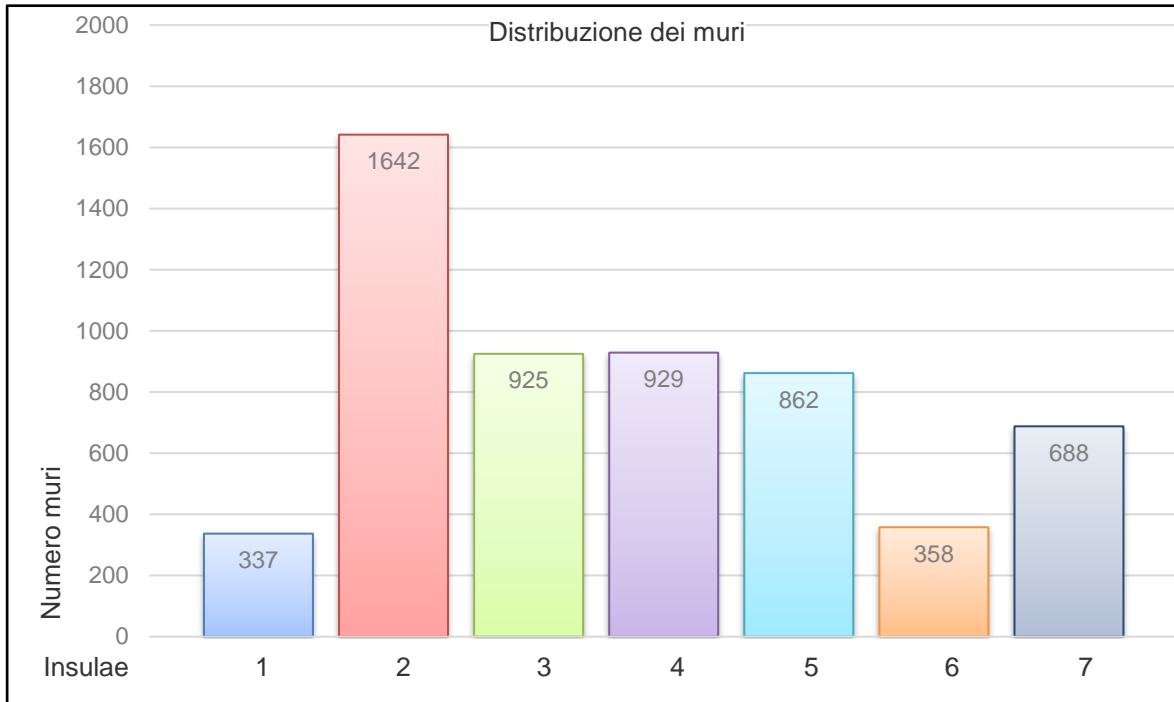


Figura 6.19 - Distribuzione dei muri tra le 7 Insulae della Regio VIII

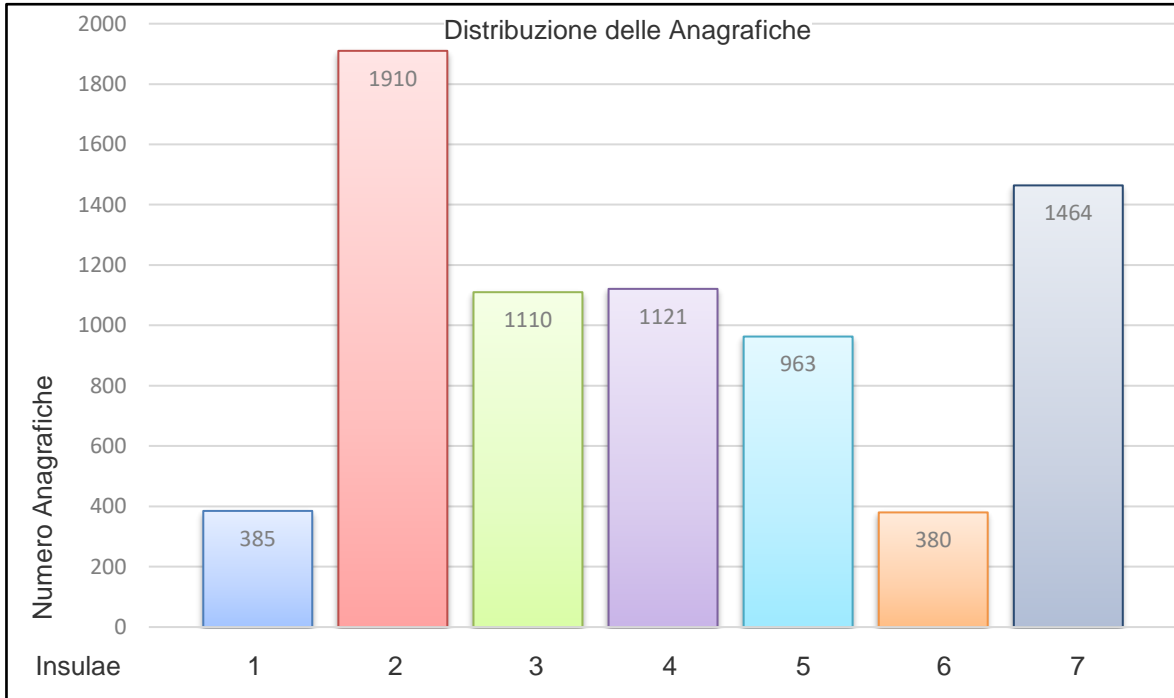


Figura 6.20 - Distribuzione delle Anagrafiche tra le 7 Insulae della Regio VIII

La prima analisi dei singoli istogrammi permette alcune considerazioni:

- civici: le Insulae 1 e 6 sono quelle con il numero inferiore di civici, rispettivamente 8 e 11, si passa poi al blocco delle Insulae 2, 3, 5 e 7 tutte con un numero di civici compreso tra 33 e 40, per finire con l'Insula 4 che ne possiede 53;
- vani: anche in questo caso le Insulae con il numero inferiore sono la 1 e la 6, con rispettivamente 66 e 86 vani, seguite dalla 7 con 162, poi le Insulae 3, 4 e 5 con un numero di vani compreso tra 223 e 233, infine la 2 con 465 vani, un numero decisamente elevato rispetto agli altri,
- muri: con rapporti leggermente diversi, ma la distribuzione dei numeri ricalca quella dei vani;
- anagrafiche: l'andamento è simile ai due precedenti, a meno dell'Insula 7, che ha un numero di Anagrafiche decisamente elevato, anche se non quanto la 2.

Quindi la prima analisi descrive le Insulae 1 e 6 come due aree molto simili, entrambe composte da pochi civici, pochi vani, pochi muri e poche anagrafiche: basandosi sulla conoscenza dell'Insula 1 si potrebbe dedurre che si tratta di due Insulae monumentali. L'Insulae 2, caratterizzata da pochi civici, ma tanti vani, muri ed anagrafiche potrebbe avere destinazione d'uso residenziale, così come il blocco 3, 4 e 5. Infine dell'Insula 7, della quale si hanno informazioni precise, non è molto interpretabile da questi primi numeri.

Si inserisce allora l'informazione della estensione delle 7 Insulae, al lordo della superficie delle aree escluse dal rilievo ed al netto delle strade, che non necessitano di interpretazione: le Insulae 1 e 6 assimilate nell'analisi dei numeri precedenti, si rivelano essere molto diverse, visto la 1 ha estensione 3,5 volte maggiore della seconda.

Si introducono infine delle ulteriori valutazioni, derivanti dalla informazione di estensione planimetrica delle Insulae:

- superficie media dei vani,
- numero medio di vani per civico.

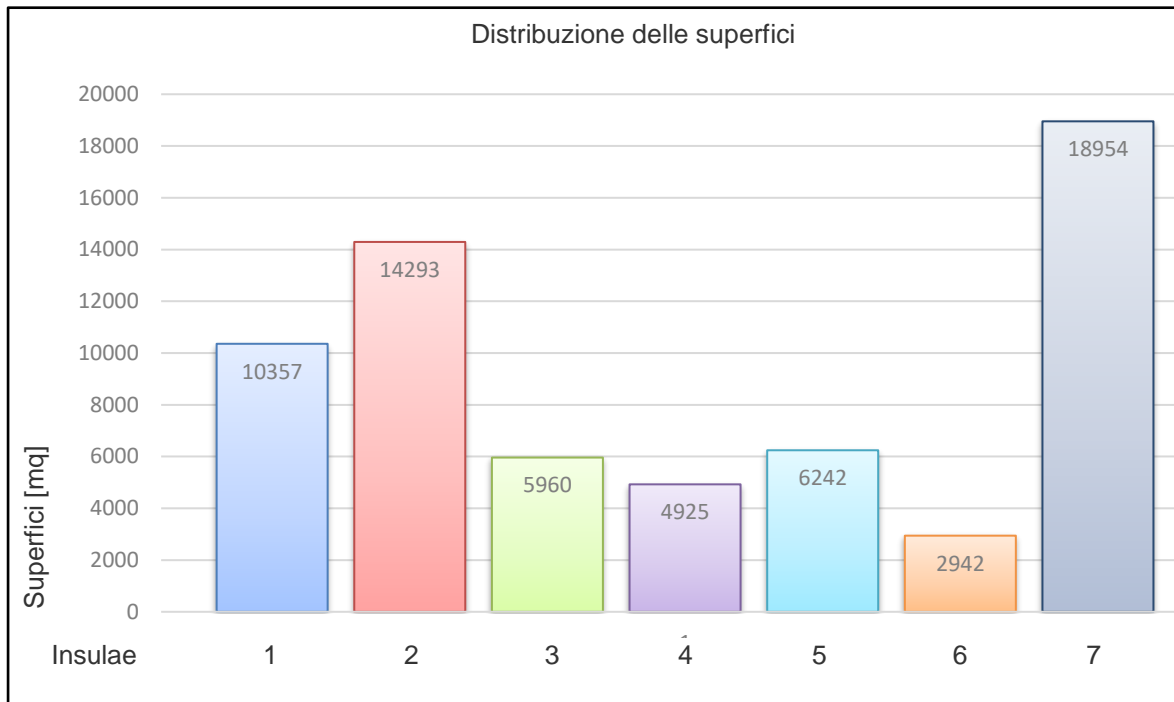


Figura 6.21 - Superfici delle Insulae componenti la Regio VIII

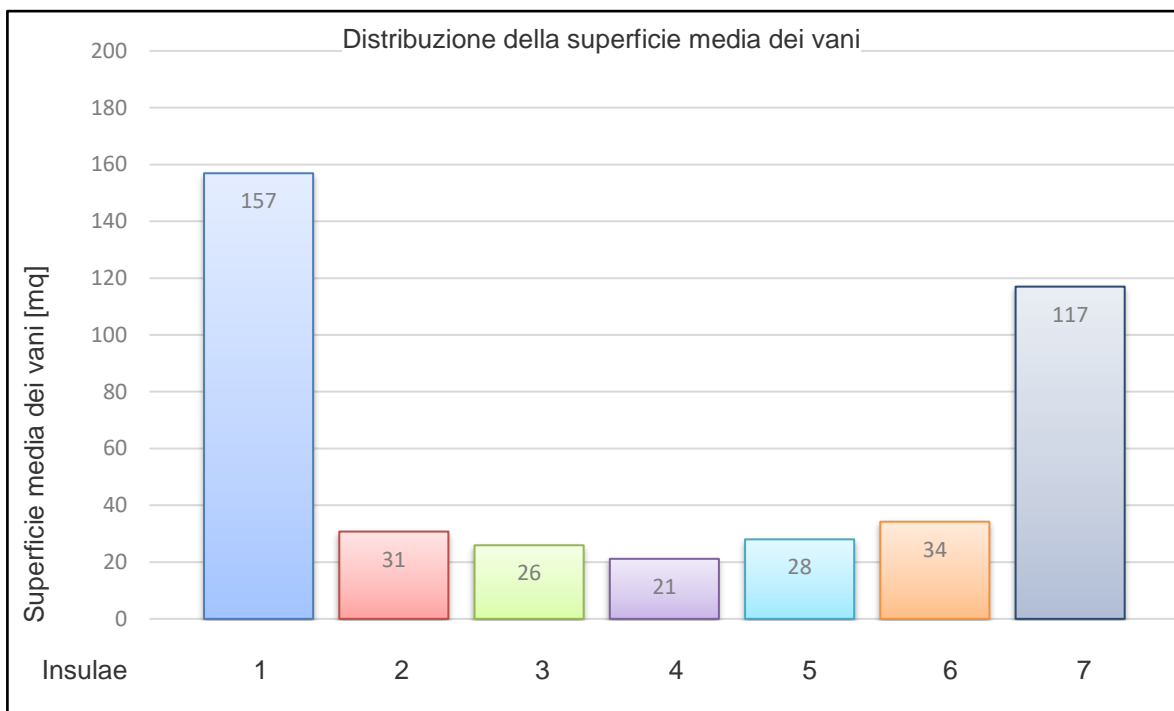


Figura 6.22 - Superficie media dei vani di ciascuna Insula

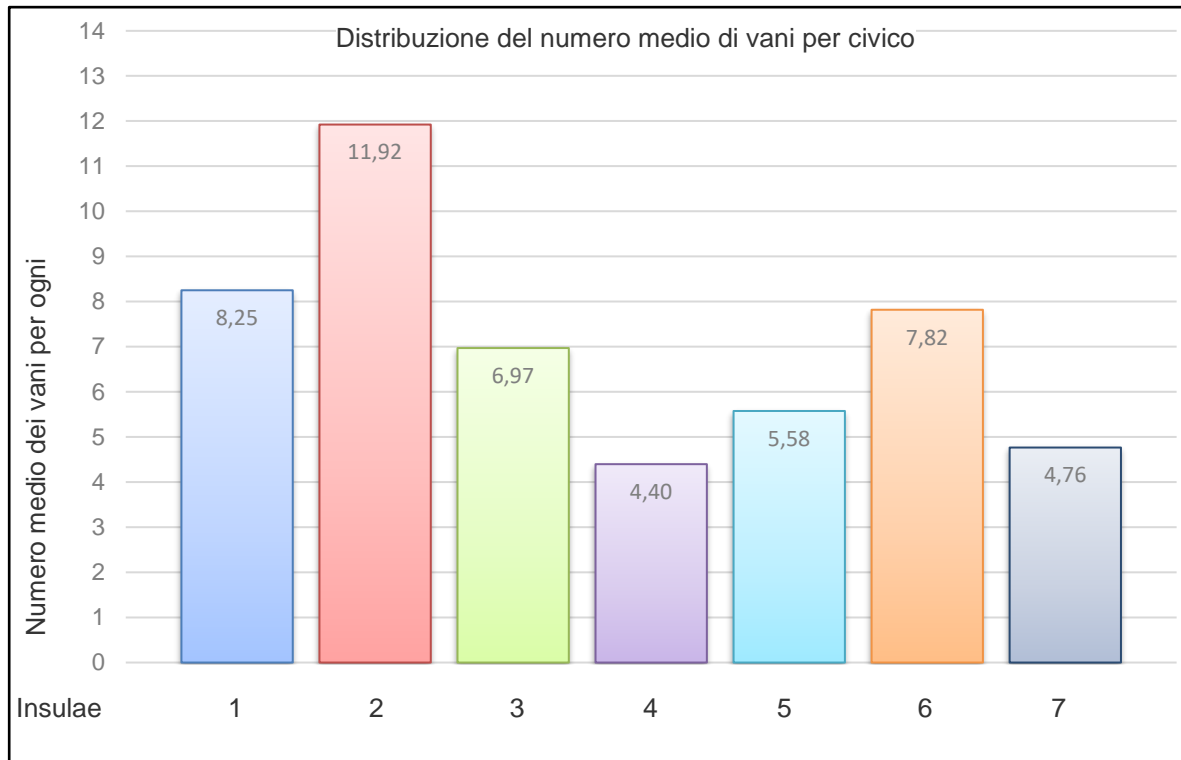


Figura 6.23 - Distribuzione media dei vani per civico sulle 7 Insulae della Regio VIII

La superficie media dei vani finalmente evidenzia la caratterizzazione per così dire monumentale dell'Insula 7, confermando nel contempo quella della 1.

Ipotizzando che un elevato numero di vani corrisponda ad una domus, quindi ad una destinazione residenziale, il numero medio dei vani per civico, mostra che l'Insula 2 ha natura residenziale, così come l'Insula 6.

In definitiva, provando a dare una lettura d'insieme, partendo dalla conoscenza delle Insule 1 e 7, si ipotizza che le altre presentino una predominanza di domus e pergule, in un rapporto certamente non costante, ma difficile da interpretare a priori.

Si prova dunque ad ipotizzare la seguente distribuzione delle destinazioni d'uso:

- Insula 1: 1/3 residenziale (villa Imperiale), 1/3 ed. pubblica (Basilica) e 1/3 ed. di culto (Tempio di Venere)
- Insula 2: residenziale, ameno di 650mq della Palestra (paragrafo 6.3.3)

- Insula 3: 6/10 residenziale, 2/10 commerciale e 2/10 pergule, compatibile con la sua appartenenza alla frequentata via dell'Abbondanza
- Insula 4: come la 3,
- Insula 5: come la 3,
- Insula 6: 5/10 residenziale, perché circondata da strade secondarie, e 5/10 pergule,
- Insula 7: 1/2 ed. ludica (Teatri e palestra Sannitica), 1/4 ed. pubblica (Foro Triangolare), 1/8 ed. di culto (tempio di Iside e di Giove Meilichio) e il restante 1/8 pergule.

Evidenziando che le percentuali di suddivisione delle superfici delle Insulae tra le varie TU appena esposte derivano da stime a priori, che quindi possono venire corrette con l'avanzamento delle attività di rilievo, si ottiene l'abaco di figura 6.24, nel quale le superfici reali delle 7 Insulae vengono suddivise rispetto alle TU che si ipotizza essere prevalentemente presenti in esse. Queste superfici vengono sinteticamente chiamate *superfici equivalenti* e sono funzionali al calcolo delle *superfici criticità* della figura successiva, che rappresentano il risultato dell'analisi a priori.

Insulae	1	2	3	4	5	6	7
pergule	0	0	1.192	985	1.248	1.471	2.369
botteghe	0	0	1.192	985	1.248	0	0
domus	3.452	13.643	3.576	2.955	3.746	1.471	0
ed. culto	3.452	0	0	0	0	0	2.369
ed. ludici	0	650	0	0	0	0	9.477
ed. pubblici	3.452	0	0	0	0	0	4.738

Figura 6.24 - Superfici equivalenti per ogni tipologia d'uso

Combinando infatti i valori delle *superfici equivalenti* con le complessità generale dell'esecuzione dei rilievi e della rappresentazione (figura 5.46), si ottengono i valori di figura 6.25, che rappresentano la riparametrizzazione delle *superfici equivalenti* sulla base delle criticità intrinseche delle TU, ossia sinteticamente le *superfici criticità*.

Insulae	1	2	3	4	5	6	7
pergule	0	0	3.576	2.955	3.744	4.413	7.107
botteghe	0	0	8.344	6.895	8.736	0	0
domus	37.972	150.073	39.336	32.505	41.206	18.181	0
ed. culto	34.520	0	0	0	0	0	23.690
ed. ludici	0	8.450	0	0	0	0	123.201
ed. pubblici	44.876	0	0	0	0	0	61.594

Figura 6.2517 - Distribuzione delle superfici criticità

La distribuzione delle superfici criticità sulle varie Insulae (figura 6.26) mostrerebbe che la più complicata è la 7, seguita dalla 2 e la 2, infine le altre.

In fase di esecuzione dei rilievi si avrà o meno conferma di queste ipotesi a priori.

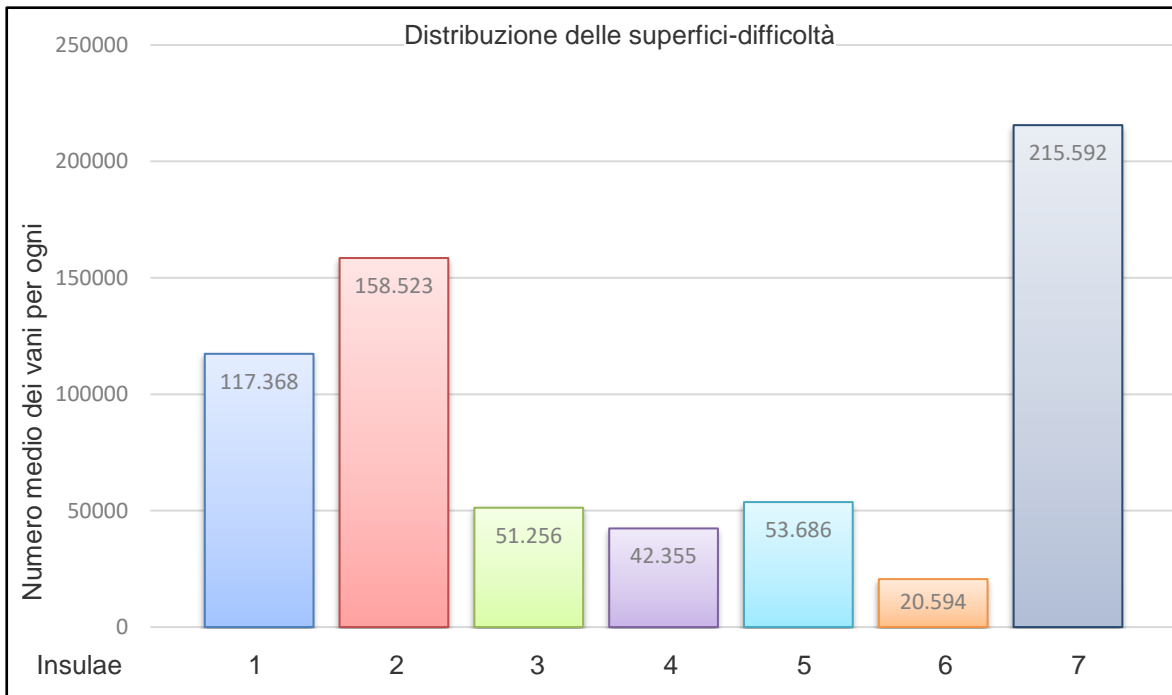


Figura 6.2618 - Distribuzione delle superfici-difficoltà

A latere dell'utilizzo nell'analisi a priori basata sulle tipologie d'uso, i numeri estratti e derivati dalle planimetrie Morichi possono rappresentare un supporto più diretto alla progettazione.

Il numero medio di vani per civico e la dimensione media dei vani forniscono delle informazioni importanti dal punto di vista del rilievo geometrico: il primo permette di capire quanto può essere articolata ogni unità catastale, dunque quanto si dovrà estendere la poligonale, il secondo dà indicazioni sulla portata e quindi sullo strumento ottimale in alternativa sul numero di punti di stazione che occorrono per rilevare mediamente ogni vano dell'Insula.

Invece il numero di muri e di elementi di anagrafica sono fondamentali per la documentazione fotografica, le attività delle squadre ispettive e la schedatura. In particolare l'anagrafica è l'unità di misura del PdC, ma la sua relazione con il rilevamento geometrico varia a seconda della tecnica di misura adottata, quindi non può rientrare tra le grandezze che influiscono sulla progettazione dei rilievi geometrici: nel caso di misure per punti

il rapporto tra l'entità del rilievo ed il numero di anagrafiche è proporzionale, mentre l'impiego di strumenti automatici non rende invece più prevedibile il rapporto tra queste grandezze.

6.5 Criticità temporali e condizioni al contorno del lotto 6

L'aspetto di criticità temporale è già toccato al paragrafo 5.7 e sostanzialmente non si differenzia sulla base del lotto trattato.

Sono poi da considerarsi le condizioni al contorno, ovvero le situazioni più o meno prevedibili che condizionano l'esecuzione delle attività di indagine.

All'interno delle situazioni prevedibili gioca un ruolo molto importante l'afflusso dei visitatori, che, come visto al paragrafo 5.8.1 ha toccato i 381.204 visitatori nel mese di luglio 2015, dunque nel pieno del rilievo. In questo contesto il lotto 6 è sfavorito per la sua posizione prossima agli ingressi di Porta Marina e piazza Esedra ed all'uscita, i visitatori sostanzialmente vi passano a flusso continuo dall'apertura al momento di chiusura dei cancelli.

Per questioni organizzative e logistiche esiste una alternanza nell'apertura delle domus meno importanti, quindi non è infrequente non potere accedere ad alcune unità catastali. La criticità è facilmente risolvibile con l'aiuto dei guardiani, ma certamente si va a sommare alle altre rendendo molto complicato prevedere un programma delle attività ed effettivamente portarlo a compimento nei tempi stabiliti. Il vantaggio è che una volta entrati in queste domus, è possibile lavorare senza l'intralcio del pubblico e dei cantieri.

Ci sono poi le situazioni imprevedibili almeno dal punto di vista temporale, ossia i cantieri del Piano delle Opere e di messa in sicurezza.

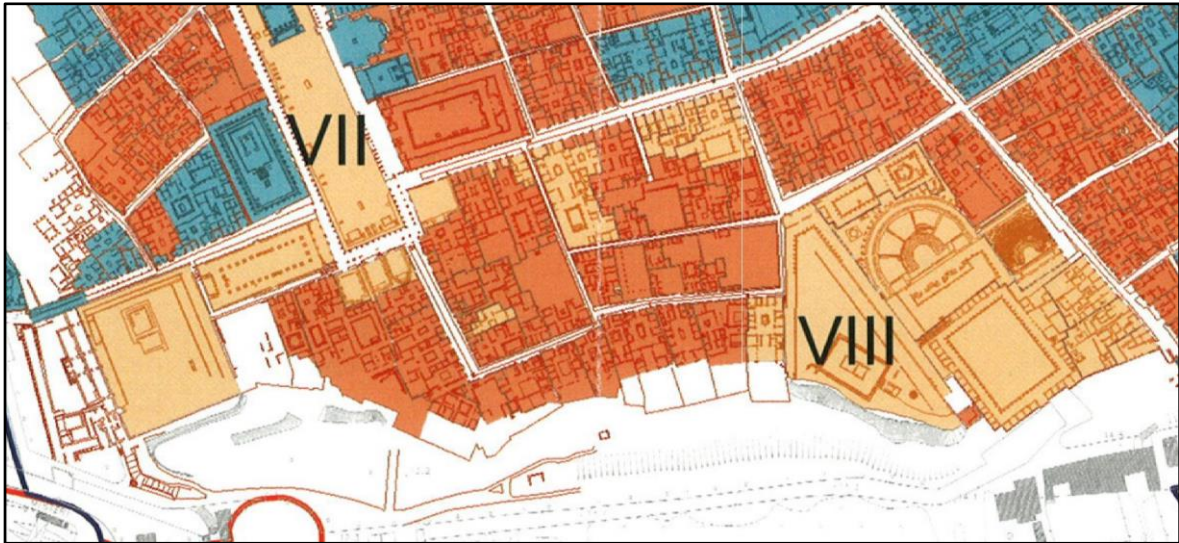


Figura 6.27 - Mappatura del rischio di crolli

La Regio VIII è stata una delle aree più interessate dai crolli dell'ultimo ventennio. La figura 6.27 mostra la porzione della mappatura, redatta nel 2011, delle aree a rischio di crolli già mostrata nel capitolo 5, nella quale vale la pena ricordare che sono colorate in rosso le aree giudicate ad alto rischio, di celeste quelle a medio rischio e di beige quelle a basso rischio di crollo.

Rispetto a questa lettura del rischio, sono evidentemente intervenute altre valutazioni o altri tipi di interventi, perché tra l'aprile e il novembre 2015 la situazione dei cantieri nella Regio VIII è stata la seguente:

- Isola 1: gli interventi sulla Basilica (VIII, 1, 1) ultimati prima dell'estate,
- Isola 2: interamente chiusa al pubblico, con la presenza di cantieri che hanno via via riguardato veri blocchi di unità catastali, pertanto pur essendo tutta area di cantiere erano presenti aree non interessate dai lavori e quindi accessibili con particolari permessi,
- Isola 3: interamente chiusa al pubblico a partire dall'estate 2015,
- Isola 4: interventi terminati prima di aprile 2015,
- Isola 5: ad aprile 2015 erano in ultimazione gli interventi sulle Terme Repubblicane (VIII, 5, 36) e sulla casa delle Pareti Rosse (VIII, 5, 37), da luglio sono iniziati sulla

parte restante dell'Insula,

- Insula 6: interamente chiusa al pubblico per tutto il periodo aprile-novembre 2015,
- Insula 7: gli interventi tra la palestra Sannitica ed il Teatro sono terminati in luglio 2015, quando sono iniziati quelli sulla parte meridionale dell'Insula, in prossimità di porta di Stabia.

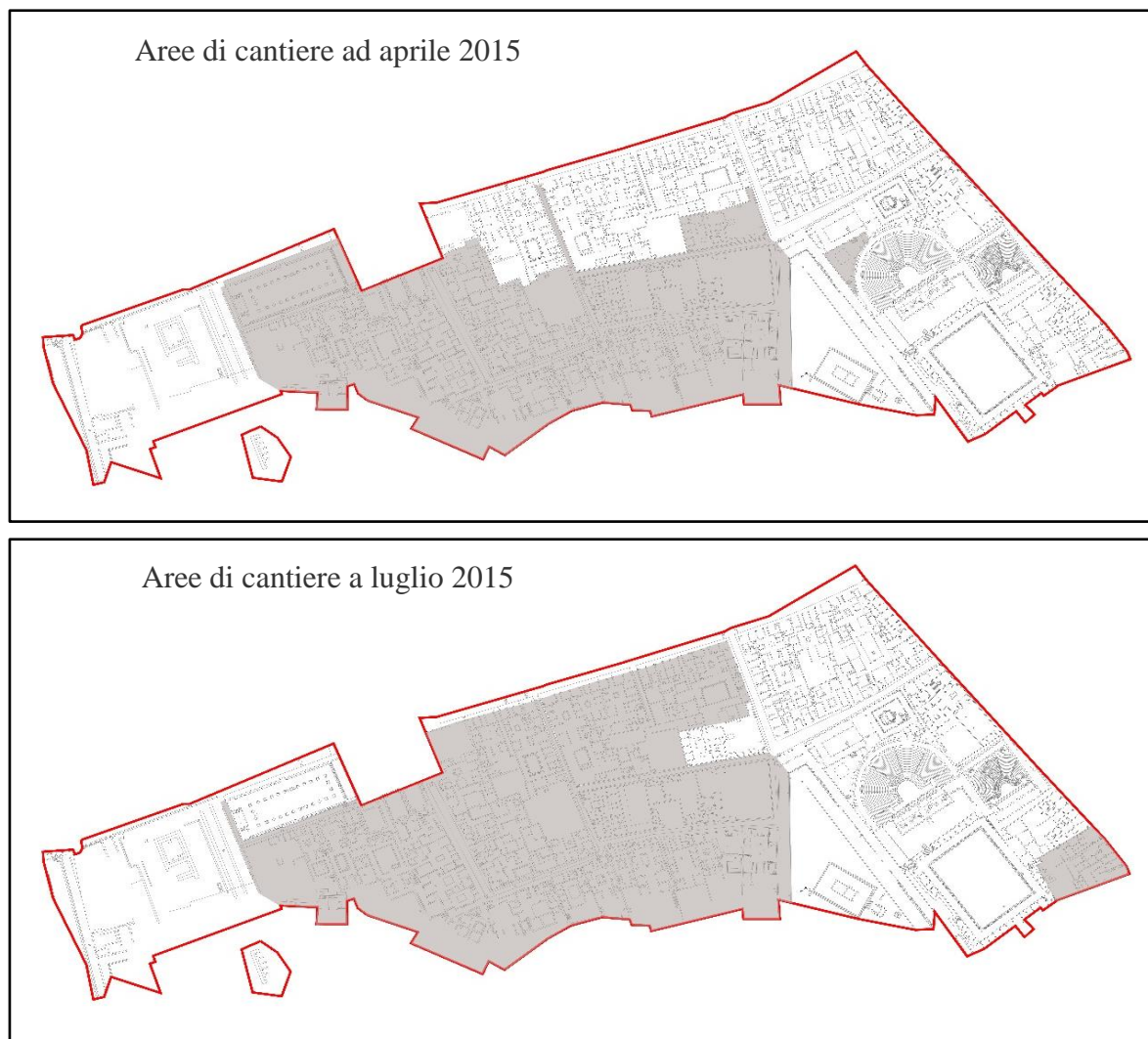


Figura 6. 28- Aree di cantiere presenti nella Regio VIII ad aprile ed a luglio 2015

La sequenza di attività legate agli interventi (chiusura delle aree, accantieramento, esecuzione dei lavori, colludo e riapertura delle aree) non ha tempi certi né prevedibili a priori, quindi una delle maggiori criticità nell'esecuzione dei rilievi è proprio rappresentata dalla impossibilità programmare le varie attività secondo un cronoprogramma noto da subito nella sua interezza, ma dalla necessità di rivederlo continuamente per cercare di accedere alle aree prima del loro accantieramento o immediatamente al termine degli interventi. Un caso eccezionale è rappresentato dall'Isola 6, che è stata interdetta al pubblico per tutto il periodo aprile-dicembre 2015, durante il quale è stata utilizzata per lo più come deposito attrezzi e materiali per gli interventi dell'Isola 2. Lo stesso vale per le strade interne perimetrali all'Isola 2. Chiaramente, previa riunione di coordinamento con tutte le figure preposte alla Sicurezza, è stato possibile accedere alle aree di cantiere ed effettuare i rilievi nelle porzioni con interessate dagli interventi ed anche di quelle interessate nei momenti in cui l'impresa non era al lavoro.

Capitolo 7 – Progettazione dei rilievi geometrico e fotogrammetrico del lotto 6

7.1 Premessa

Nel precedente capitolo si sono riprese le considerazioni in merito alle criticità generali riportate al capitolo 5, applicandole alla realtà del lotto 6 ed ottenendo così quelle che sono state chiamate “criticità specifiche”, a partire dalle quali si studia un criterio analitico che permetta di valutare in modo quantitativo la complessità dei rilievi e della rappresentazione del lotto 6.

Questa proposta di analisi a priori non dovrebbe essere fine a sé stessa, ma dovrebbe rappresentare un supporto analitico alla fase progettuale, che, alla luce dei valori di difficoltà delle varie Insulae, potrebbe orientarsi verso delle diverse metodologie di rilievo differenti per le varie Insulae.

Nel presente capitolo si introduce dunque la progettazione del rilievo geometrico e fotogrammetrico del lotto 6, mentre nel capitolo successivo si descrivono le fasi operative del rilievo ed i termini del trattamento, dell’elaborazione e della restituzione dei dati geometrici.

7.2 Tecniche e strumenti di misura adottati nel rilievo geometrico

Come già scritto, il rilievo geometrico è suddivisibile in tre attività, che possono essere trattate in modo indipendente l’una dall’altra oppure si può pensare di mettere a punto un progetto di rilievo unitario nel quale le varie fasi, pur rimanendo distinte sia in termini operativi, sia dal punto di vista strumentale, tendano ad integrarsi, ottimizzando il più possibile le attività di rilievo geometrico e fotogrammetrico.

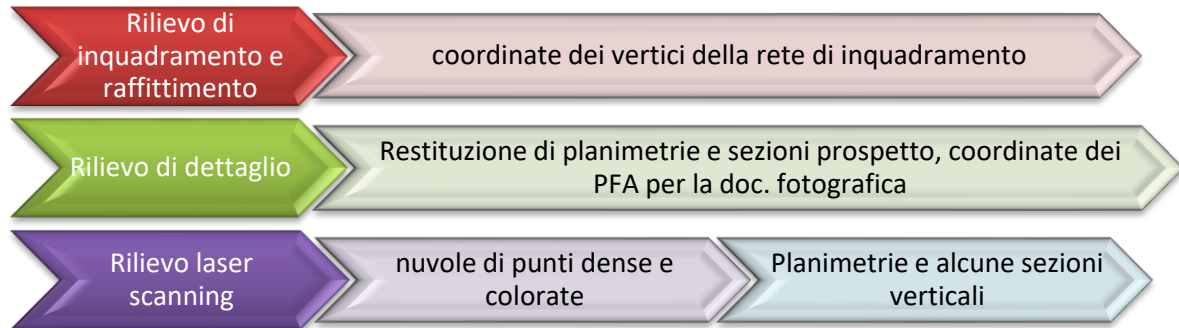


Figura 7.1 – Fasi del rilievo geometrico

7.2.1 Rilievo di inquadramento e raffittimento

Il rilievo di inquadramento è finalizzato a permettere la georeferenziazione degli elaborati grafici, fotogrammetrici e delle nuvole di punti nella RUR, ovvero nella Rete Topografica di Riferimento Ufficiale della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei. Tutte le informazioni raccolte in merito a questa Rete sono state presentate al paragrafo 2.5.2: si tratta di una rete composta da 98 vertici, dei quali 2 situati in posizioni sopraelevate e quindi misurabili con tecniche satellitari GNSS/GPS, sia con stazione totale, 85 distribuiti per tutta l'area degli scavi, generalmente all'incrocio tra le strade e 9 concentrati nel quartiere dei Teatri.

I vertici più prossimi alla Regio VIII sono elencati in tabella 7.1.

Vertice	Tecnica di rilievo	Localizzazione negli scavi
ST 012	stazione totale	Lato sud-est del Foro -> rimaterializzato
ST 025	stazione totale	v. Marina \perp v.lo del Gigante
ST 026	stazione totale	Lato sud-ovest del Foro
ST 042	stazione totale	v. dei Teatri \perp v. Tempio di Iside
ST 044	stazione totale	v. dell'Abbondanza \perp v. Stabiana
ST 045	stazione totale	v. dell'Abbondanza \perp v. dei Teatri
ST 046	stazione totale	v. dell'Abbondanza \perp v.lo interno
ST 047	stazione totale	v. dell'Abbondanza \perp v.lo dei 12 Dei
ST 048	stazione totale	v.lo 12 Dei \perp v.lo della Regina
ST 049	stazione totale	v lo della Regina \perp v. delle Scuole
ST 054	stazione totale	Davanti agli edifici della p.a.
ST 058	stazione totale	terrazza uscita del Tempio di Venere
ST 059	stazione totale	Zona inaccessibile
ST 073	Stazione totale	marciapiede sotto porta Stabiana
ST 074	stazione totale	volta di porta Stabiana
ST 075	stazione totale	scala di uscita da porta Stabiana
GPS 002	GNSS	copertura del Teatro Grande
GPS 40	GNSS	terrazza davanti a villa Imperiale
S 1000	stazione totale	ingresso al quadriportico su v. Stabiana
S2000	stazione totale	ingresso all'Odeion su v. Stabiana
S 3000	stazione totale	v. Stabiana \perp v. del Tempio di Iside
S 4000	stazione totale	v. del Tempio di Iside
S 5000	stazione totale	ingresso nord del Foro Triangolare
S 9000	stazione totale	colonnato est del Foro Triangolare
S 10000	GNSS	vicino al muro del Foro Triangolare

Tabella 7.1 – Vertici della RUR utilizzati nel rilievo di inquadramento del lotto 6

Si tratta di 25 vertici, così suddivisi:

- 16 posti in corrispondenza degli incroci tra le strade principali,
- 2 vertici GNSS/GPS,
- 7 vertici nel quartiere dei Teatri (gli altri non sono stati ritrovati).

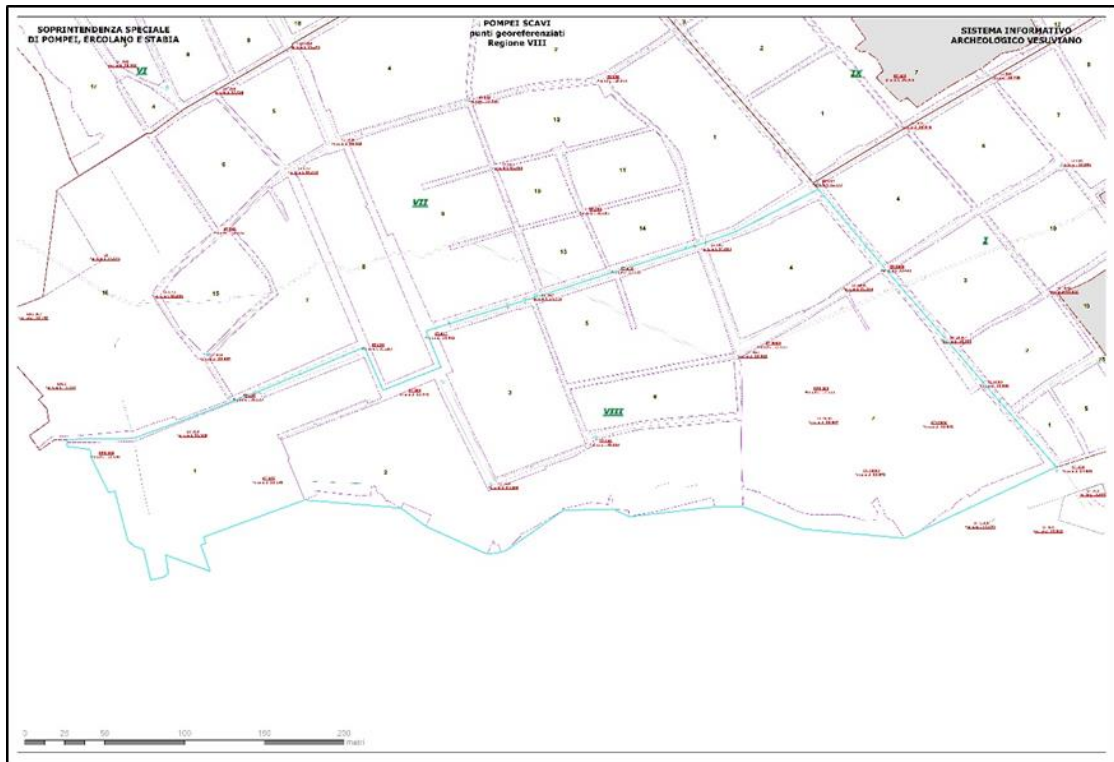


Figura 7.2 - Planimetria della Regio VIII con la posizione dei vertici della RUR

Nonostante il numero consistente di vertici, anche grazie ai 7 concentrati nel quartiere dei Teatri, si valuta necessario raffittire la rete, integrandola con alcuni vertici da materializzare in corrispondenza degli incroci con le strade secondarie, in modo che i successivi rilievi possano appoggiarsi ad una rete a maglie più strette.

Pertanto vengono definite le posizioni dei nuovi vertici e si stabilisce di rilevarli e contestualmente inquadrarli nella RUR, utilizzando tecniche topografiche miste, ovvero integrando misure satellitari (GNSS/GPS) a misure terrestri (stazione totale).

7.2.2 Rilievo di dettaglio

Come è già stato scritto, il rilievo di dettaglio deve acquisire le informazioni necessarie alla rappresentazione delle planimetrie e delle sezioni-prospetto, oltre che permettere la determinazione delle coordinate dei PFA nella RUR.

Al di là degli oggetti da rilevare e rappresentare, di cui si è già ampiamente trattato, e del sistema di riferimento materializzato dalla RUR, i requisiti attesi dalle planimetrie (capitolo 4) sono così riassumibili:

- scala 1:50
- quota del piano di sezione tra 1m e 1,20 m dalla soglia di ogni unità catastale.

7.2.2.1 Implicazioni della scala di rappresentazione

Per quanto riguarda la scala di rappresentazione, sempre tenendo presente la finalità principale degli elaborati grafici (ossia la componente geografica e geometrica del Sistema Informativo), conviene per un momento separare il tema del grado di dettaglio della rappresentazione da quello della precisione nel rilievo. Il primo deve essere tale da permettere la descrizione compiuta dell'oggetto, ma non può prescindere dalle sue caratteristiche e dalle finalità della sua rappresentazione. Molti degli oggetti da rilevare presentano superfici fortemente irregolari, ma non sempre sono significative: la planimetria di una colonna con delle scanalature necessita che queste vengano rappresentate (fig. 7.3), mentre lo stesso elaborato nel caso delle murature (fig. 7.4) non necessariamente richiede che venga descritta la geometria di ogni laterizio.



Figura 7.3 - Colonna della Basilica (VIII, 1, 1)



Figura 7.4- Murature con superfici irregolari (VIII, 4, 27 e N)

Invece, per quanto riguarda le accuratezze del rilievo, la richiesta di fornire degli elaborati grafici descrittivi in scala 1:50 può essere ragionevolmente intesa come riferita alla singola restituzione, dunque si deve progettare il rilievo di dettaglio in modo che la distanza relativa tra due punti qualsiasi nell'elaborato si discosti al massimo di 1 cm rispetto a quella effettiva.

In definitiva quindi si è stabilito di impostare il rilievo di dettaglio in modo da garantire una precisione relativa di qualche centimetro all'interno di ciascuna Insula e di acquisire informazioni tali da potere affermare di conoscere ed eventualmente rappresentare l'intero lotto 6 con livello di dettaglio pari a 1 cm, anche se gli elaborati grafici descrittivi applicano il criterio sopra esposto.

7.2.2.2 Implicazioni della quota del piano di sezione

Si richiede anche che le planimetrie di ogni unità catastale siano definite da un piano orizzontale di sezione compreso in un determinato intervallo di quota (1m-1,20m) calcolata in un sistema altimetrico locale, avente origine sulla soglia di ingresso dell'unità. Questa specifica ha delle forti implicazioni nel rilievo e nella rappresentazione di unità adiacenti, ma anche delle singole unità quando queste sono abbastanza estese. Infatti, ad eccezione dei casi in cui due unità confinanti abbiano un dislivello tra le loro soglie di ingresso inferiore a 20cm, ad unità catastali adiacenti corrispondono planimetrie a quote diverse. In figura 7.5 si evidenziano le unità catastali poste sull'angolo nord-est dell'Insula 4, in rosso quelle che si affacciano su via dell'Abbondanza, in blu quelle su via Stabiana, in corrispondenza dell'incrocio tra le due strade. In figura 7.6 si mostrano i due prospetti appena descritti, evidenziando per ogni civico, per mezzo di due linee colorate parallele poste a quota +1,00m e +1,20m rispetto alla sua soglia, l'intervallo all'interno del quale è necessario sia contenuto il piano di sezione orizzontale.

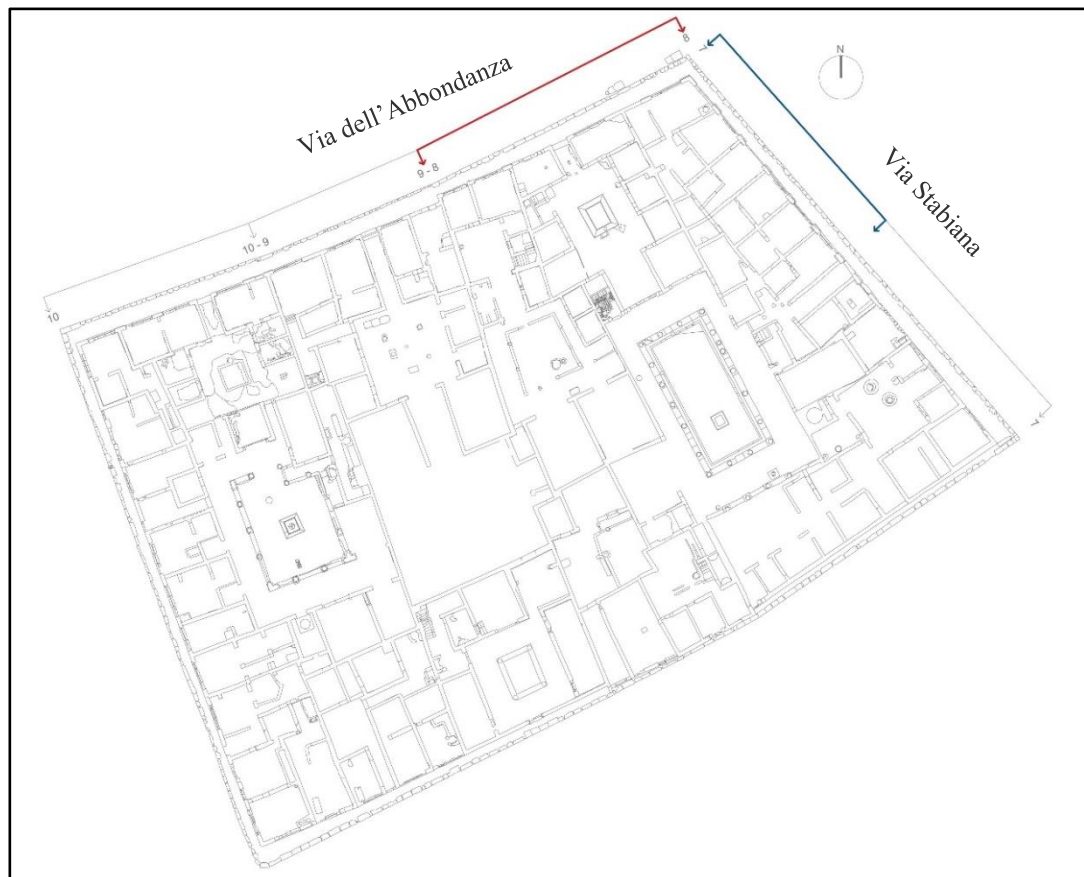


Figura 7.5- Planimetria dell'insula 4 della Regio VIII con indicazione delle sezioni descritte nel testo

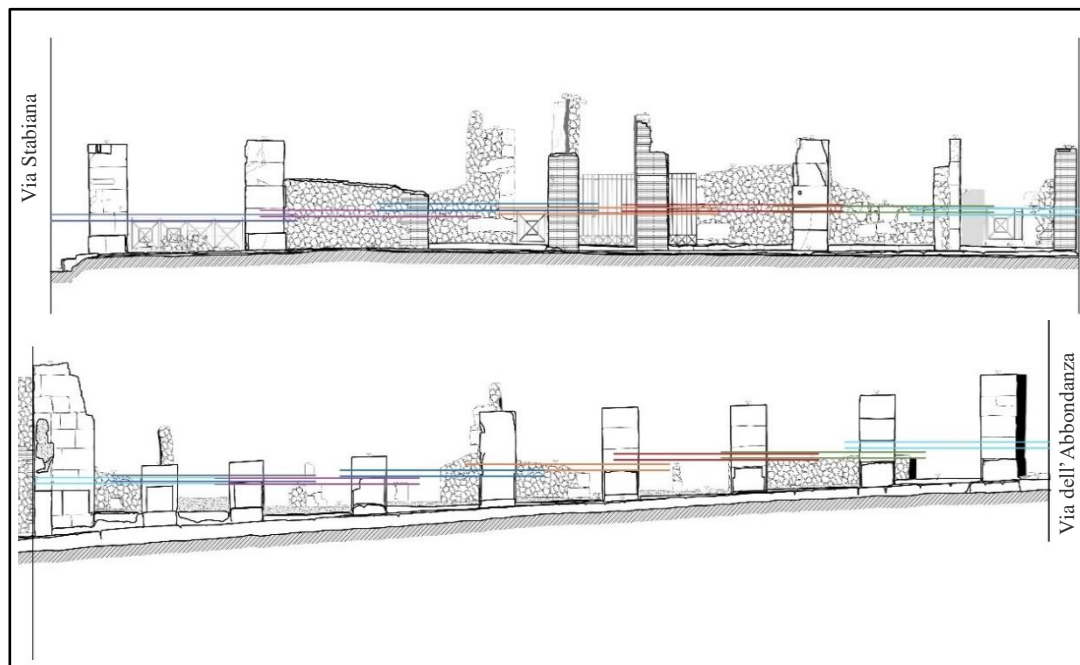


Figura 7.6 - Prospetti su via dell' Abbondanza (sopra) e su via Stabiana (sotto)

Nel primo caso, quindi per gli ultimi civici di via dell'Abbondanza prima dell'incrocio con via Stabiana, si può notare che, trattandosi di un'area senza particolari dislivelli, è possibile individuare un piano di sezione orizzontale che possa adattarsi a più di un ingresso. Il vantaggio si riscontra solo se questi sono adiacenti tra loro e quindi nella zona mostrata si può arrivare a descrivere fino a tre civici con il medesimo piano.

Nel secondo caso, i primi civici di via Stabiana dopo l'incrocio con via dell'Abbondanza corrispondono ad una zona con altimetria molto variabile, pertanto non si riesce, a meno degli ultimi due, a trovare piani comuni tra i civici adiacenti.

Oltre all'aspetto appena affrontato, ovvero la difficoltà di trovare dei piani orizzontali di sezione che rispettino i requisiti del PdC e che si possano adattare a più ingressi adiacenti, bisogna prendere in esame anche gli effetti di questi requisiti sulle unità catastali più articolate. Le indicazioni ricevute dal DE sono di limitare il più possibile il numero di variazioni di piano di sezione all'interno delle singole unità catastali, quando non sia possibile utilizzare il medesimo piano di sezione per descrivere la planimetria dell'intera unità. Si tratta quindi di ottimizzare le variazioni di quota, così da riuscire a contenerne il numero.

Anche in questo caso si portano degli esempi: in figura 7.7 si mostra la planimetria della Casa della Calce o di Popidius Celsinus (VIII, 5, 29), una domus composta da circa 15 vani di dimensioni contenute, distribuiti attorno all'atrio ed al peristilio, che invece sono piuttosto estesi. Trattandosi di un'unica unità catastale (corrispondente al civico 28 dell'Insula 5), tutta la sua planimetria dovrà fare riferimento al piano posto tra 1m e 1,20m al disopra della quota della soglia, pari a 25,55 l.m.m., dunque per esempio a quota 26,65 metri l.m.m. Questo implica che in ciascuno dei vani che la compongono, tutti caratterizzati da un piano di calpestio diverso da quello della soglia, sarà necessario individuare il piano orizzontale posto a quota assoluta 26,65m, rispetto al quale sezionare idealmente le murature, effettuare le misure necessarie per poi riuscire a tracciarne la planimetria. In questo caso le quote dei piani di calpestio dei vani sono comprese tra 24,88 e 26,33 metri l.m.m., pertanto il piano di sezione

fissato a 26,65m riesce a descrivere in modo soddisfacente l'intera domus: in alcuni vani la muratura viene rappresentata a poco più di 30cm dal piano di calpestio ed in altri a circa 1,80, nel primo caso la grande maggioranza degli oggetti è sezionata, nel secondo è a vista.



Figura 7.7- Planimetria della Casa della Calce (VIII, 5, 29) (con i pavimenti non caratterizzati)

Una situazione diversa è offerta dalla casa dei Corneli (VIII, 4, 15) una domus decisamente più estesa della precedente e posta in una zona caratterizzata da pendenze più accentuate, che si compone di più di 30 ambienti di varie dimensioni, affacciati in parte sull'atrio ed in parte sul peristilio (figura 7.8). La soglia su via

dell'Abbondanza ha quota 25,06m l.m.m. e pertanto la quota della sezione orizzontale è stata fissata a 26,20m, i vani affacciati dalla parte opposta dell'Insula, ossia su via del Tempio di Iside, hanno quote del piano di calpestio inferiori, la minore delle quali è pari a 22,68 metri l.m.m, dunque è presente un dislivello di 2,38m (a 57 m di distanza orizzontale).



Figura 7.8- Planimetria della casa dei Corneli (VIII, 4, 15) (con i pavimenti non caratterizzati)

In direzione opposta la situazione è più accentuata, visto che si passa da 22,16 metri l.m.m. sul pavimento dell'ultimo vano dal lato di via Stabiana a 24,71 metri l.m.m. sul pavimento dell'ultima stanza dal lato opposto a via Stabiana, dunque è presente

un dislivello di 2,55 metri in 37 metri di sviluppo lineare orizzontale. La planimetria della casa dei Corneli necessita dunque di più piani di sezione orizzontale, con il primo definito dall'allegato tecnico, il secondo a discrezione dei rilevatori, con appunto il vincolo di minimizzare il numero dei cambiamenti del piano di sezione.

In definitiva gli aspetti da tenere presente nella progettazione del rilievo geometrico di dettaglio sono:

- l'acquisizione di informazioni geometriche tridimensionali con scala di dettaglio non superiore a 1cm,
- l'acquisizione delle informazioni geometriche tridimensionali necessarie a ricostruire graficamente la planimetria di una o più unità catastali ad una quota x bene precisa,
- la valutazione della necessità di variare la quota x di sezione,
- la scelta della quota y di un secondo piano di sezione orizzontale che deve essere ponderata in modo da adattarsi ad una porzione il più estesa possibile dell'unità catastale, in modo che non ne serva un terzo.

Qualora si decidesse di utilizzare tecniche di rilievo di dettaglio tradizionali e quindi puntuali, sarebbe indispensabile pensare ad una modalità di materializzazione, ovviamente virtuale, del piano di sezione, che permettesse di comprendere quali siano esattamente i punti da rilevare.

Le ultime considerazioni sugli aspetti pratici legati ai piani di sezione orizzontali, uniti al grande numero di elementi da acquisire, nonché la presenza, concentrata soprattutto nell'insula 2, di ambienti ipogei, hanno indirizzato la progettazione verso le tecniche automatiche di misura, dunque il laser scanning o la fotogrammetria automatica (SfM). In entrambi i casi verrebbe effettuato un rilievo completo di tutti gli elementi strutturali e decorativi e gli arredi presenti nel lotto 6 con un grado di dettaglio non superiore a 1cm, rimandando alla fase di elaborazione dei dati ogni considerazione in merito a quali elementi restituire, con quale grado di dettaglio ed alla posizione esatta dei piani di sezione (ovvero la quota dei piani orizzontali funzionali alle planimetrie e la giacitura di quelli verticali originanti le sezioni-prospetto).

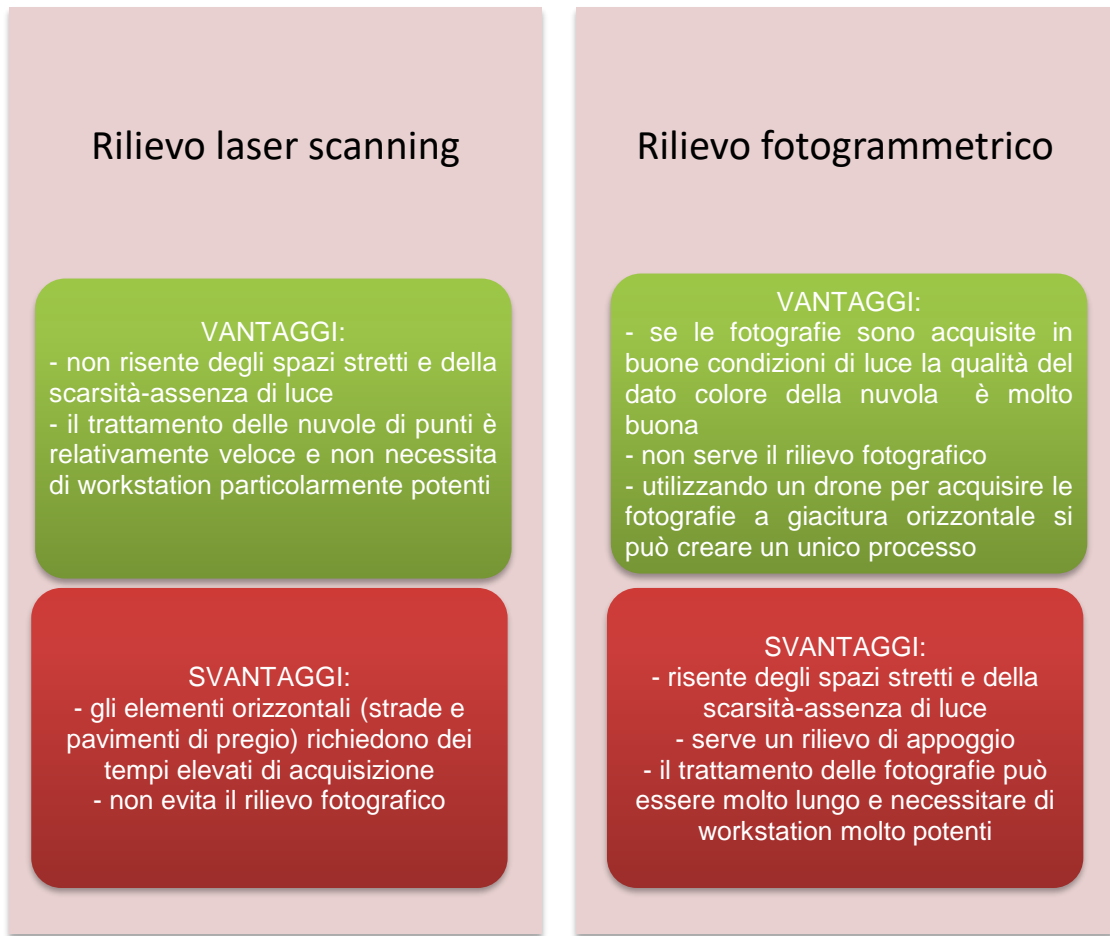


Figura 7.9 - Vantaggi e svantaggi delle due tecniche di rilievo automatico

Il laser scanning terrestre e la fotogrammetria automatica basata sugli algoritmi SfM sono tecniche che consentono di raggiungere dei risultati da tanti punti di vista confrontabili sia in termini di prodotto, quindi le nuvole di punti, sia di accuratezza, ma presentano anche delle grandi differenze, sia teoriche, sia operative. Le prime sono già state affrontate nel capitolo 3, quindi ci si concentra su quelle pratiche, riassunte in figura 7.9, in cui si confrontano i vantaggi e gli svantaggi delle due tecniche automatiche di misura.

Si tratta di una decisione complessa e che presenta delle conseguenze importanti nella realizzazione del rilievo fotogrammetrico, oltre chiaramente di quello geometrico, e del trattamento dei dati. Infatti, scegliere di eseguire il rilevamento con tecnologie laser

scanning e di utilizzare uno strumento che permetta la registrazione diretta delle scansioni, consente di non estendere la rete di raffittimento topografica all'interno di tutti i vani componenti le unità catastali, non rende superfluo il rilievo fotografico, ma in questo caso i PFA necessari al raddrizzamento delle fotografie sarebbero scelti direttamente dalla nuvola di punti. Viceversa, la decisione di adottare la tecnica fotogrammetrica automatica implicherebbe il rilevamento topografico di alcuni punti all'interno di ogni vano dell'unità catastale con la funzione di CGP (Control Ground Point, ovvero i PFA della Fotogrammetria classica), collegandoli così alla RUR, ma non sarebbe più necessario il rilevamento fotogrammetrico, dato che le fotografie raddrizzate sarebbero direttamente ottenibili dal modello complessivo. Il rilevamento di ambienti circondati da pareti alte e strette presenta delle particolari difficoltà nell'auto-orientamento delle fotografie.

Resta quindi da valutare l'aspetto di fattibilità per quanto riguarda i tempi e l'hardware necessari a trattare i dati nei due casi. I software proprietari di gestione delle nuvole di punti sono tutti studiati in modo da permettere la gestione di grandi numeri senza necessitare di lunghi tempi di elaborazione o workstation particolarmente potenti, mentre lo stesso non può dirsi ad esempio di PhotoScan, il programma più conosciuto di fotogrammetria automatica basata su SfM (paragrafo 3.3.2.2.3).

7.2.2.3 Rilievo fotogrammetrico del tempio di Iside

Per avere conferma o meno di questo ultimo aspetto è stato effettuato un test di rilievo e di trattamento fotogrammetrico tramite il software PhotoScan sulla cella del Tempio di Iside (VIII, 7, 28).



Figura 7.10 – Planimetria del Tempio di Iside (VIII, 7, 28)

La cella del Tempio di Iside ha dimensioni molto contenute (3,25 x 3m in pianta), ma presenta tante tra le criticità tipiche degli scavi di Pompei, che rendono il test significativo. La cella è infatti caratterizzata da un apparato decorativo molto diffuso ma poco in rilievo, quindi non facilissimo da intuire, è stretto da due colonnati ortogonali tra loro, da un altare in corrispondenza del suo ingresso e in generale da spazi di presa molto limitati.



Figura 7.12 – Cella del tempio di Iside (VIII, 7, 28)



Figura 7.11 - Prospetto frontale della cella del tempio di Iside (VIII, 7, 28)



Figura 7.13 – Prospetti della cella del tempio di Iside

La fotocamera utilizzata è un modello Canon Eos 7D munita di un obiettivo di distanza focale 35mm, caratterizzata da un sensore CMOS da 18 Mpixel di dimensioni 22,3x14,9 mm e gamma ISO fino a 12800. L'acquisizione delle fotografie ha seguito lo schema di figura 7.14, eseguendo quattro strisciate a circa 5m di distanza dalla cella, ciascuna parallela ad uno dei suoi prospetti esterni, costituita da 4-5 fotografia ciascuna con sovrapposizione media dell'80%, a cui si aggiungono tre fotografie per ogni spigolo.

Al momento del test non era possibile accedere all'ipogeo della cella, quindi non è stato possibile effettuare testare il sistema nelle condizioni più severe, ossia la carenza di luce e gli spazi stretti caratteristici di questi tipi di ambienti.

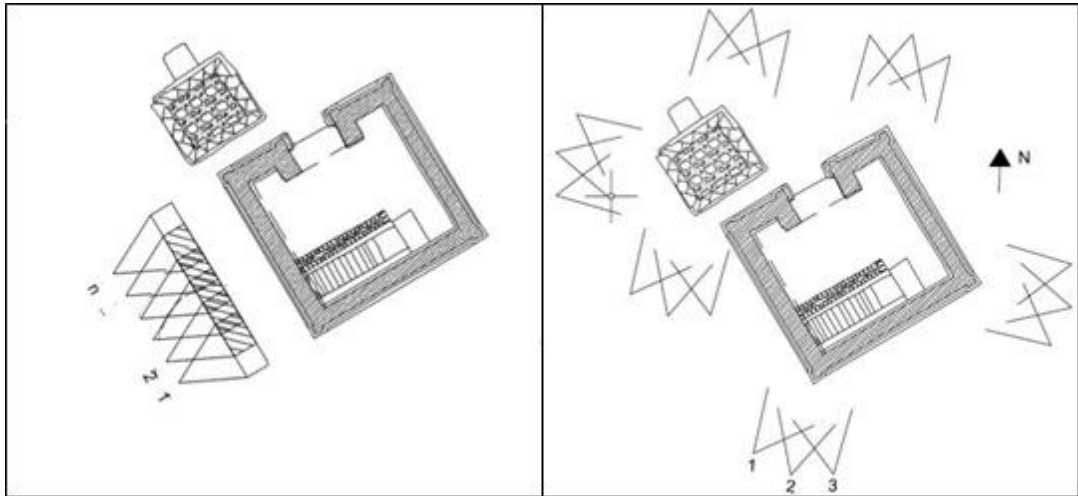


Figura 7.14 - Schema di acquisizione fotogrammetrica della cella del Tempio di Iside

Le fotografie sono state elaborate con Photoscan, procedendo per “chunk” indipendenti, ossia per serie di fotografie, corrispondenti ai quattro prospetti ed all’interno, secondo i passaggi già in parte descritti al paragrafo 3.3.2.2.3 e visualizzati nelle figure dalla 3.21 alla 3.24, che hanno permesso la creazione di una nube densa di punti e di ortoregistrazioni. La prima è stata utilizzata per la vettorializzazione in ambiente Cad, tramite l’applicativo Leica CloudWorx, delle planimetrie e del prospetto frontale della cella, ottenendo degli elaborati confrontabili a quelli restituiti in un secondo momento a partire dalla nuvola acquisita con la ScanStation Leica P30 (figura 7.15).



Figura 7.15 - Confronto tra la restituzione del prospetto da nuvola di punti TLS (rosso) e PhotScan (verde)

Complessivamente il test appena descritto, nel quale probabilmente è stato sovradimensionato il numero di fotografie, ha dimostrato che l'applicazione della tecnica fotogrammetrica permette di acquisire la geometria e la morfologia degli oggetti con il grado di dettaglio ricercato, ma richiede dei tempi di elaborazione maggiori rispetto a quelli necessari al rilevamento ed all'elaborazione tramite laser scanning.

Pertanto, per quanto riguarda gli elementi a giacitura non orizzontale si è preferito mantenere separati il rilievo geometrico da quello fotogrammetrico, effettuando il primo per mezzo di una coppia di TLS (come si vedrà al paragrafo 7.3.1) ed il secondo con delle fotocamere digitali, elaborando le fotografie tramite dei software commerciali di raddrizzamento, utilizzando i punti delle nuvole laser scanner come PFA.

Invece si è stabilito di eseguire il rilievo geometrico e fotogrammetrico degli elementi orizzontali (pavimenti, strade, coperture) applicando la fotogrammetria da drone.

In definitiva quindi, limitatamente alle strade ed alle altre superfici orizzontali, a tutti gli effetti si sono integrate le due modalità automatiche di rilievo 3D di dettaglio.

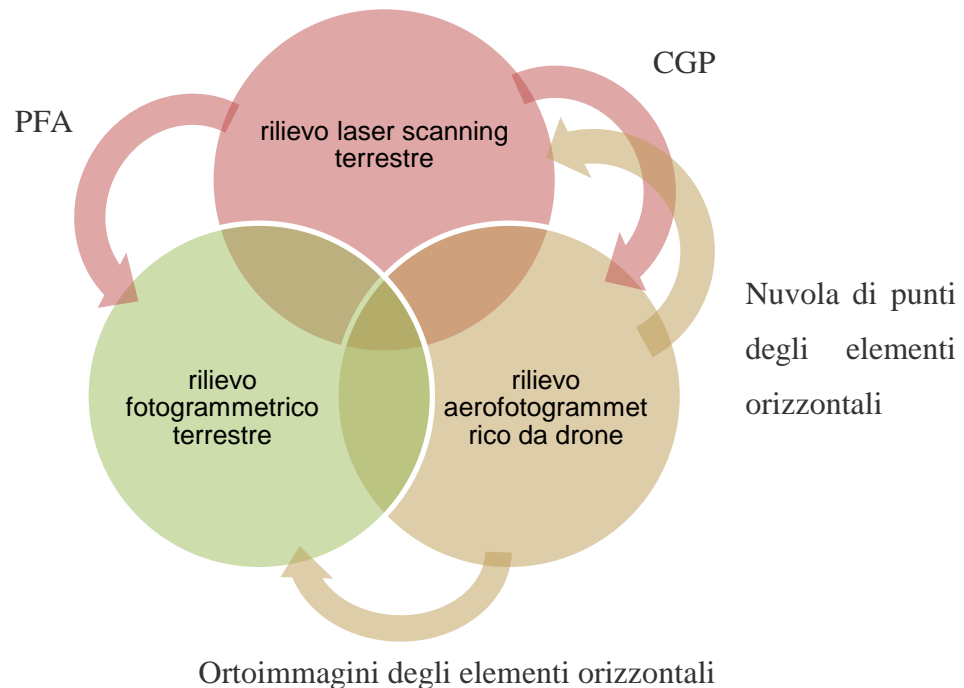


Figura 7.16 - Relazioni tra i rilievi di laser scanner e fotogrammetrici

7.2.3 Rilievo laser scanning dei 5 monumenti

Per quanto riguarda il rilievo laser scanning dei 5 monumenti, la progettazione si limita alla scelta dello strumento e della modalità operativa: viene infatti richiesto l'utilizzo di un TLS laser scanner terrestre dotato di compensatore biassiale e di inquadrare la nuvola di punti nella RUR.



Figura 7.17 - TLS muniti di compensatore

Nella primavera del 2015 i TLS muniti di compensatore biassiale e di caratteristiche tecniche tali da permettere il rilievo dei monumenti come disciplinato nell'allegato tecnico erano sostanzialmente riconducibili a due produttori di strumenti: Leica e Z+F (acronimo di Zoller + Fröhlich). Le caratteristiche tecniche dei due modelli più avanzati (sempre nella primavera 2015) di ciascun produttore vengono sintetizzate in figura 7.17, a partire dalla maggiore differenza che consiste nella modalità di misura della distanza tra centro dello scanner e punto della superficie: gli strumenti Leica utilizzano il principio del Tempo di Volo (TOF), mentre i Z+F quello della differenza di fase ($\Delta\varphi$).

La scelta, dopo essere stata ristretta a due modelli Z+F 5010 e Leica P20, dal momento che il C10 è decisamente più lento in fase di acquisizione, è caduta sul secondo, fondamentalmente perché si conosce meglio il mondo Leica rispetto allo Z+F.

La piattaforma software di Leica dedicata al laser scanning è Cyclone e comprende vari moduli che permettono l'importazione, la registrazione e la modellazione delle nuvole di punti, oltre a CloudWorx che consente di visualizzarle e vettorializzarle in ambiente Cad.

Dal punto di vista delle prescrizioni del PdC, il limite del Leica P20 è la fotocamera integrata, che, pur essendo di qualità decisamente superiore rispetto a quella delle Leica ScanStation precedenti, non consente di ottenere un dato colorimetrico all'altezza di quello geometrico, soprattutto in condizioni di forte alternanza di zone di luce ed ombra. Per rispettare le richieste dell'allegato tecnico, si è quindi optato per distinguere l'acquisizione del dato geometrico da quella del dato colorimetrico e poi integrarli insieme dando luogo a delle nuvole dense di punti colorati. Dunque si è deciso di accoppiare al Leica P20 un apparato fotografico, tale da acquisire delle serie di fotografie (che possono essere eventualmente pre-elaborarle con procedimenti simili a quelli applicati per la documentazione fotografica) da caricare sulla piattaforma software di gestione delle nuvole di punti, Leica Cyclone, che tramite procedure semi-automatiche le utilizza per attribuire ai punti delle nuvole il corrispondente dato colorimetrico.

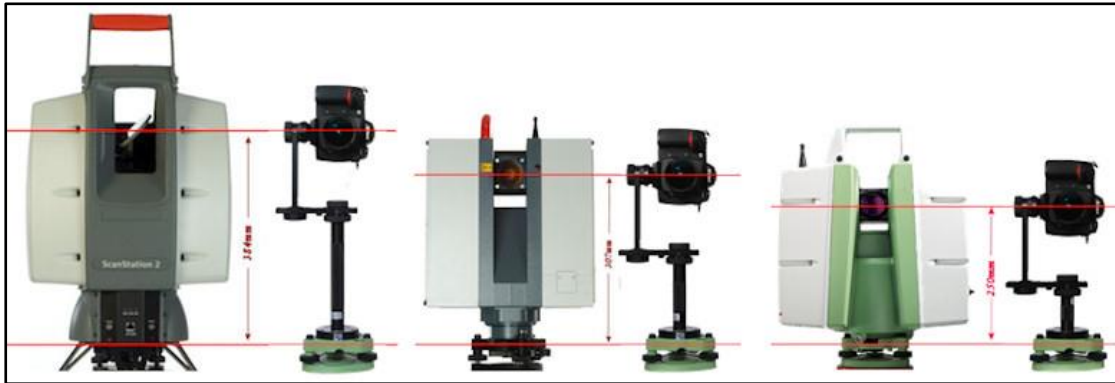


Figura 7.18 - Nodal Ninja

La soluzione più semplice è l'utilizzo di una fotocamera professionale posizionata sulla basetta al posto del TLS per mezzo di un apparato calibrato, ossia tale da potere portare il centro di presa della fotocamera nella medesima posizione del centro del sensore del TLS. Nella figura 7.18 si mostra l'apparato Nodal Ninja, particolarmente versatile tanto da potere essere che può essere utilizzato con vari TLS. Le fotografie così acquisite vengono trattate secondo la procedura esposta in precedenza.

In alternativa possono essere utilizzati degli apparati fotografici costituiti da varie fotocamere coassiali, che quindi permettono in un unico passaggio di ottenere delle fotografie sferiche, che la piattaforma Cyclone riesca a gestire in modo rapido e con dei risultati molto soddisfacenti. Il più diffuso tra questi sistemi è il NcTech Istar (figura 7.19), dotato di 4 obiettivi coassiali di risoluzione 50Mpixel, di una funzione HDR da 3 a 11 esposizioni ed accompagnato dal suo software dedicato con il quale è possibile creare le fotografie sferiche tramite una procedura automatica di stitching. Inoltre il software prevede la correzione automatica della distanza tra il centro del sensore del TLS ed il centro del Istar, e la applica automaticamente alla fotografia sferica, che quindi diventa identica, a meno della rotazione sul piano orizzontale, a quella ottenuta acquisendo le fotografie direttamente con la camera integrata del TLS.

Si è optato per l'impiego del NcTech Istar nell'ottica di disporre più rapidamente della fotografia sferica.



Figura 7.19 - NcTech Istar

7.3 Progetto del rilievo geometrico

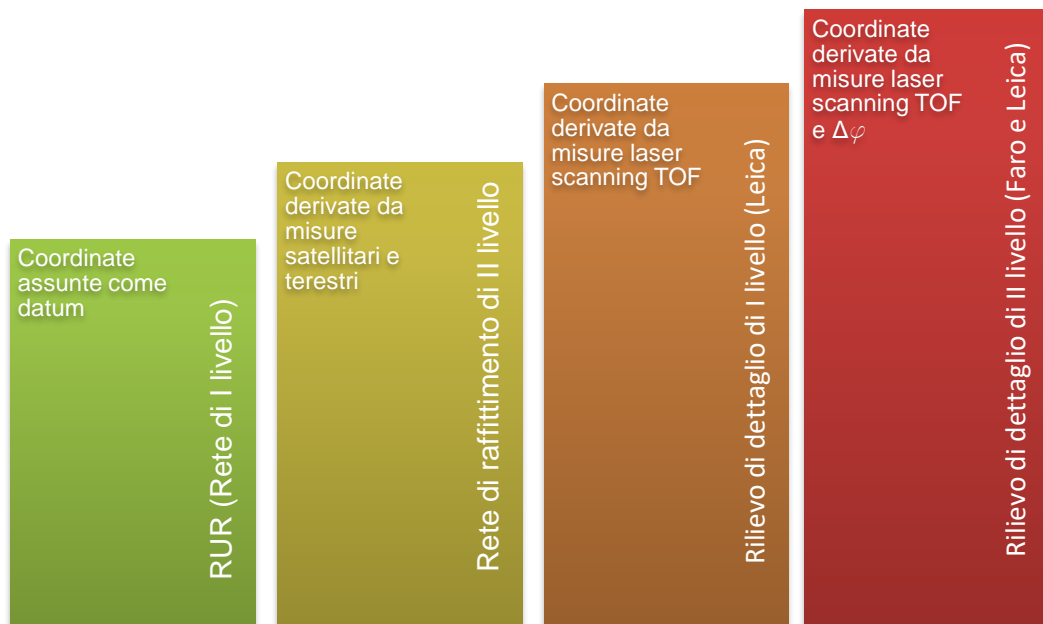


Figura 7.20 - Planimetria della Regio VIII con la posizione dei vertici della RUR

Il progetto del rilevamento del lotto 6 è stato impostato secondo un sistema modulare di reti di inquadramento, di raffittimento e di dettaglio, secondo lo schema di figura 7.20.

Il rilevamento di dettaglio, come visto, è stato pensato impiegando la tecnologia laser scanner, tramite l'utilizzo di una coppia di strumenti di caratteristiche diverse.

7.3.1 RUR o Rete di I livello

La Rete di I livello è stata pensata coincidente con la RUR, già introdotta al paragrafo 2.5.2 e ripresa al 7.2.1.

Le coordinate piane dei vertici della RUR sono espresse nel sistema cartografico Gauss-Boaga, mentre la loro quota è riferita al livello medio mare, come si può constatare dalle monografie fornite dalla Soprintendenza (figura 4.15).

Come già scritto in fase progettuale, i vertici della RUR che interessano il lotto 6 sono i 25 elencati in tabella 7.1, le loro coordinate e la loro posizione relativa si ritengono prive di errore, anche se in fase di rilevamento si prevede di ricalcolarle e quindi verificarle.

7.3.2 Rete di II livello

La Rete di II livello rientra nella definizione di Rete Topografica di Raffittimento: è finalizzata dunque ad accrescere il numero di vertici di coordinate note nella RUR, tramite la materializzazione e la misura di vertici in corrispondenza degli incroci tra le strade secondarie e degli accessi ai monumenti ed alle domus principali. I vertici della RUR, integrati con quelli della Rete di II livello, costituiscono la Rete Topografica Globale, che è viene nel seguito utilizzata per il corretto e preciso inquadramento dei rilievi laser scanner e fotogrammetrici.

Per la materializzazione dei vertici della Rete di II livello si stabilisce di utilizzare dei chiodi topografici in acciaio, da rimuovere, a meno di diverse indicazioni, al termine dei rilievi, come richiesto dalla Soprintendenza.

Si progetta di inquadrare i nuovi vertici a partire da quelli della RUR, per mezzo di baseline GNSS e di misure di angoli e distanze ottenute con stazioni totali di precisione,

secondo uno schema derivante dall'analisi di pre-compensazione, che può essere via via rivisto al termine di ciascuna campagna di misure, alla luce dei risultati della compensazione ai minimi quadrati sulle letture già effettuate (con codici di calcolo specifici per reti geodetiche-topografiche). La tolleranza ammessa per le coordinate dei nuovi vertici nella RUR è tale da accettare ellissi d'errore standard con semiassi non superiori a 2cm.

7.3.3 Rilievo di dettaglio di I e II livello

Come conseguenza della scelta di effettuare il rilevamento di dettaglio tramite strumentazione laser scanner, si rende necessario studiare un metodo di inquadramento delle nuvole di punti di dettaglio nella Rete Topografica Globale. Al paragrafo 3.4.2.6 si sono introdotte le due modalità moderne di rototraslazione delle nuvole di punti, la registrazione diretta (stazionando ed orientando il TLS su una base topografica nota) e il "cloud to cloud" (tramite un algoritmo del tipo "point to mesh"). La seconda è sempre applicabile, mentre la prima lo è solamente nel caso di TLS muniti di sistema di centramento e software topografici, meglio se in presenza di un compensatore biassiale. Le altre differenze sono sintetizzate in figura 7.21.

Registrazione diretta	Registrazione "cloud to cloud"
<ul style="list-style-type: none">• Non occorre sovrapposizione tra le scansioni successive, dunque il loro numero complessivo è inferiore• Bisogna materializzare due o più vertici• L'elaborazione, quando il rilievo avviene per poligoni chiusi o note agli estremi, si limita alla verifica delle coordinate ed al limite alla loro correzione	<ul style="list-style-type: none">• Le scansioni successive devono presentare una area di sovrapposizione pari ad almeno il 30% dei punti acquisiti da ciascuna di esse• Non occorre materializzare i vertici• Alla fase di campagna ne fa seguito una di elaborazione dei dati (registrazione delle scansioni) della durata doppia rispetto all'acquisizione

Figura 7.21 - Confronto tra le modalità di registrazione delle scansioni

Ancora una volta si ritiene che l'integrazione risulti la soluzione migliore e si definiscono due livelli di rilievo di dettaglio: il I livello, che applica la registrazione diretta, ed il II livello, che utilizza il "cloud to cloud".

Il rilevamento di dettaglio di I livello viene progettato in modo da articolarsi lungo delle poligoni chiuse, o aperte con estremi vincolati, includendo sempre almeno una base topografica di vertici della Rete Topografica Globale: diventa così possibile a posteriori controllare l'errore di chiusura ed eventualmente correggere le coordinate dei punti di stazione. Si ipotizza di materializzare il numero indispensabile di nuovi vertici, privilegiando l'utilizzo dei tanti vertici di cui gli scavi sono disseminati o di punti naturali opportunamente scelti per la loro riconoscibilità. Le nuvole di punti così ottenute sono inquadrare nella RUR.

Il rilevamento di dettaglio di II livello invece viene studiato per la registrazione "cloud to cloud", così da limitare al massimo i tempi di acquisizione, in favore dell'aumento del grado di dettaglio. Le molteplici nuvole ottenute sono riferite al sistema di riferimento scanner e vanno registrate tra loro e poi inquadrare nella RUR per mezzo della nuvole di dettaglio di I livello.

Utilizzando una similitudine non nuova in questo ambito, la rete di dettaglio di I livello ha il compito di fornire lo "scheletro" sul quale vengono orientate le scansioni di dettaglio di II livello: ha quindi la duplice funzione di irrigidire e inquadrare.

Dal punto di vista strumentale, per i medesimi motivi già esposti nel paragrafo 7.2.3 a proposito del rilevamento laser scanning dei 5 monumenti, si è stabilito di impiegare anche nel rilievo di dettaglio di I livello il TLS Leica ScanStation P20. In linea generale la nuvola di dettaglio di I livello ha interessato tutte le strade incluse nel lotto e perimetrali alla Regio VIII, compreso il suo confine meridionale (figura 7.22) e, al fine di creare un ulteriore vincolo alle nuvole di punti di dettaglio di II livello, gli ambienti di dimensioni maggiori dei monumenti più importanti. L'obiettivo è di mantenere gli errori di chiusura delle poligoni del medesimo ordine di grandezza degli ellissi di


errore standard dei vertici della Rete di Raffittimento.



Figura 7.22 - Confine meridionale della Regio VIII

Per quanto riguarda il rilievo laser scanning di dettaglio, fermo restando la possibilità di impiegare anche in questo caso il Leica P20 si è optato per l'utilizzo di uno strumento più maneggevole, il TLS Faro Focus3D X130.

Le specifiche tecniche del Faro Focus 3D sono mostrate in figura 7.23, quelle del Leica P20 in figura 7.17, si tenga presente che quest'ultimo pesa 13 kg ed ha dimensioni 24 x 36 x 40 cm.



Faro Focus 3D X130

- Tecnologia a differenza di fase
- Errore lineare $\pm 2\text{mm}$
- Portata 0,6-130m
- Risoluzione verticale/orizzontale $0,009^\circ/0,009^\circ$
- Velocità di misura: fino a 976.000 p.ti/sec
- Fotocamera integrata
- Peso 5,2 kg
- Dimensioni 24 x 20 x 10cm

Figura 7.23 – Principali caratteristiche tecniche del Faro Focus 3D

Si mostrano di seguito due snapshot della nuvola di punti dell'Insula 2, nella prima si vede solamente la nuvola di dettaglio di I livello, nella seconda si aggiungono anche quelle di II livello.



Figura 7.24 - Insula 2 – Nuvola di dettaglio di I livello

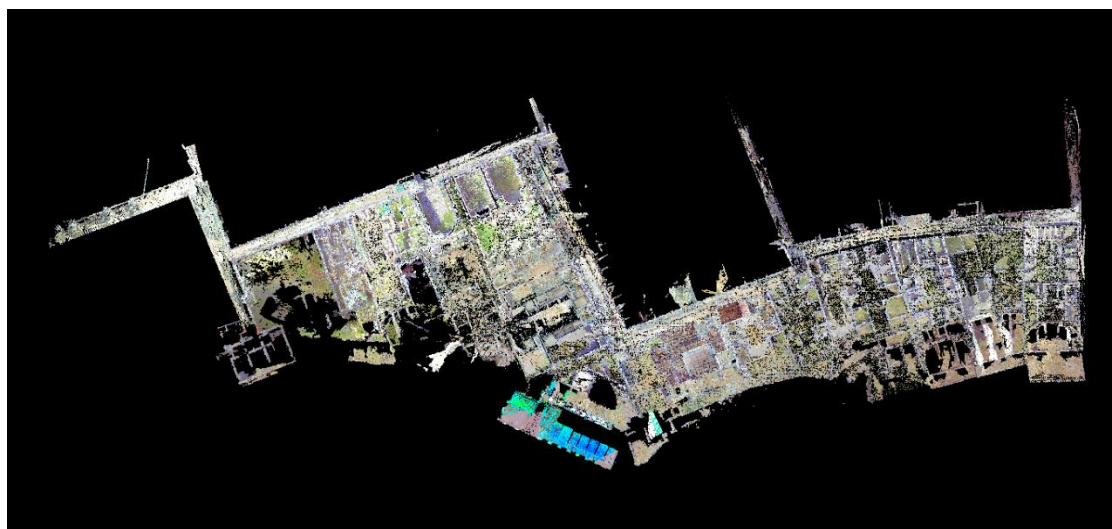


Figura 7.25 - Insula 2 - Nuvola di dettaglio di I livello + nuvole di dettaglio di II livello

7.4 Progetto del rilievo fotogrammetrico

Il rilievo fotogrammetrico è stato effettuato sia da terra, sia da drone, con differenti finalità e, quindi diverse modalità operative in fase di acquisizione e di elaborazione delle immagini.

Nel primo caso vengono acquisite tutte le fotografie richieste dall'allegato tecnico nell'ambito della cosiddetta "documentazione fotografica", che sono in seguito raddrizzate utilizzando come Punti Fotografici di Appoggio (PFA) i punti della nuvola acquisita nel corso del rilievo laser scanning di dettaglio (paragrafo 7.3.1) inquadrata nella RUR.

Nel secondo caso il legame tra le fotografie aeree e la nuvola di punti non è più univoco, come nel caso delle fotografie terrestri, ma biunivoco. Le immagini aeree vengono elaborate utilizzando dei programmi basati sugli algoritmi SfM, che riescono a ricreare una nuvola di punti a partire dalle fotografie, questa viene scalata ed orientata utilizzando le coordinate di alcuni Control Ground Points (CGP) riconoscibili sulla nuvola di punti globale ed infine si ottengono le ortofoto. Ma contemporaneamente la nuvola di punti ottenuta dal rilievo aerofotogrammetrico viene utilizzata per completare quella ottenuta tramite laser scanner terrestre, aumentando le informazioni inerenti alle superfici orizzontali che, altrimenti, sarebbero dovute essere acquisite in moltissimi punti di stazione laser scanner.

7.4.1 Rilievo fotogrammetrico terrestre

Il rilievo fotogrammetrico terrestre segue le linee guida dettate dall'allegato tecnico, a partire dalla strumentazione (ad eccezione dell'utilizzo dei sistemi ottici a corpi mobili, sostituito come si vedrà nel seguito, nelle situazioni di mancanza di spazio di presa, da particolari modalità di acquisizione e trattamento dei dati), per seguire con le modalità di acquisizione delle fotografie digitali e per finire con il procedimento di elaborazione fotografica e raddrizzamento fotogrammetrico.

Come già anticipato nell'introduzione del paragrafo le coordinate dei quattro PFA (Punti Fotogrammetrici di Appoggio) richiesti dalle procedure di raddrizzamento delle fotografie non sono ottenute tramite un rilevamento topografico ad hoc, ma vengono

direttamente utilizzate quelle di quattro punti opportunamente scelti tra quelli appartenenti alla nuvola di dettaglio, selezionati in modo da risultare facilmente individuabili su di essa e sulle corrispondenti fotografie. La consultazione delle nuvole di punti, così come la predisposizione automatica delle monografie dei PFA avvengono in ambiente Internet Explorer, utilizzando TrueView, l'applicativo di Leica che permette di navigare ed interrogare le nuvole di punti direttamente sul browser.

7.4.1.1 Procedura applicata agli ambienti stretti ed agli oggetti non piani

Come si è già evidenziato nel capitolo 6, una delle principali criticità operative del rilievo fotogrammetrico è rappresentata da un rapporto sfavorevole tra l'altezza (o l'estensione) della superficie da rilevare e lo spazio prospiciente la superficie stessa, dove quindi è possibile posizionare il punto di presa. A valori alti di questo rapporto conseguono delle grosse difficoltà o l'impossibilità di acquisire la superficie in un'unica presa, anche utilizzando le ottiche sulla minima lunghezza focale per massimizzare l'area inquadrata dalla breve distanza.

Nel lotto 6 ci sono molte situazioni come quella appena descritta, a partire dai vari ambienti ipogei, pertanto si è definita una procedura di acquisizione delle fotografie che considera tutte le possibili condizioni operative nelle quali non sia possibile acquisire le immagini secondo le modalità sopra presentate.

Quando la superficie ha estensione e spazio prospiciente tale da essere inquadrabile con un angolo di vista di circa 120° , da un punto di presa unico si sono effettuati dei set di fotografie, che successivamente sono stati mosaicati (utilizzando Photoshop o PTGUI), ottenendo infine una fotografia "panoramica". Il resto del procedimento si è svolto come nel caso di singoli scatti.

Viceversa, quando l'angolo di vista supera i 120° , le fotografie sono state trattate tramite dei software basati sull'algoritmo "Structure from Motion" (SfM) per l'orientamento automatico delle camere, e sull'algoritmo "Image Matching" (IM) per


produrre nuvole di punti 3D dense a colori, grazie alle quali riproiettare sul piano della parete l'immagine della struttura acquisita. L'acquisizione di un blocco SfM inizia con l'acquisizione di due fotografie dal medesimo punto di presa, la prima con i riferimenti e la seconda senza, per poi proseguire fino a coprire l'intera superficie (queste fotografie vengono acquisite senza i riferimenti); in questo modo l'immagine ottenuta non contiene i riferimenti.

Infine, nei casi nei quali il rapporto tra gli spazi è proibitivo, si sono utilizzate delle immagini a colori estratte dalla nuvola del laser scanner.

Una seconda criticità è legata all'impossibilità di individuare 4 punti complanari, per esempio nel caso delle colonne, ancora peggio se dotate di scanalature. In questi casi le alternative sono l'applicazione delle procedure fotogrammetriche SfM o l'estrazione di una loro immagine a colori dalla nuvola di punti.

7.4.2 Rilievo fotogrammetrico da drone

Per il rilievo aerofotogrammetrico si utilizza un esacottero modello Aibot X6 versione 2 di Aibotix, le cui principali caratteristiche sono sintetizzate in figura 7.26; si tratta di un drone di dimensioni importanti che riesce quindi a trasportare una fotocamera piuttosto pesante.



Aibotix Aibot X6 v. 2

- esacottero realizzato in polimero di fibra di carbonio rinforzata
- Peso senza batterie: 5,4kg
- Peso trasportabile: fino a 2kg
- Velocità di volo: fino a 50km/h
- Quota di volo: fino a 1.000m sulla terraferma, 3.000 sul mare
- Durata del volo: fino a 30 min
- Dotazione minima di sensori: ricevitore GPS, giroscopio, accelerometro, barometro, magnetometro, sensori ultrasonici

Figura 7.26 - Aibotix Aibot X6 v. 2



Figura 27 - Aibot nel Teatro Grande

Nel caso specifico è stata utilizzata una fotocamera reflex digitale Sony Nex 7, che si presta molto bene all'utilizzo su drone perché il suo corpo è realizzato in una speciale lega di magnesio, che la rende robusta, compatta ed al contempo leggera (291 grammi il peso del corpo macchina), contemporaneamente presenta delle buone prestazioni fotografiche, dato che monta un sensore APS HD CMOS da 24,3 Mpixel.

Capitolo 8 – Rilievi geometrico e fotogrammetrico del lotto 6

8.1 Premessa

Dopo avere analizzato le richieste dell'allegato tecnico del Piano della Conoscenza (capitolo 4) ed averle contestualizzate alle criticità e singolarità presentate dalla Regio VIII (capitolo 6), nel capitolo 7 si sono descritte le scelte progettuali effettuate in merito all'esecuzione dei rilievi geometrico e fotogrammetrico ed alla loro restituzione.

In questo capitolo vengono quindi introdotte le campagne di misura geometriche e fotogrammetriche, i controlli eseguiti in corso d'opera per verificare il rispetto delle tolleranze fissate prima dell'inizio dei lavori e le fasi di analisi, elaborazione e restituzione dei dati.

8.2 Composizione del gruppo di lavoro

Il gruppo di lavoro è composto dall'impresa Apoikia come mandante del RTI (Raggruppamento Temporaneo di Imprese) e da ATS e Zenith Ingegneria come mandatarie, oltre che da consulenti esterni provenienti dal mondo dell'Università: il prof. Andrea d'Andrea del Centro Interdipartimentale di Servizi per l'Archeologia (CISA) ha rivestito il ruolo di Capo Progetto, il prof. Gabriele Guidi (Dipartimento di Design del Politecnico di Milano) di Responsabile Tecnico Scientifico, il prof. Alberto Pellegrinelli (Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara) di Consulente Tecnico in ambito Cartografico, il prof. Michele Russo (Dipartimento di Design del Politecnico di Milano) di Responsabile del rilevamento laser scanner di dettaglio a differenza di fase, le dott. sse Sara Gonizzi e Laura Micoli ((Dipartimento di Design del Politecnico di Milano) per il trattamento fotogrammetrico della documentazione fotografica.

Apoikia Srl è una società costituita da Archeologi professionisti, ha sede a Napoli ed opera da alcuni decenni nel campo della tutela, della valorizzazione e della fruizione del patrimonio archeologico. Lavora principalmente in progetti di recupero, salvaguardia e valorizzazione dei siti e dei complessi archeologici per conto delle Soprintendenze

Archeologica Speciale di Napoli e Pompei, della Soprintendenza per i beni Archeologici di Caserta, Avellino, Salerno e Benevento, per la Soprintendenza per i Beni Ambientali ed Architettonici di Napoli, per il Comune di Napoli e per committenti privati. Si avvale della consulenza dei poli universitari campani e di centri di ricerca specializzati, nell'ambito dei quali si segnala la collaborazione con l'Università agli Studi di Napoli "L'Orientale", con il CISA e con il Centro di Ricerca per l'Informatica e l'Automazione Industriale di Portici – NA (CRIAI).

ATS Srl (Archaeolandscapes Tech & Survey Srl) nasce all'inizio del 2009 come impresa spin-off dell'Università di Siena, con l'intento di mettere a frutto le conoscenze acquisite in ambito universitario nel settore dei Beni Culturali e Paesistici. Offre servizi tecnologici per la gestione del territorio e del patrimonio culturale ed ambientale, servizi di archeologia preventiva, monitoraggio ambientale, cartografia archeologica e storica su base GIS, analisi paesistica.

Zenith Ingegneria Srl, anche essa impresa spin off dell'Università degli Studi di Ferrara a partire dalla sua fondazione nel 2007 progetta, sviluppa e applica sistemi di rilevamento del territorio e dell'ambiente costruito, nonché di monitoraggio delle deformazioni del terreno e delle strutture, con particolare attenzione alla ricerca delle soluzioni tecnologicamente più avanzate, anche basate sull'impiego dei più moderni strumenti di misura e di elaborazione dei dati. Dispone infatti di stazioni totali ad alta precisione e di livelli digitali, di laser scanner 3D, di ricevitori GPS di ultima generazione e software per il trattamento numerico dei dati e la modellazione 3D.

8.2.1 Composizione delle squadre dedicate a rilevamenti e restituzioni

Le operazioni di rilievo geometrico e fotogrammetrico e restituzione degli elaborati grafici vettoriali e della documentazione fotografica sono stati suddivise tra vari professionisti singoli o raccolti in squadre, secondo il seguente schema.

A. Rilievo:

- squadra di rilevatori incaricata dei rilievi geodetici delle Reti Topografiche di

Inquadramento e Raffittimento e laser scanning delle Reti di Raffittimento e dei cinque monumenti,

- squadra di rilevatori addetta ai rilievi laser scanning di dettaglio,
- squadra di fotografi deputati all'acquisizione della documentazione fotogrammetrica da terra,
- coppia di piloti di droni incaricati dell'acquisizione delle fotografie aeree,
- squadre di archeologi con il compito di completare i rilievi geometrici tramite la caratterizzazione della tessitura muraria (indagine visiva).

B. Elaborazione:

- tecnico incaricato di compensare e verificare le Reti Topografiche di Inquadramento e Raffittimento,
- tecnico deputato alla verifica delle coordinate ed eventuale correzione dei vertici della poligonale laser scanner di dettaglio di I livello e delle nuvole di punti dei cinque monumenti,
- tecnici incaricati di allineare, orientare e verificare le nuvole di punti laser scanning del rilievo di dettaglio di II livello,
- tecnici deputati al trattamento fotogrammetrico delle fotografie acquisite da drone tramite software SfM ottenendo le corrispondenti nuvole di punti e le ortofoto,
- restitutori addetti alla rappresentazione in ambiente Cad di planimetrie e sezioni-prospetto a partire dalle nuvole di punti,
- restitutori dedicati alla produzione delle fotografie raddrizzate.

A questi chiaramente vanno aggiunti i professionisti, ingegneri strutturisti, architetti restauratori, archeologi e restauratori, che, suddivisi in squadre ispettive, hanno valutato lo stato di degrado di tutti gli elementi catalogati nell'anagrafica del lotto 6. Nell'insieme lo schema di lavoro è sintetizzato in figura 8.1.

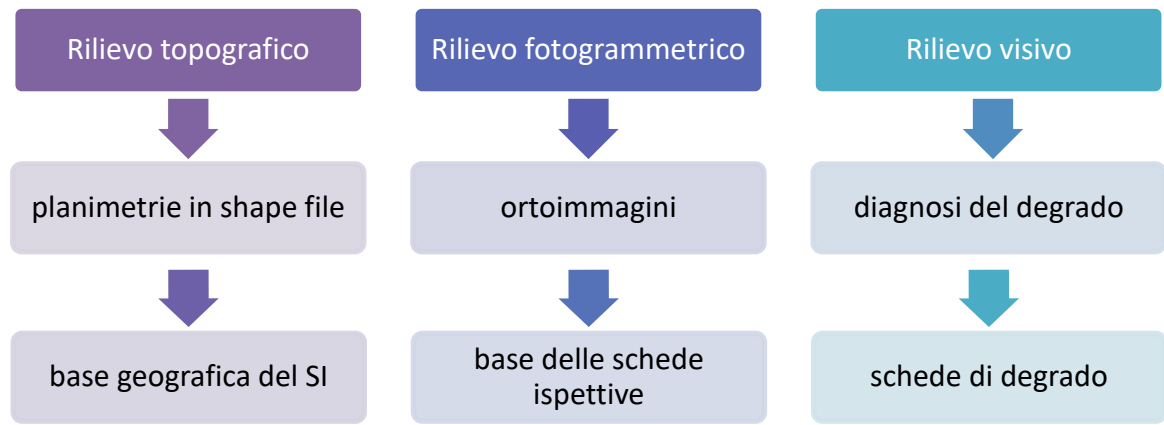


Figura 8.1 - Schema di processo complessivo di esecuzione del PdC

8.3 Rilievo topografico

Le campagne di misure topografiche hanno avuto inizio in aprile 2015 e termine nel novembre dello stesso anno, con lunghe pause estive legate alla presenza di cantieri che non permettevano la corretta acquisizione delle informazioni geometriche e morfologiche.

La figura 8.2 illustra lo schema concettuale adottato nei rilevamenti topografici: è stato strutturato su un sistema modulare di Reti di Raffittimento, che permettono l'inquadramento del rilevamento laser scanning di dettaglio e della documentazione fotogrammetrica nella RUR (Rete Topografica di Riferimento Ufficiale della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei) e di rilievi di dettaglio.

La prima campagna di misure si è concentrata sull'istituzione della Rete di II livello sull'intera superficie del lotto 6, successivamente ampliata in alcune aree inizialmente interessate da cantieri. I rilievi laser scanning di dettaglio sono iniziati nel mese di maggio 2015, a partire dalle Insulae 4 e 5 per poi estendersi alle altre, quando possibile provando a completarne una prima di passare alla successiva. Il grosso del lavoro è stato terminato con settembre 2015, ma nel periodo immediatamente successivo sono state necessarie delle piccole integrazioni, legate a situazioni contingenti e limitate a piccole porzioni di scavi. Le ultime scansioni eseguite, ad inizio novembre, hanno avuto per oggetto il prospetto nord della Basilica, il cui restauro era terminato pochi giorni prima.

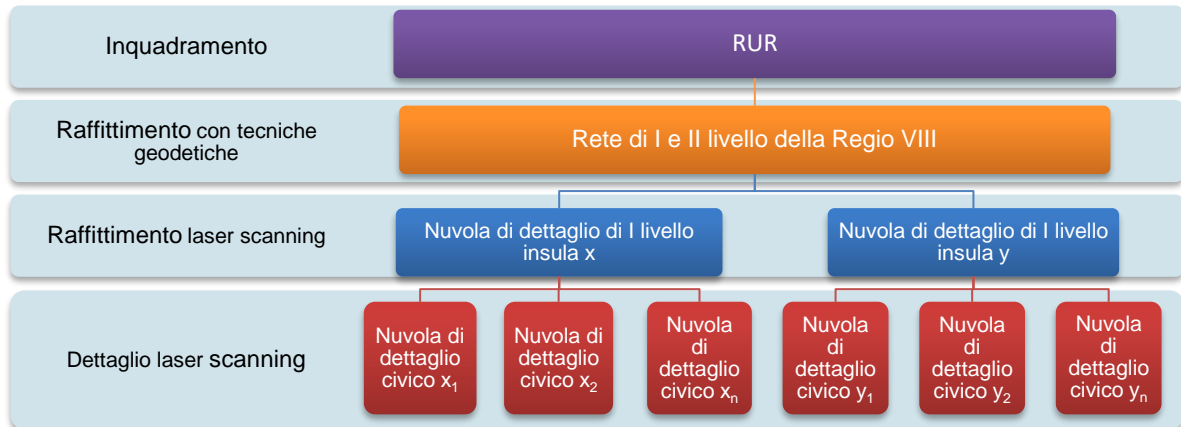


Figura 8.2 - Struttura dei rilevamenti topografici

8.3.1 Rilievo topografico di inquadramento e di raffittimento

Il progetto preliminare della Rete di II livello prevede la materializzazione di vertici permanenti in corrispondenza di ogni incrocio stradale nel quale non fosse già presente un vertice della RUR e davanti ad ognuno dei 5 monumenti da rilevare con tecnica laser scanning e di vertici temporanei lungo le strade ed all'interno degli atri o dei peristili delle domus principali in modo da irrigidire la Rete di Raffittimento e di mettere a disposizione del successivo rilevamento laser scanning alcune basi topografiche di lunghezza non superiore a 25-30m.

In fase esecutiva, pur mantenendo pressoché invariato il numero complessivo dei vertici di raffittimento, si sono modificate le modalità di materializzazione dei vertici, che quindi sono stati ridistribuiti tra le Reti, che nella versione definitiva hanno assunto le seguenti dimensioni.

- Rete di II livello materializzata in modo permanente: si compone di solamente 3 vertici:
 - ST012, posto nell'area orientale del Foro Civile, al posto di un vertice RUR che è stato danneggiato (figura 8.3) del quale ha semplicemente preso il nome,
 - Z01, situato nella porzione meridionale del Tempio di Venere, in sostituzione

- di ST 059 che nel 2015 rientrava in un'area inagibile;
- ST 049B, rimaterializzazione del vertice della RUR ST049 rimosso durante il rifacimento del marciapiede in cui era cementato.



Figura 8.3 - Ricevitore GNSS/GPS in stazione sui vertici ST012 Z 01

- Rete di II livello materializzata in modo temporaneo: costituita da 82 vertici, materializzati tramite dei chiodi topografici in acciaio, rimossi al termine dei lavori.

La Rete di II livello è stata misurata con strumentazione topografica, ossia una coppia di stazioni totali e due coppie di ricevitori GNSS/GPS (figure 8.4 ed 8.5).

	<p>Leica 802 Ultra</p> <ul style="list-style-type: none">• Accuratezza misure angolari: SQM 2" (ISO 17.123-3)• Accuratezza misura di distanza su riflettore (IR): SQM 2mm + 2ppm (ISO 19.123-4)• Accuratezza misura di distanza senza riflettore (RL): SQM 2mm + 2ppm fino a 550m (ISO 19.123-4)• Portata di misura con prisma circolare: fino a 3.500m• Portata di misura senza riflettore: superiore ai 1.000m con superfici riflettenti al 90%• Compensatore biassiale elettronico: precisione di posizionamento 0,5"
	<p>Geomax Zoom 35 Pro 1"</p> <ul style="list-style-type: none">• Accuratezza misure angolari: SQM 1" (ISO 17.123-3)• Accuratezza misura di distanza su riflettore (IR): SQM 2mm + 2ppm (ISO 19.123-4)• Accuratezza misura di distanza senza riflettore (RL): SQM 2mm + 2ppm (ISO 19.123-4)• Portata di misura con prisma circolare: fino a 3.500m• Portata di misura senza riflettore: superiore ai 1.000m• Compensatore quadri-assiale elettronico

Figura 8.4 - Principali dati tecnici delle stazioni totali utilizzate


	<p>Leica GPS System 1200</p> <ul style="list-style-type: none">• Ricevitori geodetici a doppia frequenza• Precisione in modalità statica con tempi di osservazione medi: pl. $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ / h. $\pm 10 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$• Precisione in modalità statica con tempi di osservazione lunghi: pl. $\pm 3 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ / h. $\pm 6 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$
	<p>Topcon GR3</p> <ul style="list-style-type: none">• Ricevitori geodetici a doppia frequenza• Precisione in modalità RTK in tempo reale: pl. $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ / h. $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$• Precisione in modalità statica in post-elaborazione: pl. $\pm 3 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ / h. $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$

Figura 8.5 - Principali dati tecnici dei ricevitori GNSS/GPS utilizzati



Figura 8.6 – Stazione totale sul vertice ST 045



Figura 8.7 – Prima riflettente sul vertice Z 081



Figura 8.8 - Ricevitor GNSS/GPS in stazione sul vertice Z nel Teatro Grande

La figura 8.9 mostra la posizione dei vertici della RUR in rosso, dei vertici permanenti (in arancione) e di quelli temporanei di II livello (in celeste).



Figura 8.9 – RUR (in rosso) e Rete di II livello (arancione permanenti e celeste temporaneo)

Terminata la materializzazione della Rete di raffittimento di II livello si è dato inizio alle misure topografiche di precisione finalizzate alla determinazione della posizione relativa di tali vertici e di quelli della RUR.

Le misure sono state eseguite utilizzando una tecnica mista, ossia integrando la tradizionale strumentazione topografica con la strumentazione satellitare GNSS. In particolare, le misure satellitari sono state applicate nel rilevamento di “baseline” lunghe, comprese tra vertici non intervisibili tra loro, quando il rilievo tradizionale avrebbe richiesto svariati punti di stazione, con l’inevitabile diminuzione della precisione delle misure. La modalità di tecnica di misura mista presenta dei vantaggi molto evidenti nel caso di reti di medio-grandi dimensioni, come quella di Pompei, dal momento che normalmente permette di raggiungere delle precisioni maggiori rispetto all’uso della sola stazione totale, riducendo contemporaneamente i tempi necessari alle misure. Per contro l’integrazione tra le misure topografiche tradizionali e le baseline GNSS necessita di almeno un vertice di riferimento di coordinate note in un opportuno sistema geodetico: le baseline GNSS sono, infatti, dei vettori orientati nello spazio le cui componenti sono riferite ad una terna cartesiana globale, rispetto alla quale tutte le misure GNSS e tradizionali saranno compensate. Inoltre, il calcolo delle coordinate nel nuovo Sistema Geodetico Nazionale ETRS89-ETRF2000 è semplificato se, all’interno del rilievo, si utilizzano vertici GNSS di coordinate note in tale sistema. Questo aspetto è particolarmente rilevante nel caso specifico, visto che l’allegato tecnico richiede l’inserimento delle coordinate ETRS89-ETRF2000, oltre a quelle Gauss-Boaga, nelle monografie del vertice della Rete di II livello.

Si sono dunque selezionati due vertici, in posizioni particolarmente aperte e nel contempo protette dai visitatori, il GPS02 appartenente alla RUR e situato sulla copertura del Teatro Grande ed il Z01 facente parte della Rete di II livello e posto alla porzione meridionale del Tempio di Venere. Si è dapprima effettuato l’inquadrimento dei vertici GPS02 e Z01 per mezzo della Rete di Stazioni Permanenti GNSS della Regione Campania (la cui struttura si può osservare in figura 8.10 e i cui dati sono stati acquisiti dal sito internet della Regione). I tempi di stazionamento dei ricevitori GNSS

sui vertici GPS02 e su Z01 sono stati rispettivamente di 3h20' e di 5h45', con intervallo di acquisizione fissato a 1 sec ed angolo di cut-off di 15°.



Figura 8.10 - Rete di Stazioni Permanenti GNSS della Regione Campania

Tramite delle baseline GNSS sono stati inquadrati i vertici GPS02 e Z01 nel sistema di riferimento ETRS89-ETRF2000, utilizzando le coordinate, ovviamente espresse nello stesso sistema geodetico, dei vertici della Rete GNSS della Campania (tabella 8.1).

Vertice	Latitudine	Longitudine	Quota ellissoidica
GPS02	40°44'55,58113"N	14°29'16,98039"E	79,053
Z01	40°44'53,84177"N	14°29'02,84258"E	80,882

Tabella 8.1 - Coordinate dei vertici GPS02 e Z01 nel sistema di riferimento ETRS89-ETRF2000

Quindi i vertici GPS02 e Z01 sono stati collegati, per mezzo di misure topografiche effettuate con tecnica mista, ad altri vertici della RUR ed alla Rete di II livello.

Nel corso delle prime campagne di misure sono stati complessivamente collegati ed inquadrati 34 vertici, 13 dei quali appartenenti alla RUR. Nel seguito, seguendo lo stesso procedimento, sono stati inquadrati nella RUR gli altri vertici di raffittimento.

Tutte le misure topografiche effettuate in ogni campagna di misure sono state compensate in blocco con un apposito software di compensazione rigorosa ai minimi quadrati, ottenendo le coordinate di tutti i vertici nel sistema ETRS89-ETRF2000 con le relative deviazioni standard, aventi valori sempre inferiori a 1cm come da piano di progetto. Il passaggio dalle coordinate compensate ETRS89-ETRF2000 (geografiche o cartografiche UTM33) alle coordinate nel sistema Gauss-Boaga presuppone di applicare una trasformazione del sistema geodetico di riferimento (trasformazione di Datum), i cui parametri ufficiali di trasformazione sono quelli inseriti nei grigliati acquistabili presso l'IGM (grigliati con estensione .GK2) ed utilizzabili all'interno del software VERTO3K, sempre fornito dall'IGM.

Questo ulteriore passaggio analitico ha consentito la determinazione rigorosa delle coordinate Gauss-Boaga dei vertici finora rilevati, tra i quali sono compresi quelli della RUR.

Vertice	Gauss Boaga da monografia Est (m)	Gauss Boaga da monografia Nord (m)	Gauss Boaga da rilievo Est (m)	Gauss Boaga da rilievo Nord (m)	Differenza Est (m)	Differenza Nord (m)
GPS 002	2476789,66	4511002,207	2476789,238	4511002,555	0,421	-0,348
ST 042	2476747,116	4511024,815	2476746,740	4511025,210	0,376	-0,395
ST 044	2476794,229	4511131,955	2476793,837	4511132,316	0,392	-0,361
ST 045	2476724,499	4511091,780	2476724,136	4511092,148	0,363	-0,368
ST 046	2476668,124	4511077,347	2476667,781	4511077,713	0,343	-0,366
ST 047	2476618,374	4511060,600	2476618,049	4511060,971	0,325	-0,371
ST 048	2476654,634	4510969,396	2476654,300	4510969,789	0,334	-0,393
ST 049	2476591,156	4510942,575	2476590,834	4510942,975	0,322	-0,400
ST 058	2476396,037	4510975,189	2476395,793	4510975,558	0,244	-0,369
ST 1000	2476898,605	4511006,378	2476898,182	4511006,777	0,423	-0,399
ST 2000	2476875,055	4511033,987	2476874,639	4511034,379	0,416	-0,392
ST 3000	2476837,330	4511078,413	2476836,930	4511078,791	0,400	-0,378
ST 9000	2476791,725	4510983,459	2476791,349	4510983,874	0,376	-0,415

Tabella 8.2 – Coordinate Gauss Boaga dei vertici RUR da monografia e da rilievo e loro differenza

Proprio per i vertici della RUR sono state confrontate le coordinate nel sistema Gauss-Boaga ricavate dal rilievo topografico con quelle riportate nelle corrispondenti monografie, evidenziando le differenze presentate in tabella 8.2, dalla cui analisi si

notano delle differenze importanti: per la coordinata Est da circa 24cm a circa 42cm, mentre per la coordinata Nord da circa -36cm a circa - 41cm. Tali differenze non si ritrovano facendo un confronto diretto tra distanze misurate con stazione totale (ridotte all’orizzontale) e le rispettive distanze che si possono calcolare dalle coordinate in monografia (le differenze in questo caso sono inferiori al cm). Questa analisi ha evidenziato che le coordinate planimetriche riportate nelle monografie dei vertici della RUR sono solo apparentemente Gauss-Boaga, mentre in realtà si tratta di un sistema cartografico “dedicato”, inquadrato probabilmente per mezzo di un singolo vertice in Gauss-Boaga con tutti gli altri vertici calcolati senza tenere conto del modulo di deformazione lineare tipico di questo tipo di proiezione cartografica (proiezione conforme di Gauss). In accordo con la Soprintendenza, si è quindi deciso di applicare al rilievo topografico realizzato una trasformazione di Helmert tridimensionale, in modo da inquadrare la rete rilevata nel sistema cartografico di Pompei. I parametri di questa trasformazione sono stati calcolati ai minimi quadrati con un congruo numero di punti doppi, ottenendo residui di trasformazione inferiore a 1cm. La medesima procedura è stata adottata in tutte le successive fasi di rilievo realizzate nel proseguo dell’attività, quando la rete di inquadramento topografico del lotto è stata ulteriormente raffittita ed ampliata. Nella sua versione definitiva la Rete di II livello è composta da 87 vertici, è stata compensata ai minimi quadrati e si sono ottenute le ellissi di errore al 95% che, in figura 8.11, sono state esagerate di un fattore 100.

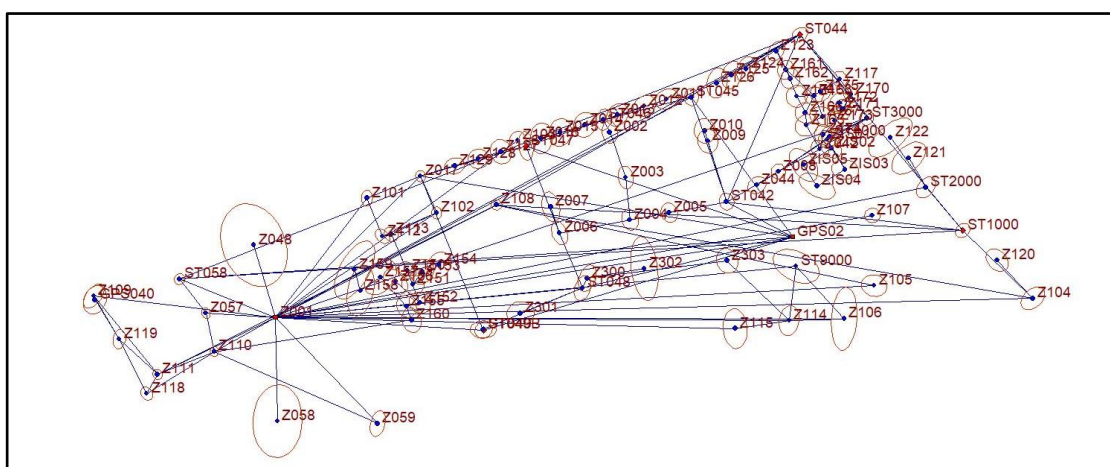


Figura 8.11 - Ellissi di errore delle reti di I e II livello

Vertice	E [m]	N [m]	Elev [m]	σ E [m]	σ N [m]	σ Elev [m]
GPS02	456781,077	4510995,076	31,581	0,000	0,000	0,007
GPS040	456333,451	4510954,771	21,666	0,003	0,004	0,003
ST042	456738,589	4511017,732	23,919	0,002	0,002	0,001
ST044	456785,679	4511124,834	24,527	0,002	0,002	0,000
ST045	456715,974	4511084,666	24,936	0,002	0,002	0,001
ST046	456659,622	4511070,221	27,129	0,002	0,003	0,001
ST047	456609,893	4511053,470	29,728	0,002	0,004	0,000
ST048	456646,138	4510962,309	32,243	0,002	0,003	0,001
ST049	456582,676	4510935,495	34,065	0,002	0,002	0,000
ST049B	456582,434	4510935,786	34,018	0,003	0,002	0,002
ST058	456387,639	4510968,078	33,120	0,001	0,001	0,002
ST1000	456890,020	4510999,300	13,066	0,002	0,002	0,000
ST2000	456866,479	4511026,897	15,765	0,003	0,003	0,001
ST3000	456828,767	4511071,314	20,451	0,002	0,002	0,001
ST4000	456804,895	4511059,599	21,296	0,002	0,002	0,001
ST9000	456783,167	4510976,398	23,512	0,006	0,004	0,003
Z001	456449,227	4510943,385	33,400	0,000	0,000	0,002
Z002	456663,581	4511062,255	27,111	0,002	0,003	0,001
Z003	456673,854	4511033,319	27,537	0,002	0,003	0,001
Z004	456676,582	4511006,104	27,657	0,002	0,003	0,001
Z005	456701,786	4511010,713	26,346	0,002	0,003	0,001
Z006	456631,401	4510997,618	30,963	0,002	0,003	0,001
Z007	456625,842	4511014,509	31,338	0,002	0,004	0,002
Z008	456771,840	4511037,109	22,441	0,002	0,002	0,001
Z009	456726,453	4511056,618	24,421	0,003	0,003	0,002
Z010	456724,547	4511063,248	24,571	0,003	0,003	0,002
Z011	456700,125	4511083,485	25,437	0,003	0,003	0,002
Z012	456685,816	4511079,149	25,948	0,003	0,003	0,002
Z013	456668,496	4511073,510	26,673	0,003	0,003	0,002
Z014	456647,594	4511067,006	27,738	0,003	0,003	0,002
Z015	456631,910	4511062,094	28,498	0,003	0,004	0,002
Z016	456619,775	4511058,374	29,088	0,003	0,004	0,002
Z017	456542,208	4511034,170	33,061	0,001	0,001	0,001
Z042	456798,442	4511051,463	21,521	0,002	0,002	0,001
Z044	456758,053	4511028,415	23,020	0,002	0,002	0,001
Z048	456435,345	4510989,909	33,164	0,009	0,011	0,019
Z057	456404,550	4510946,302	32,170	0,001	0,001	0,002
Z058	456450,464	4510877,082	15,941	0,006	0,010	0,020
Z059	456514,772	4510875,383	13,132	0,002	0,003	0,003
Z101	456507,883	4511020,008	33,300	0,001	0,002	0,002

Vertice	E [m]	N [m]	Elev [m]	σ E [m]	σ N [m]	σ Elev [m]
Z102	456552,575	4511010,581	32,993	0,001	0,002	0,002
Z103	456604,624	4511057,141	33,784	0,002	0,002	0,004
Z104	456935,004	4510955,722	9,466	0,003	0,003	0,002
Z105	456833,263	4510963,897	13,883	0,003	0,003	0,009
Z106	456814,012	4510942,653	22,783	0,003	0,008	0,003
Z107	456832,096	4511008,915	23,934	0,002	0,002	0,005
Z108	456590,968	4511015,722	32,366	0,001	0,001	0,003
Z109	456332,601	4510957,212	21,731	0,003	0,003	0,002
Z110	456409,896	4510921,633	30,628	0,001	0,001	0,002
Z111	456373,586	4510906,920	26,887	0,001	0,001	0,002
Z112	456517,815	4510995,510	33,106	0,002	0,002	0,002
Z113	456523,365	4510996,819	33,060	0,002	0,002	0,002
Z114	456778,705	4510941,496	24,903	0,003	0,004	0,003
Z115	456744,079	4510936,367	23,869	0,003	0,005	0,003
Z117	456811,236	4511096,431	22,570	0,002	0,002	0,001
Z118	456366,630	4510894,647	22,298	0,002	0,002	0,002
Z119	456348,946	4510929,499	22,121	0,002	0,002	0,002
Z120	456912,076	4510980,247	10,823	0,003	0,003	0,002
Z121	456855,414	4511045,684	17,416	0,004	0,004	0,002
Z122	456843,641	4511058,924	18,937	0,006	0,005	0,002
Z123	456770,464	4511114,362	24,993	0,002	0,003	0,001
Z124	456751,157	4511102,762	24,761	0,003	0,003	0,001
Z125	456741,891	4511098,970	24,609	0,003	0,004	0,001
Z126	456732,404	4511093,807	24,522	0,003	0,004	0,002
Z127	456593,896	4511049,861	30,614	0,003	0,003	0,002
Z128	456579,247	4511045,317	31,375	0,003	0,003	0,002
Z129	456564,185	4511040,777	32,121	0,003	0,002	0,002
Z150	456533,655	4510973,588	33,835	0,002	0,002	0,002
Z151	456537,286	4510964,620	34,217	0,003	0,002	0,002
Z152	456541,852	4510952,965	34,134	0,003	0,003	0,002
Z153	456543,272	4510972,849	33,936	0,003	0,003	0,002
Z154	456554,092	4510977,102	33,853	0,003	0,003	0,002
Z155	456533,211	4510950,538	34,088	0,003	0,003	0,002
Z156	456526,178	4510966,498	34,348	0,003	0,003	0,002
Z157	456516,583	4510969,280	33,701	0,004	0,005	0,002
Z158	456503,663	4510960,714	33,530	0,004	0,007	0,002
Z159	456499,901	4510973,915	33,075	0,005	0,008	0,003
Z160	456536,512	4510941,878	34,055	0,003	0,003	0,002
Z161	456776,652	4511102,289	25,012	0,002	0,003	0,001
Z162	456779,501	4511096,528	24,810	0,002	0,003	0,001

Vertice	E [m]	N [m]	Elev [m]	σ E [m]	σ N [m]	σ Elev [m]
Z163	456794,658	4511085,667	25,002	0,002	0,002	0,001
Z164	456783,542	4511085,302	24,792	0,003	0,003	0,001
Z165	456789,830	4511066,814	24,582	0,003	0,003	0,001
Z166	456789,174	4511074,680	24,430	0,003	0,003	0,001
Z167	456800,187	4511072,299	24,742	0,003	0,003	0,002
Z170	456818,399	4511086,437	21,727	0,002	0,002	0,001
Z171	456813,038	4511076,910	22,368	0,002	0,003	0,002
Z172	456810,872	4511080,955	22,404	0,003	0,003	0,002
Z173	456808,271	4511069,482	22,607	0,002	0,002	0,001
Z174	456800,528	4511060,795	22,846	0,002	0,003	0,001
Z175	456799,024	4511088,521	24,157	0,003	0,003	0,002
Z300	456649,150	4510968,618	31,675	0,002	0,004	0,002
Z301	456606,339	4510946,140	33,254	0,004	0,003	0,002
Z302	456685,789	4510974,791	29,024	0,004	0,008	0,002
Z303	456738,822	4510979,859	25,710	0,003	0,003	0,002
ZIS01	456803,077	4511057,683	21,369	0,002	0,002	0,001
ZIS02	456805,794	4511052,105	21,824	0,003	0,003	0,002
ZIS03	456814,508	4511038,349	22,034	0,004	0,003	0,002
ZIS04	456796,625	4511027,726	22,043	0,005	0,003	0,002
ZIS05	456787,969	4511041,383	22,028	0,004	0,004	0,002

Tabella 8.3 - Coordinate Gauss-Boaga e deviazione standard dei vertici delle Reti I e II livello

8.3.2 Rilievo laser scanning di dettaglio di I livello

Come è stato scritto in precedenza, il rilievo di dettaglio è stato svolto utilizzando due TLS differenti ed applicando due diversi metodi di roto-traslazione delle nuvole di punti. Si distinguono quindi un rilievo laser scanning di dettaglio di I livello eseguito utilizzando una ScanStation P20 di Leica e registrando le nuvole di punti in tempo reale a partire dalle coordinate dei vertici della Rete Topografica Globale, da un rilievo laser scanning di II livello realizzato con un Faro Focus 3D ed allineando le nuvole di punti in modalità “cloud to cloud”. La nuvola di punti di I livello funge da scheletro per le molteplici nuvole di punti di II livello.

Il rilievo di dettaglio di I livello ha quindi la duplice funzione di irrigidire e inquadrare e, non a caso, interessa le strade interne e perimetrali alla Regio VIII (compresa via delle

Ginestre posta al di sotto dell’altopiano Civita, che ospita Pompei), gli atri ed i peristili delle principali domus e monumenti.

Da un punto di vista operativo, immediatamente dopo il calcolo delle coordinate dei primi vertici della Rete di II livello, si è dato inizio alle campagne di misura con il TLS Leica ScanStation P30, strutturate su poligonalali vincolate agli estremi, ossia con vertici iniziale e finale appartenenti alla Rete Topografica Globale, quindi di coordinate note. In questo modo in fase di elaborazione è stato possibile controllare le coordinate dei vertici della poligonale, senza peraltro riscontrare in alcun caso la necessità di apportare delle correzioni.

In figura 8.12 si evidenziano, sulla planimetria dell’Insula 4, in rosso i vertici della RUR, in blu quelli della rete di II livello ed in viola quelli della rete di III livello. Nelle figure successive, 8.13 e 8.14 gli stessi punti di stazione sono visualizzati con la nuvola di punti di III livello sullo sfondo; i punti della RUR hanno prefisso ST, quelli della Rete di II livello Z ed infine quelli della rete di III livello.

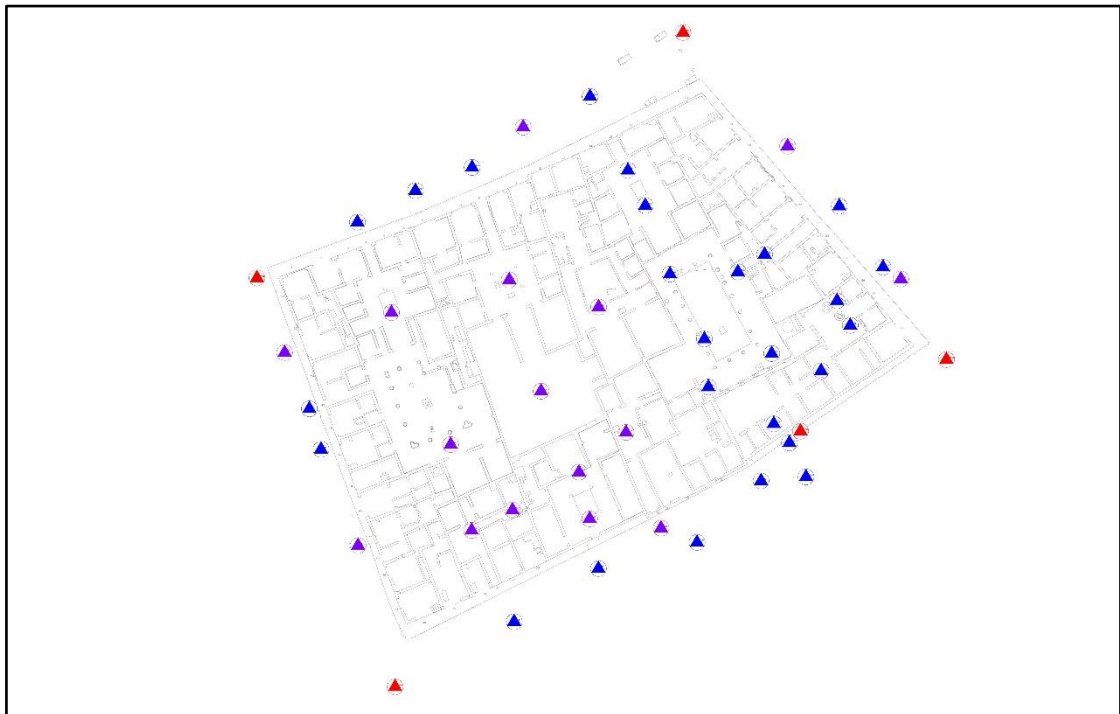


Figura 8.12 - Insula 4, planimetria con indicazione delle posizioni dei vertici

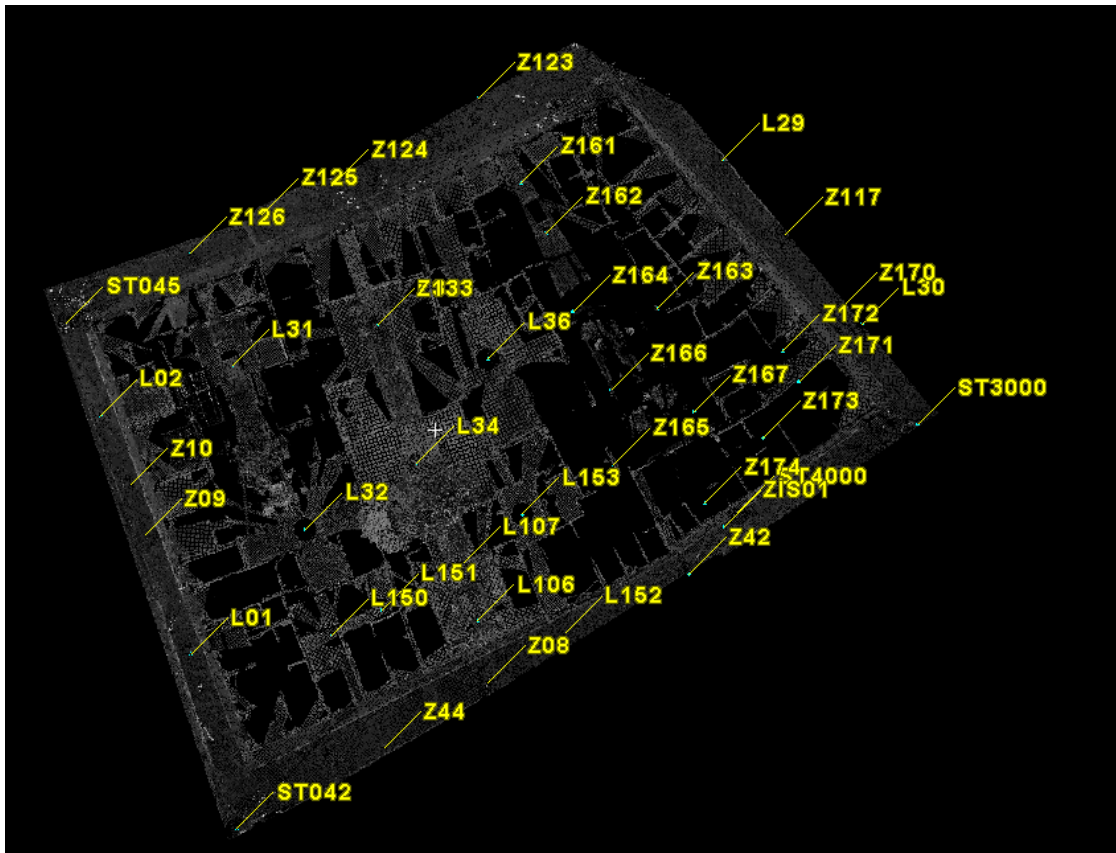


Figura 8.14 – Insula 4, scansioni effettuate con il TLS Leica viste dall’alto

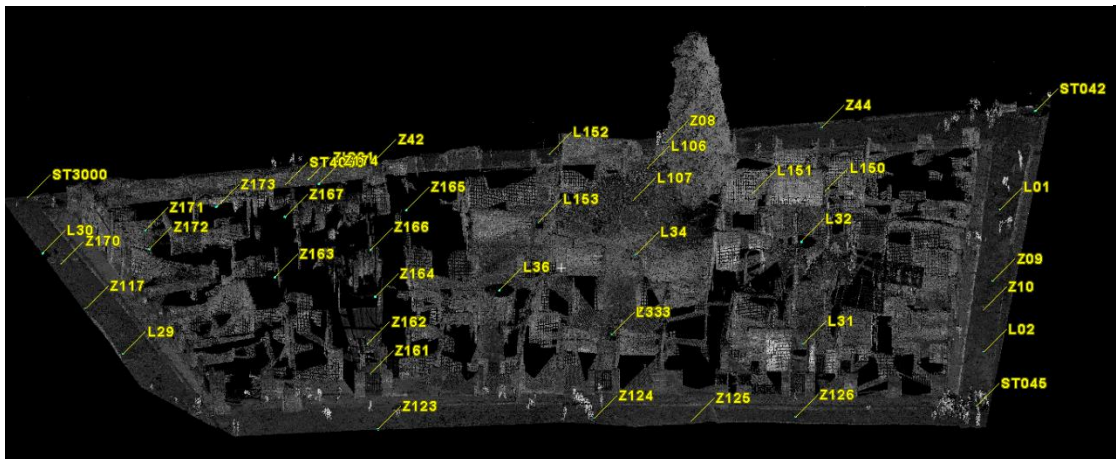


Figura 8.13 – Insula 4, scansioni effettuate con il TLS Leica viste da via dell’Abbondanza

Nelle figure 8.15 e 8.16 si mostrano due momenti di scansione, la prima nella Casa dei Corneli, la seconda nel Teatro Grande, in figura 8.17 le nuvole di punti dell’Insula 4 colorate in “single color” per evidenziare la loro sovrapposizione.



Figura 8.16 - Insula 4, Casa dei Corneli. Scansione con il TLS Leica

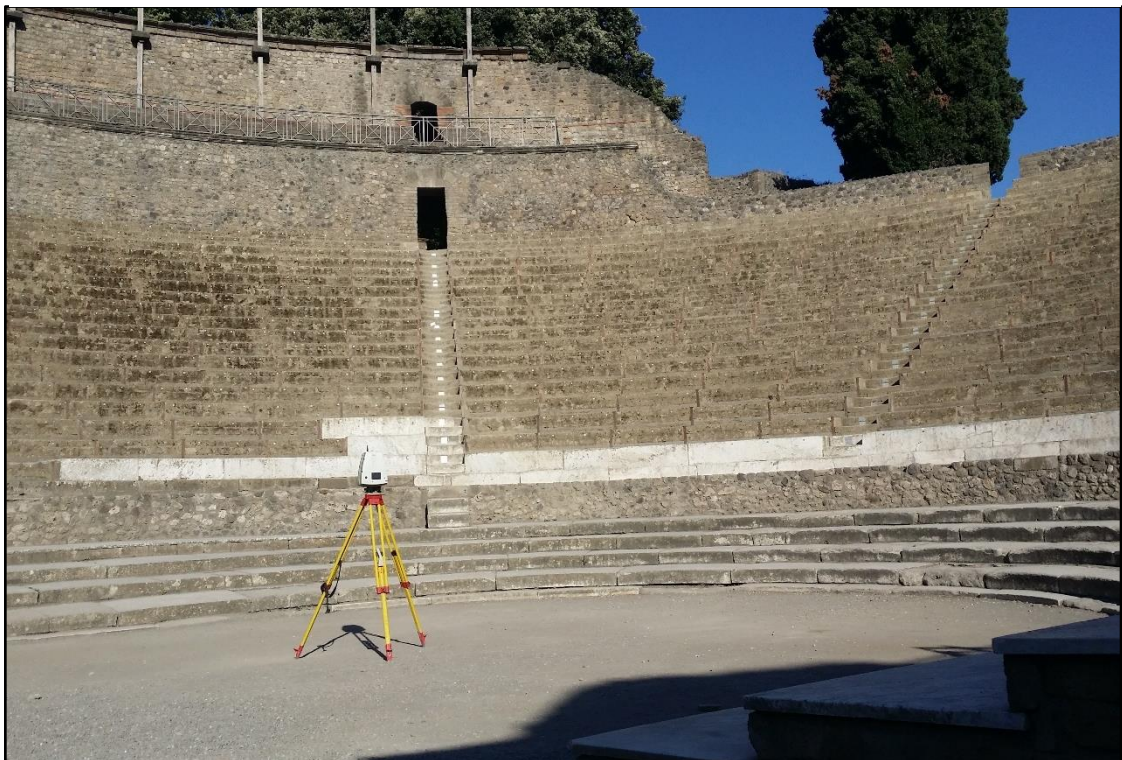


Figura 8.15 - Insula 7, Teatro Grande. Scansione con il TLS Leica

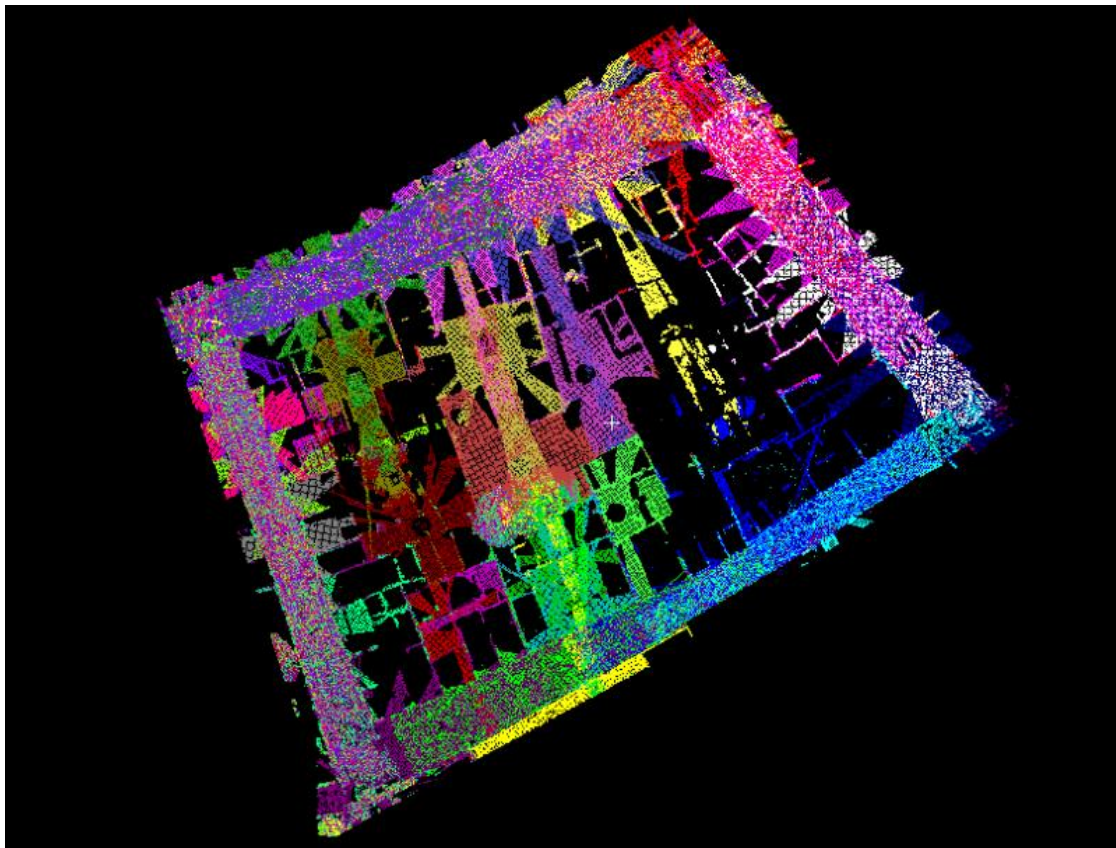


Figura 8.17 - Insula 4, mappatura delle scansioni Leica

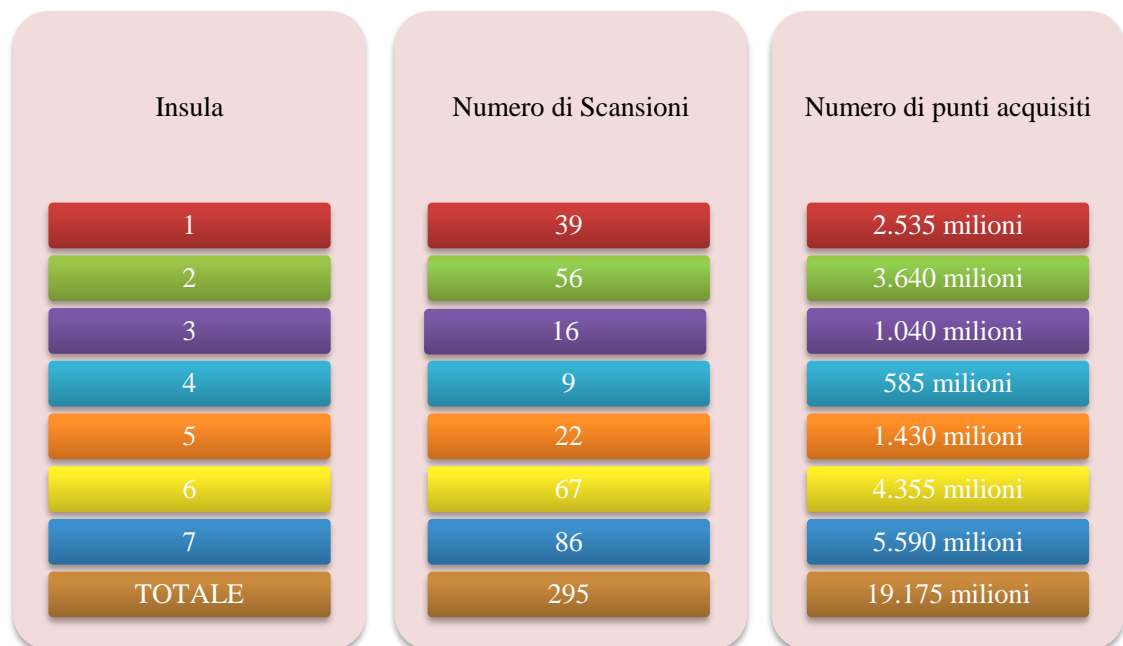


Figura 8.18 - Numero di scansioni e stima dei punti acquisiti con il TLS Leica P20 suddivisi per Insulae

Complessivamente con lo strumento Leica ScanStation P20 sono state acquisite 295 nuvole di punti, suddivise sulle Insulae come da figura 8.18.

Le nuvole di punti acquisite all'interno del rilievo di dettaglio di II livello sono state post elaborate in Cyclone.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
Z125	SW-005 (Leve...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-008 (Leve...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-008 (Leve...	SW-005 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-008 (Leve...	SW-015 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L33	SW-010 (Leve...	SW-011 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L34	SW-010 (Leve...	SW-011 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	SW-012 (Leve...	SW-014 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.001, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-012 (Leve...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-012 (Leve...	SW-005 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-012 (Leve...	SW-015 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-012 (Leve...	SW-008 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z123	SW-012 (Leve...	SW-013 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	SW-012 (Leve...	SW-013 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
L36	SW-013 (Leve...	SW-014 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, 0.002, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	SW-013 (Leve...	SW-014 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, -0.002, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z124	SW-015 (Leve...	SW-010 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-015 (Leve...	SW-005 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	SW-015 (Leve...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	ScanWorld [IN...	SW-012 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-012 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.000, -0.003) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	ScanWorld [IN...	SW-014 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-013 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-008 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-011 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z133	ScanWorld [IN...	SW-008 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-005 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z125	ScanWorld [IN...	SW-015 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z123	ScanWorld [IN...	SW-013 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z123	ScanWorld [IN...	SW-012 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z124	ScanWorld [IN...	SW-010 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
L31	ScanWorld [IN...	SW-005 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L33	ScanWorld [IN...	SW-010 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L33	ScanWorld [IN...	SW-011 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L34	ScanWorld [IN...	SW-010 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
L36	ScanWorld [IN...	SW-014 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, 0.002, 0.003) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z124	ScanWorld [IN...	SW-015 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
L35	ScanWorld [IN...	SW-013 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
Z126	ScanWorld [IN...	SW-018 (Leve...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.001, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped

Figura 8.17 - Insula 4, report di registrazione delle scansioni Leica

In figura 8.19 si mostra il report di registrazione di Cyclone, in cui si evidenzia che:

- le scansioni sono state tutte acquisite con il compensatore biassiale attivo (leveled),
- le rototraslazioni tra le scansioni sono state calcolate utilizzando solamente le coordinate dei vertici, senza applicare le procedure “cloud to cloud”
- a tutti i vincoli è stato attribuito uguale peso,
- il massimo errore (in questo caso pari allo scarto della registrazione) è pari a 4 mm, dei quali 3mm in quota.

8.3.3 Rilievo laser scanning di dettaglio di II livello

Il rilievo laser scanning di dettaglio di II livello è stato eseguito utilizzando un TLS Faro Focus 3D X130, impostato con maglia di acquisizione di lato 1cm a 10 metri, così da assicurare una risoluzione millimetrica nel caso di ambienti di dimensioni contenute e un'incertezza di misura sulla singola scansione inferiore a 2mm nel caso di distanze entro i 25m sui materiali lapidei e laterizi, tipici delle strutture archeologiche.

DA un punto di vista operativo, le acquisizioni sono state eseguite centrando la livella sferica presente sullo strumento e prevedendo delle aree di sovrapposizione tra scansioni successive superiore al 30%, in modo da potere effettuare, come già anticipato, la registrazione in modalità “cloud to cloud” ossia applicando un algoritmo di auto-allineamento basato sul riconoscimento punto-superficie (paragrafo 3.4.2.6).

Nelle figure 8.20 e 8.21 si mostrano una singola scansione del civico 2 dell'Insula 4 e la registrazione tra le tre scansioni che forniscono la completa geometria dell'unità catastale, in questo caso inquadrate in un sistema di riferimento locale coincidente con uno a caso tra i sistemi delle tre nuvole; in figura 8.22 le tre nuvole sono colorate diversamente per evidenziare la loro sovrapposizione.

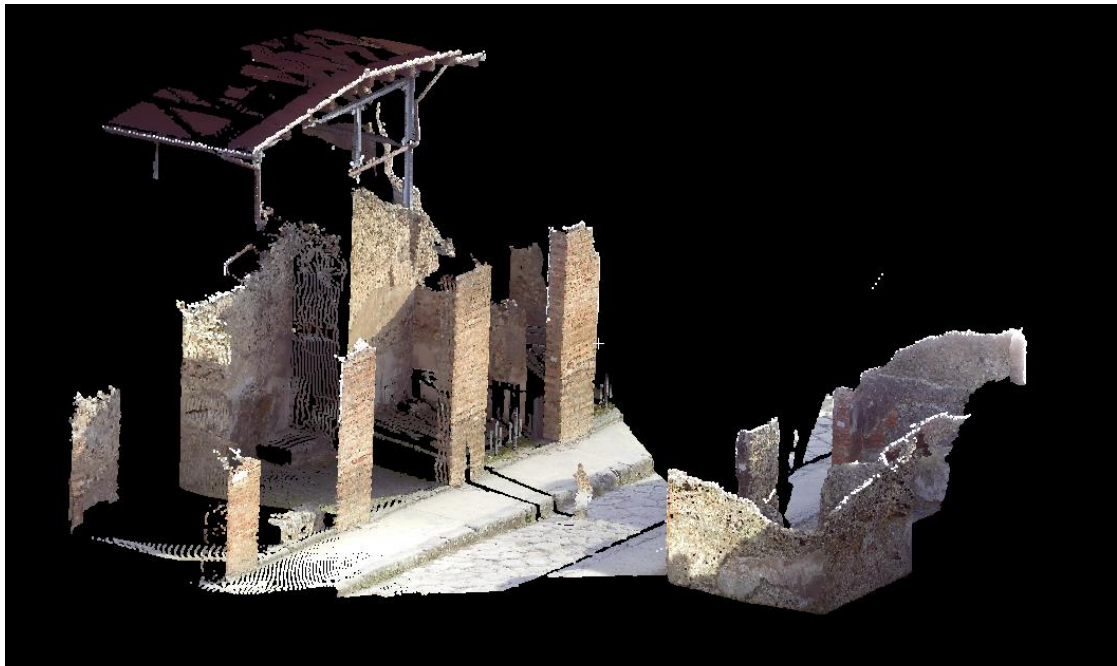


Figura 8.18 - Insula 4, una delle nuvole del civico 2 acquisite con il Faro

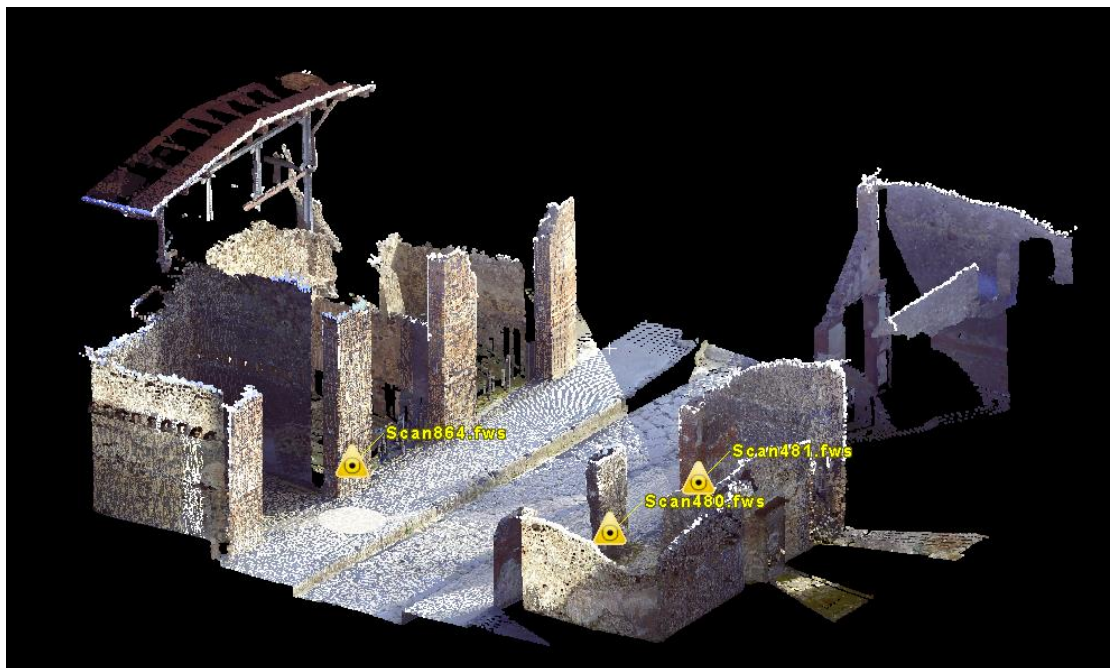


Figura 19 - Figura 8.21 - Insula 4, l'unione delle tre nuvole del civico 2 acquisite con il Faro

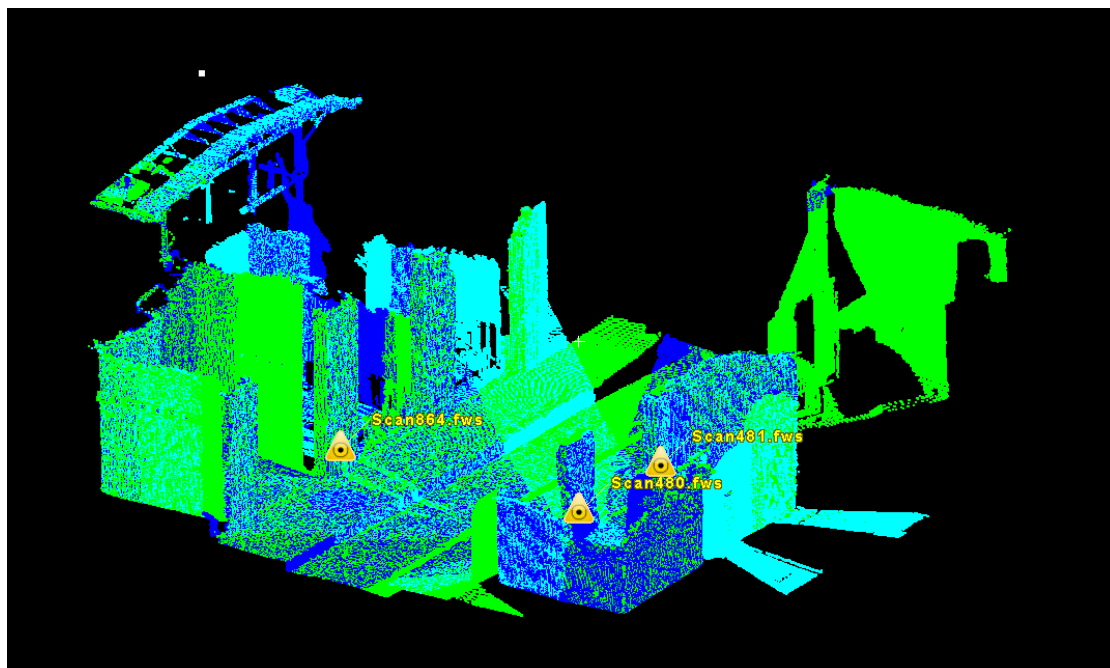


Figura 8.22 - Insula 4, l'unione delle tre nuvole del civico 2 acquisite con il Faro colorate

Ancora una volta ci si concentra sull'Insula 4, che, in fase di rilievo laser scanning di dettaglio, è stata affrontata per porzioni, corrispondenti a più unità catastali o ad una sola, quando questa sia molto estesa. Nella figura 8.23 i vari blocchi di scansioni, mentre la superficie lasciata in bianco corrisponde alla casa dei Corneli che è uno dei 5 monumenti, che l'allegato tecnico dispone di rilevare con tecnica laser scanning (paragrafo 4.5.2.3).

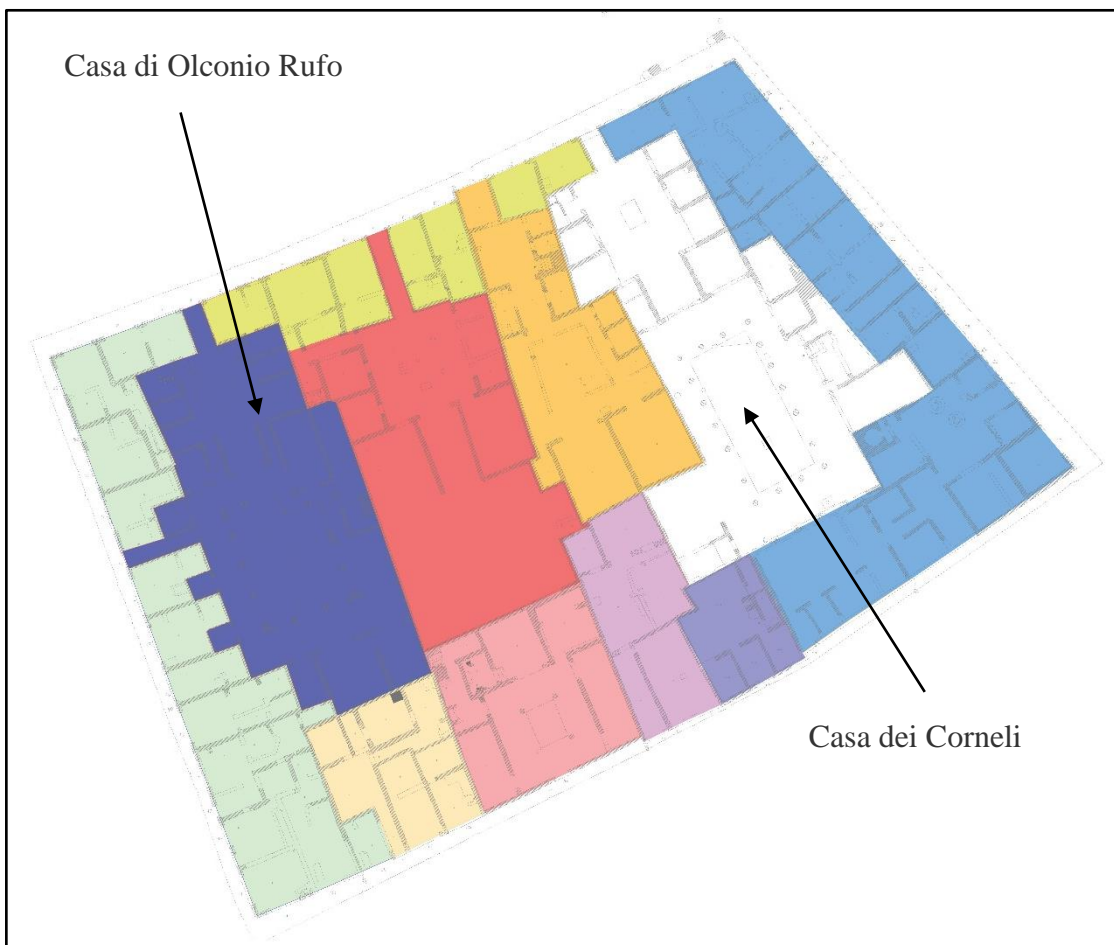


Figura 8.20 – Aree acquisite con il Faro e poi rototraslate tramite le nuvole di punti di dettaglio di I livello

Ogni porzione colorata può contenere varie decine di scansioni, acquisite all'interno della medesima campagna di misure. Per esempio l'unità catastale colorata in viola scuro è al civico 4 e prende il nome di *Casa di Olconio Rufo*, per il cui rilievo di dettaglio sono state necessarie 40 scansioni, acquisite dalle posizioni magenta evidenziate in

figura 8.24.

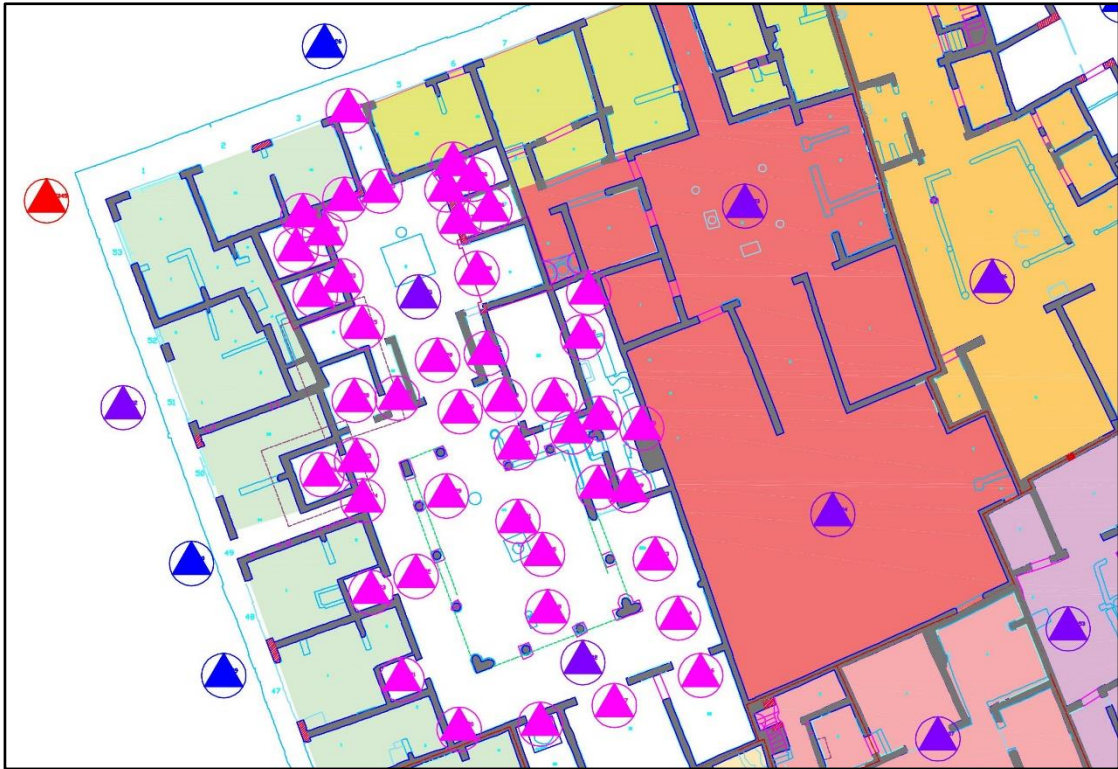


Figura 8.21 – Insula 4, civico 4: punti di stazione per il rilievo di dettaglio Faro

Le 40 scansioni sono state registrate tra loro, sempre sulla piattaforma Cyclone, adottando la procedura definita “Cloud Constraint Wizard” (figura 8.25), che applica un algoritmo del tipo “point to mesh” a coppie di nuvole di punti. A partire dalle coordinate di almeno tre punti omologhi, ottenute tramite il loro riconoscimento manuale direttamente sulle nuvole, l’algoritmo applica in modo iterativo il criterio dei minimi quadrati, fino ad ottenere i parametri di rototraslazione che permettono la migliore sovrapposizione delle aree tra le porzioni comuni delle nuvole di punti. E’ questo il motivo per il quale la procedura operativa applicata ha fissato la percentuale di punti comuni tra le coppie di nuvole ad almeno il 30% dei punti acquisiti in ogni scansione.

I risultati dell'ultimo calcolo ai minimi quadrati forniscono una indicazione sull'accuratezza della registrazione e, in un documento chiamato "Show diagnostics" vengono presentati in termini di scarto quadratico medio (RSM), media (AVG) e valori minore e maggiore tra degli scarti tra coppie di punti omologhi. Più sinteticamente nella finestra di registrazione vengono elencati i valori di RMS per ogni registrazione di coppie di numeri di punti (figura 8.26).

Si è così ottenuta una nuvola di punti complessiva del civico 4 (figura 8.27) in un sistema di riferimento locale.



Figura 8.24 - Insula 4, civico 4, nuvola di punti complessiva non inquadrata nella RUR

L'inserimento del civico 4 nella RUR consiste in una ulteriore rototraslazione. Si applica la stessa procedura vista per la registrazione delle singole scansioni di dettaglio, ma in questo caso però si lavora solamente con due nuvole: una già inquadrata nella rete globale RUR (nuvola Leica) ed una ancora riferita ad una rete locale non materializzata. Nel caso del civico 4 l'errore di registrazione è pari a 2cm, quindi l'inquadramento rispetta le tolleranze.

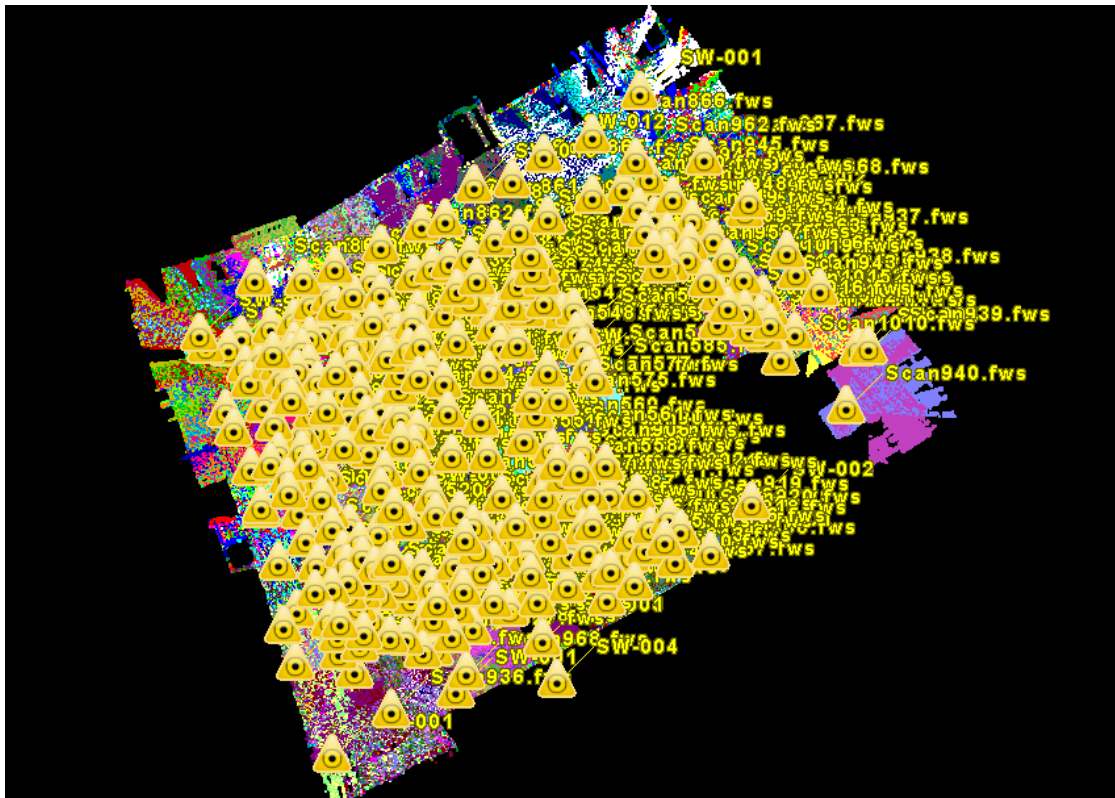


Figura 8.28 - Insula 4, posizione di acquisizione delle scansioni di dettaglio Faro

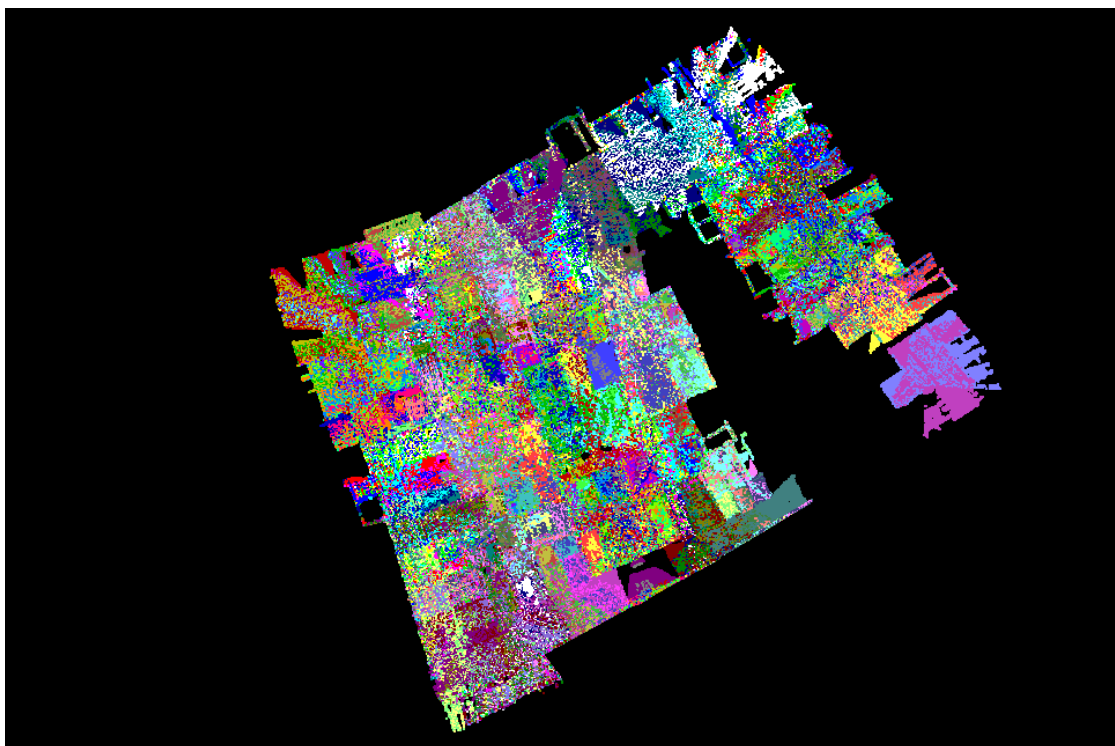


Figura 8.29 - Insula 4, posizione di acquisizione delle scansioni di dettaglio Faro

La stessa procedura è stata applicata agli altri blocchi dell’Insula 4, ottenendo infine una nuvola di dettaglio di II livello complessiva, inquadrata nella RUR, da aggiungere alla nuvola di dettaglio di I livello acquisita con il Leica vista al paragrafo precedente.

Nella figura 8.28 si possono osservare tutte le 257 posizioni dalle quali si è effettuata la scansione di dettaglio con il Faro Focus 3D all’interno dell’Insula 4, nella figura 8.29 le altrettante nuvole di punti. In entrambi i casi le nuvole sono già inquadrare nella RUR.

Nella figura 8.30 si sintetizzano i passaggi del rilievo di dettaglio dell’Insula 4, dai vari blocchi di scansione, ai blocchi più ampi inquadrati nella RUR, alla integrazione della nuvola di punti della Casa dei Corneli.

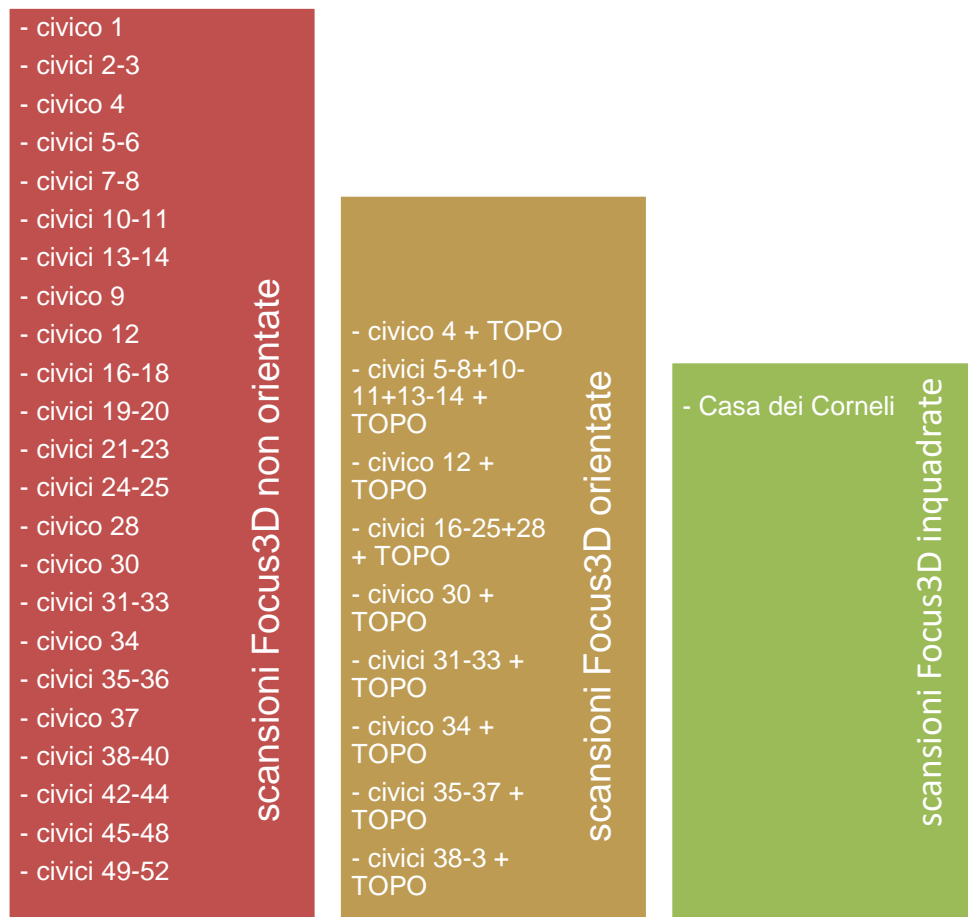


Figura 8.25 – Insula 4, procedura operativa di rilievo di dettaglio

La medesima procedura è stata seguita su tutte le altre Insulae a meno della 6 che, per motivi contingenti, è stata interamente acquisita con il TLS Leica.

All'interno del rilievo di dettaglio sono state acquisite 2243 nuvole di punti Faro, ripartite sulle Insulae come illustrato dalla figura 8.30.

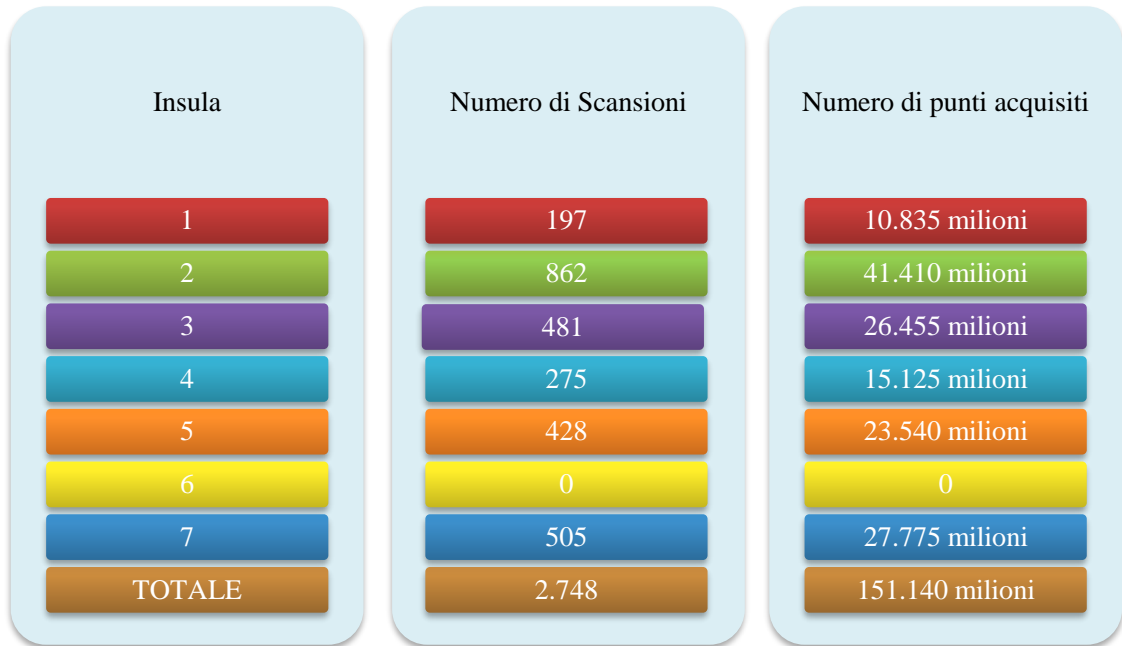


Figura 8.26 - Scansioni di dettaglio ripartite per Insulae

8.3.4 Rilievo laser scanning dei 5 monumenti

Come disposto dall'allegato tecnico, i rilievi dei 5 monumenti sono stati eseguiti interamente con il TLS Leica P20, con il compensatore biassiale sempre attivato (a meno che in alcuni cunicoli degli ambienti ipogei della Casa dei Mosaici Geometrici).

La struttura del rilievo è del tutto analoga a quella delle altre unità catastali: all'interno della Rete di II livello si è prevista una base topografica con uno dei vertici posto in corrispondenza dell'ingresso all'unità, dunque, a partire dai due vertici di coordinate note, tramite il TLS Leica si è raffittita la rete all'interno del monumento, acquisendo un numero contenuto di nuvole di punti già inquadrato nella RUR che sono servite da

ossatura per il successivo rilievo di dettaglio, comprendente un numero di scansioni molto maggiore, sempre eseguito con il Leica.



Figura 8.27 - Basilica (VIII, 1,1). Vista dal Foro Civile

Il procedimento si differenzia invece nella fase di rototraslazione delle nuvole di punti. Quelle acquisite con il Faro, che non possiede in compensatore biassiale, hanno seguito la procedura chiamata “Cloud Constraint Wizard” mentre le nuvole di punti del Leica, acquisite con il compensatore biassiale attivo (leveled), possono essere registrate in modalità “Visual Registration”: l’algoritmo alla base del processo è il medesimo, ma in questo secondo caso la preregistrazione non necessita del riconoscimento manuale di 3-4 punti omologhi su coppie di nuvole successive, ma, trattandosi di nuvole di punti già inquadrare in un sistema di riferimento in cui l’asse z è verticale, la procedura si limita ad un pre-allineamento planimetrico ed uno altimetrico. Nelle figure dalla 8.33 alla 8.35 si mostrano i passaggi della procedura applicate a due nuvole successive della Casa dei Corneli, con la nuvola celeste (mobile) che va sovrapposta a quella arancione (fissa) prima in planimetria, poi in quota.

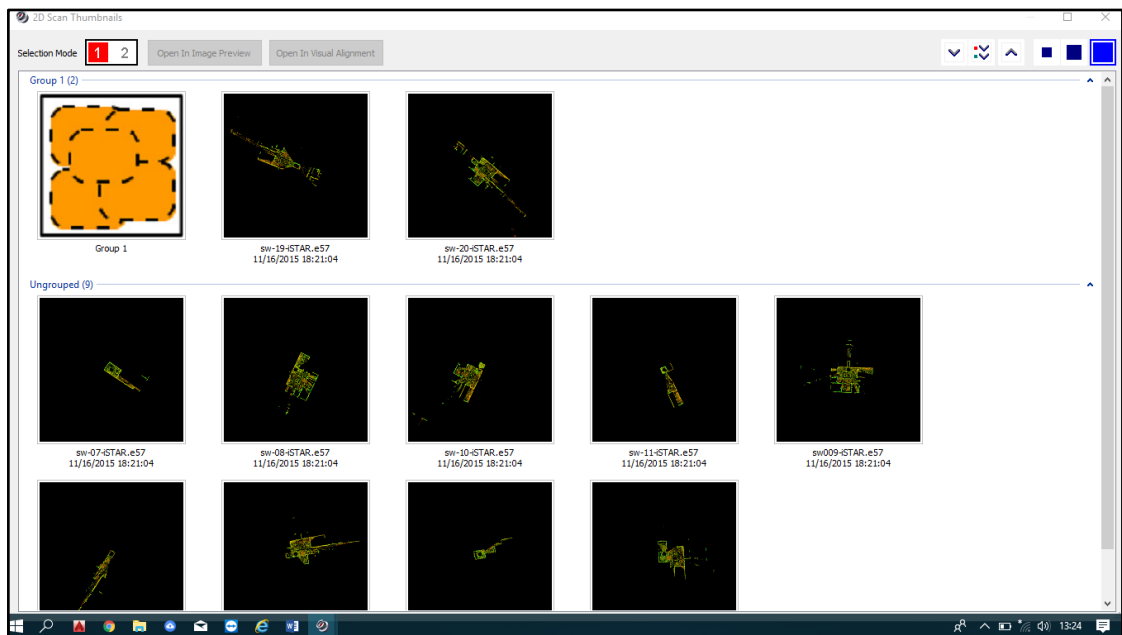


Figura 8.33 - Visual registration, scelta delle scansioni da registrare

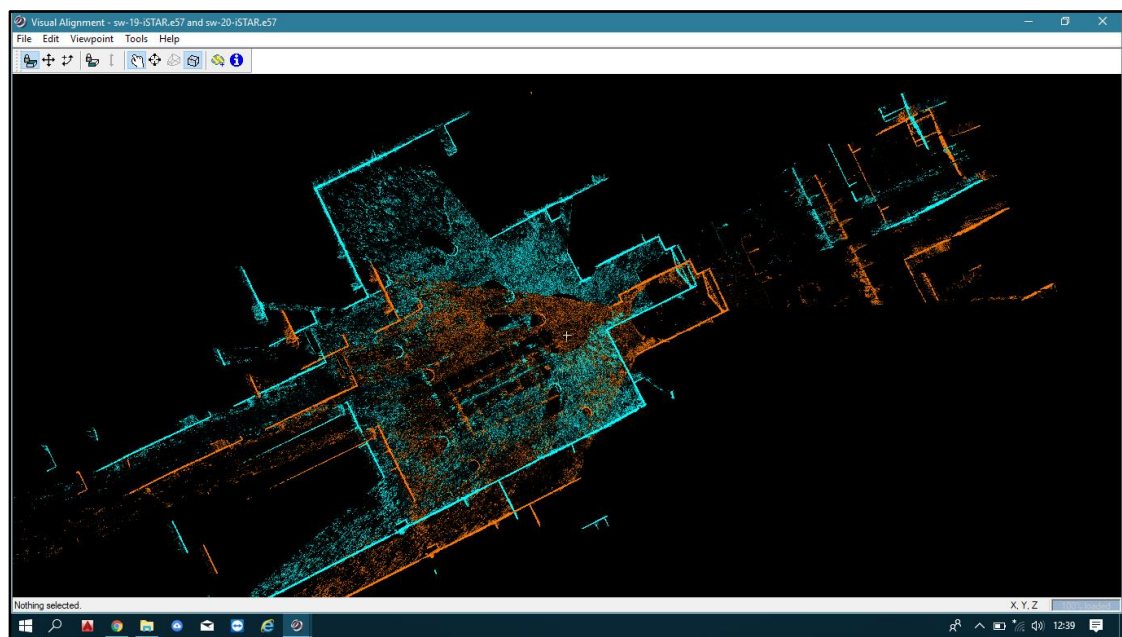


Figura 8.34 - Visual Registration, componente planimetrica ancora da mettere in corrispondenza

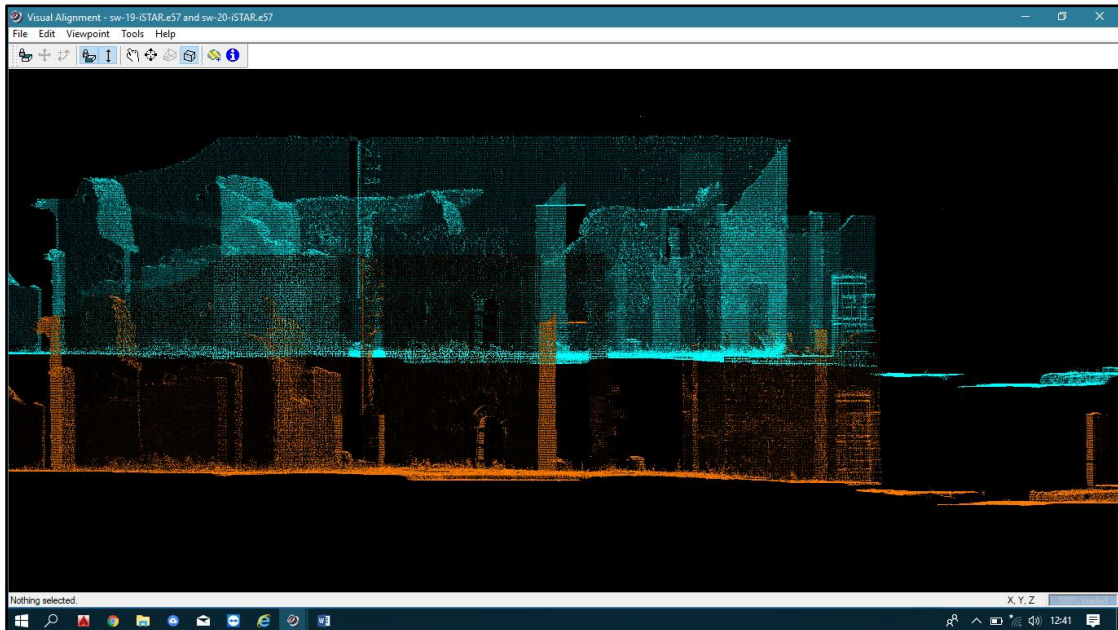


Figura 8.35 - Visual Registration, componente altimetrica ancora da mettere in corrispondenza

Il dato colorimetrico è stato contestualmente acquisito utilizzando l'apparato fotografico Ntech Istar ed attribuito ai punti della nuvola in fase di elaborazione dei dati, ottenendo una nuvola densa di punti colorata che permette di riconoscere moltissimi elementi decorativi, oltre che strutturali, tra i quali i mosaici per i quali è famosa la domus mostrata nelle figure 8.36, 8.37 e 8.38.

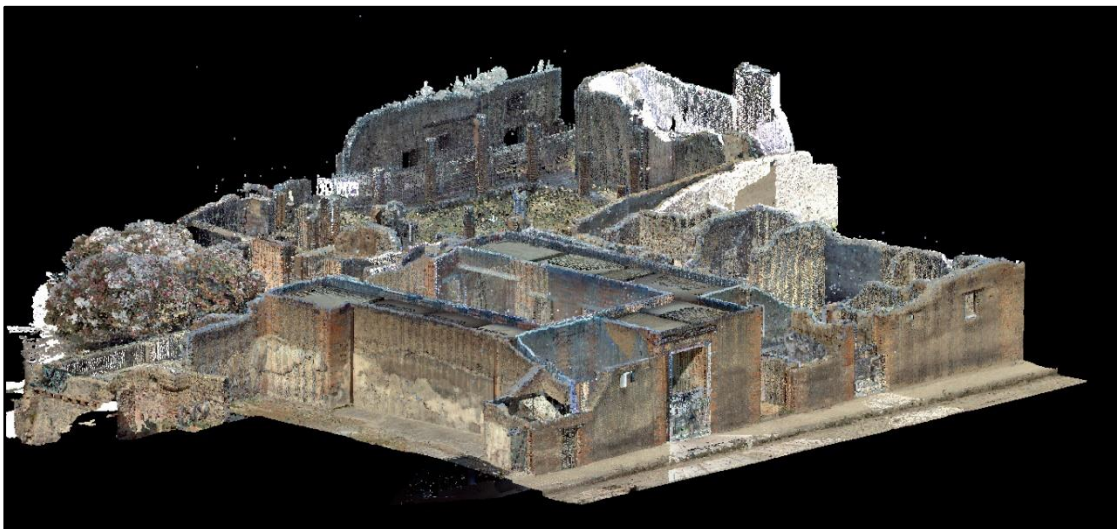


Figura 8.36 - Casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 16), vista complessiva della nuvola densa di punti colorata



Figura 8.37 - Casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 16), nuvola densa di punti colorata



Figura 8.38 - Casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 16), vista complessiva della nuvola densa di punti colorata

Ci si sofferma ancora una volta sull'Insula 4 e quindi sulla casa dei Corneli: il suo rilievo è stato impegnato varie giornate, ha richiesto 118 scansioni di dettaglio di II livello oltre alle 13 di dettaglio di I livello e, in fase di registrazione, è stato suddiviso in 6 sotto-registrazioni, delle quali due corrispondono alla porzione nord e quella sud della domus, le altre 4 ai prospetti esterni delle murature perimetrali (figura 8.39).

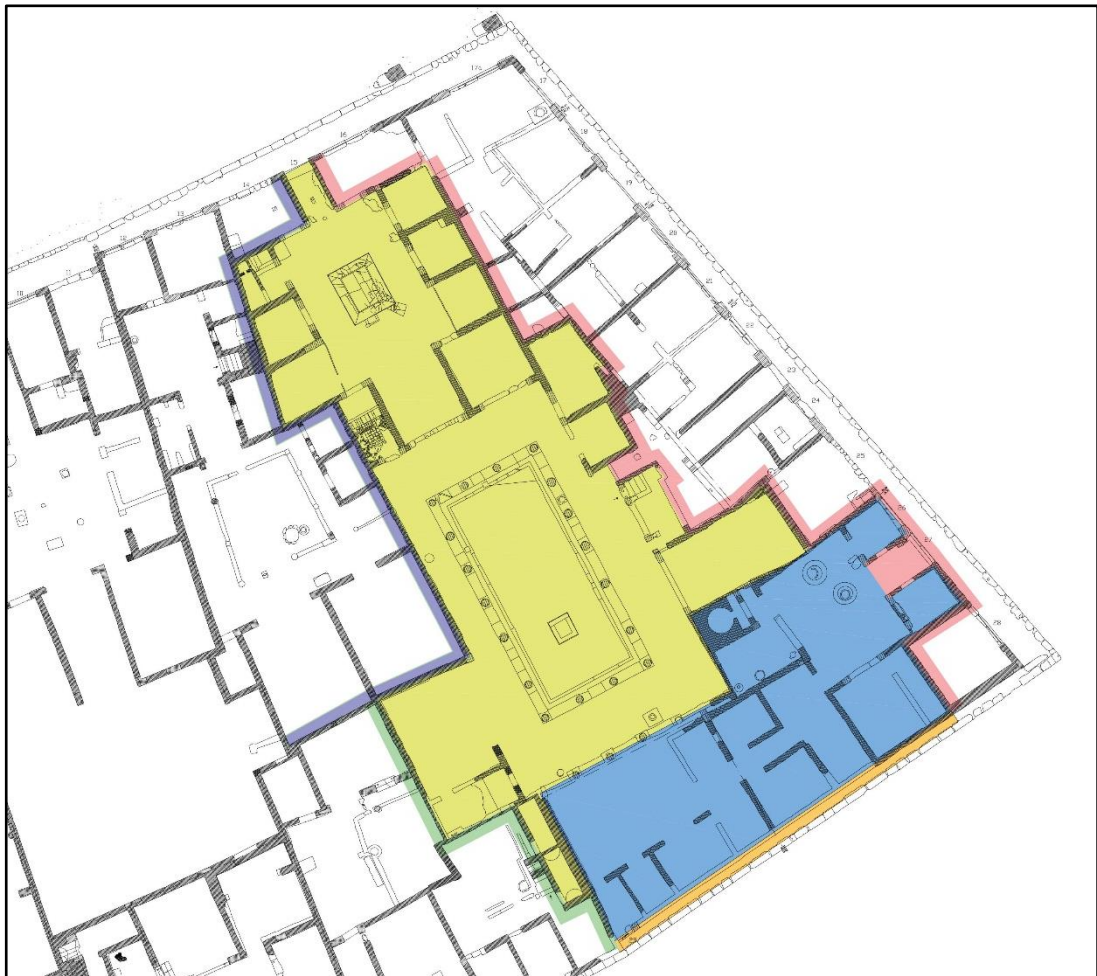


Figura 8.39 - Casa dei Corneli, mappatura delle aree in cui è stata suddiviso il rilievo

Nella figura 8.40 si mostrano invece, colorati in magenta, i punti di stazione del rilievo della Casa dei Corneli, mentre come al solito sono colorati di rosso i vertici della RUR, di viola quelli della Rete di II livello, di blu quelli della poligonale del rilievo di dettaglio di I livello.

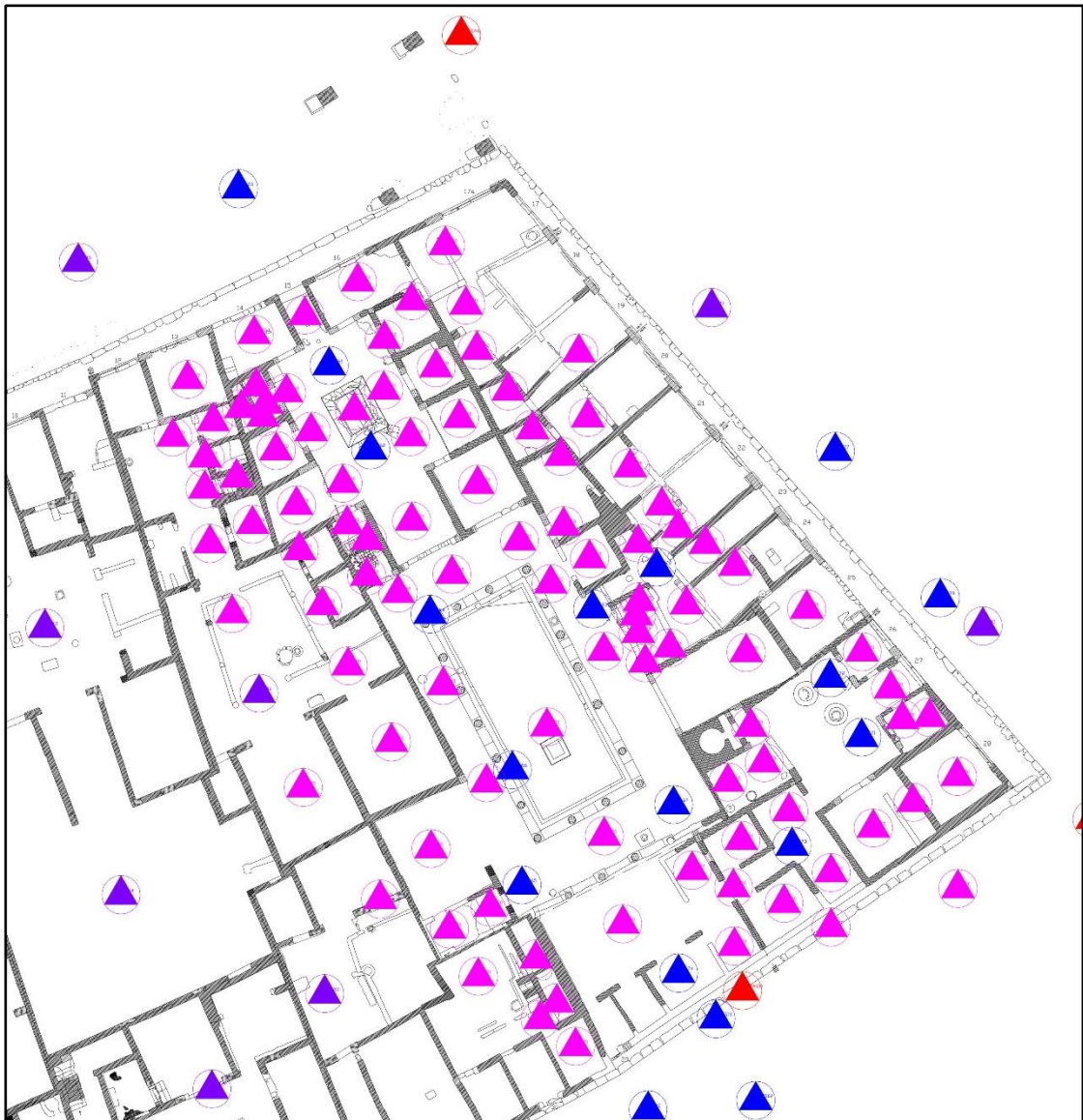


Figura 8.4029 - Casa dei Corneli, posizione dei punti di stazione Leica

La tolleranza ammessa nella fase di registrazione delle scansioni è stata anche in questo caso è fissata a 3-4cm e, come si vede nella figura 8.41 riportante il report di registrazione della porzione nord delle scansioni, corrispondente all'area "gialla" di figura 8.36, è stata rispettata, visto che gli SQM massimi non hanno superato i 2,2cm.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group	
386	Cloud/Mes...	sw004+STAR...	sw005+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	n/a	aligned [0.007 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw014+STAR....	sw015+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	n/a	aligned [0.007 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw017+STAR....	sw018+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	n/a	aligned [0.007 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw019+STAR....	sw020+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	n/a	aligned [0.007 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw013+STAR....	sw014+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	n/a	aligned [0.008 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw015+STAR....	sw016+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	n/a	aligned [0.008 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw001+STAR....	sw002+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	n/a	aligned [0.009 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw011+STAR....	sw012+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	n/a	aligned [0.009 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw012+STAR....	sw013+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	n/a	aligned [0.009 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw016+STAR....	sw017+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	n/a	aligned [0.009 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw020+STAR....	sw021+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	n/a	aligned [0.009 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw002+STAR....	sw003+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw005+STAR....	sw006+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw008+STAR....	sw009+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw010+STAR....	sw011+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw026+STAR....	sw027+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw034+STAR....	sw035+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	n/a	aligned [0.010 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw003+STAR....	sw004+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw006+STAR....	sw007+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw009+STAR....	sw010+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw018+STAR....	sw019+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw027+STAR....	sw028+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw029+STAR....	sw030+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw033+STAR....	sw034+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.011 m]	n/a	aligned [0.011 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw021+STAR....	sw022+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	n/a	aligned [0.012 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw022+STAR....	sw023+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	n/a	aligned [0.012 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw032+STAR....	sw033+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	n/a	aligned [0.012 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw046+STAR....	sw047+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	n/a	aligned [0.012 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw023+STAR....	sw024+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	n/a	aligned [0.013 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw028+STAR....	sw029+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	n/a	aligned [0.013 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw037+STAR....	sw039+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	n/a	aligned [0.013 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw040+STAR....	sw041+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	n/a	aligned [0.013 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw024+STAR....	sw025+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]	n/a	aligned [0.014 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw030+STAR....	sw031+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]	n/a	aligned [0.014 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw039+STAR....	sw040+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]	n/a	aligned [0.014 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw043+STAR....	sw044+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]	n/a	aligned [0.014 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw047+STAR....	sw049+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]	n/a	aligned [0.014 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw007+STAR....	sw008+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.015 m]	n/a	aligned [0.015 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw031+STAR....	sw032+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.015 m]	n/a	aligned [0.015 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw036+STAR....	sw037+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.015 m]	n/a	aligned [0.015 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw035+STAR....	sw036+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.016 m]	n/a	aligned [0.016 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw041+STAR....	sw042+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.016 m]	n/a	aligned [0.016 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw042+STAR....	sw043+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.016 m]	n/a	aligned [0.016 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw044+STAR....	sw046+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.016 m]	n/a	aligned [0.016 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw025+STAR....	sw026+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.017 m]	n/a	aligned [0.017 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw049+STAR....	sw050+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.017 m]	n/a	aligned [0.017 m]	Ungrouped
386	Cloud/Mes...	sw044+STAR....	sw045+STAR....	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.022 m]	n/a	aligned [0.022 m]	Ungrouped

Figura 8.4130 - Casa dei Corneli, report di registrazione del blocco nord di scansioni (in giallo in figura 8.36)

Nelle figure 8.42 e 8.43 si mostrano rispettivamente la posizione dei punti di scansione della Casa dei Corneli, le nuvole acquisite colorate in modalità “single color” .

Nelle figure 8.44 e 8.45 due viste della nuvola complessiva della Casa dei Corneli.

Infine, nelle figure 8.46 e 8.47 due viste della nuvola complessiva dell’Isola 4.

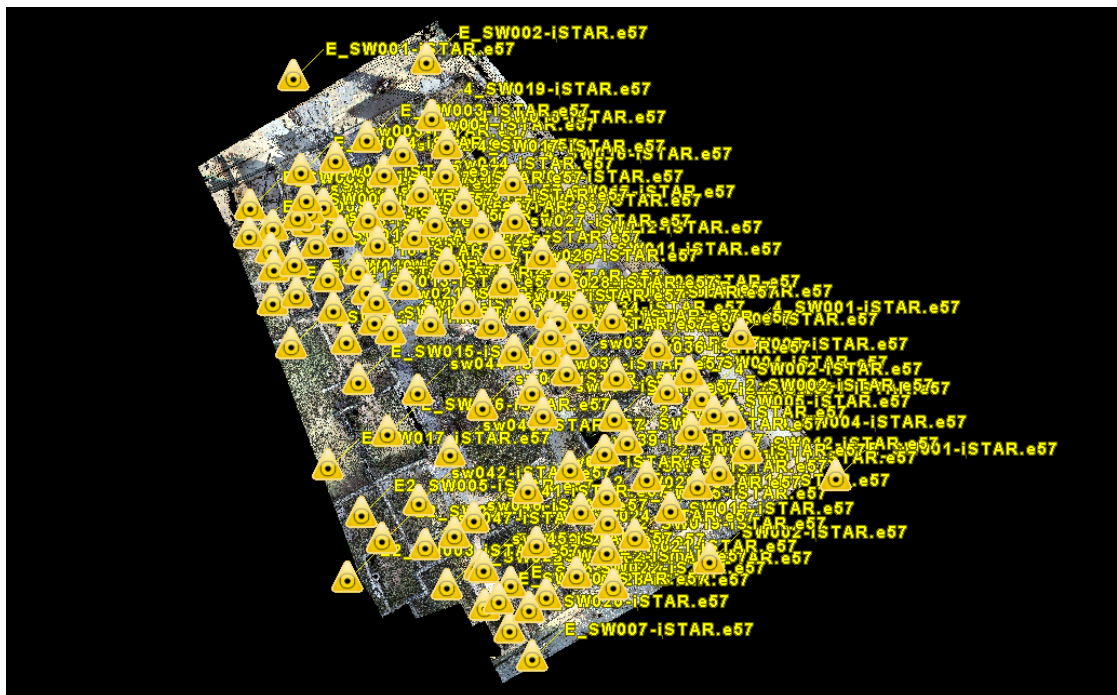


Figura 8.42 - Casa dei Corneli, nuvola di punti con indicazione dei punti di acquisizione

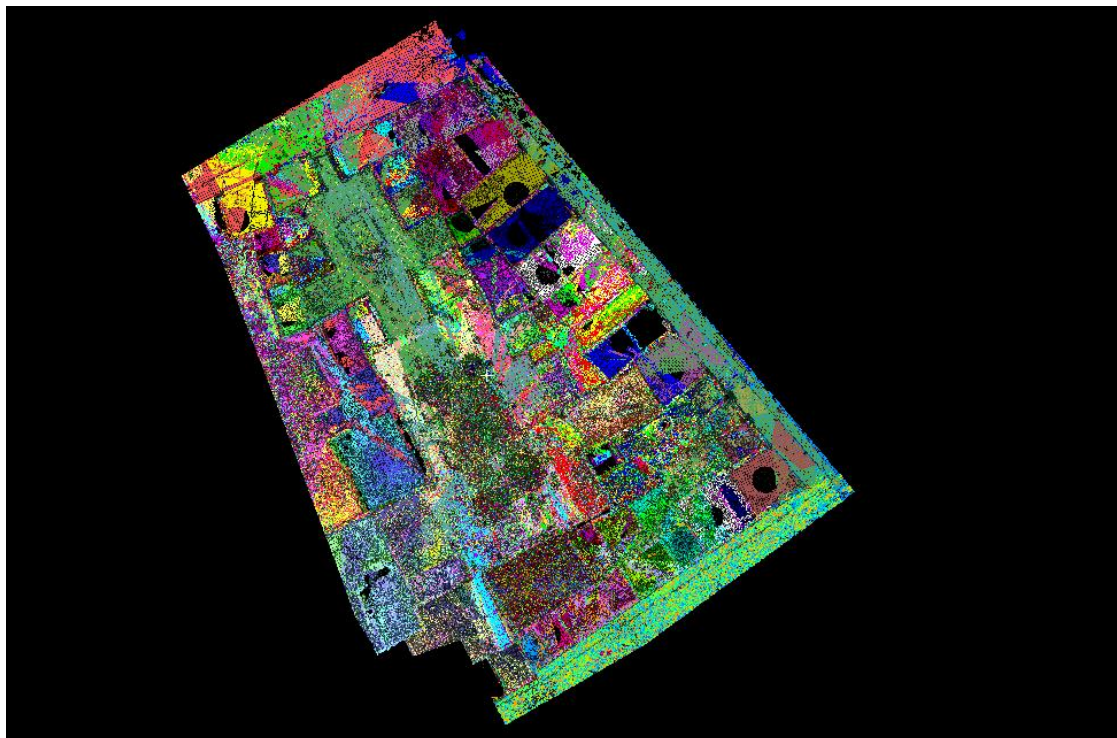


Figura 8.43 – Casa dei Corneli, nuvole di punti colorate in modalità "single color"

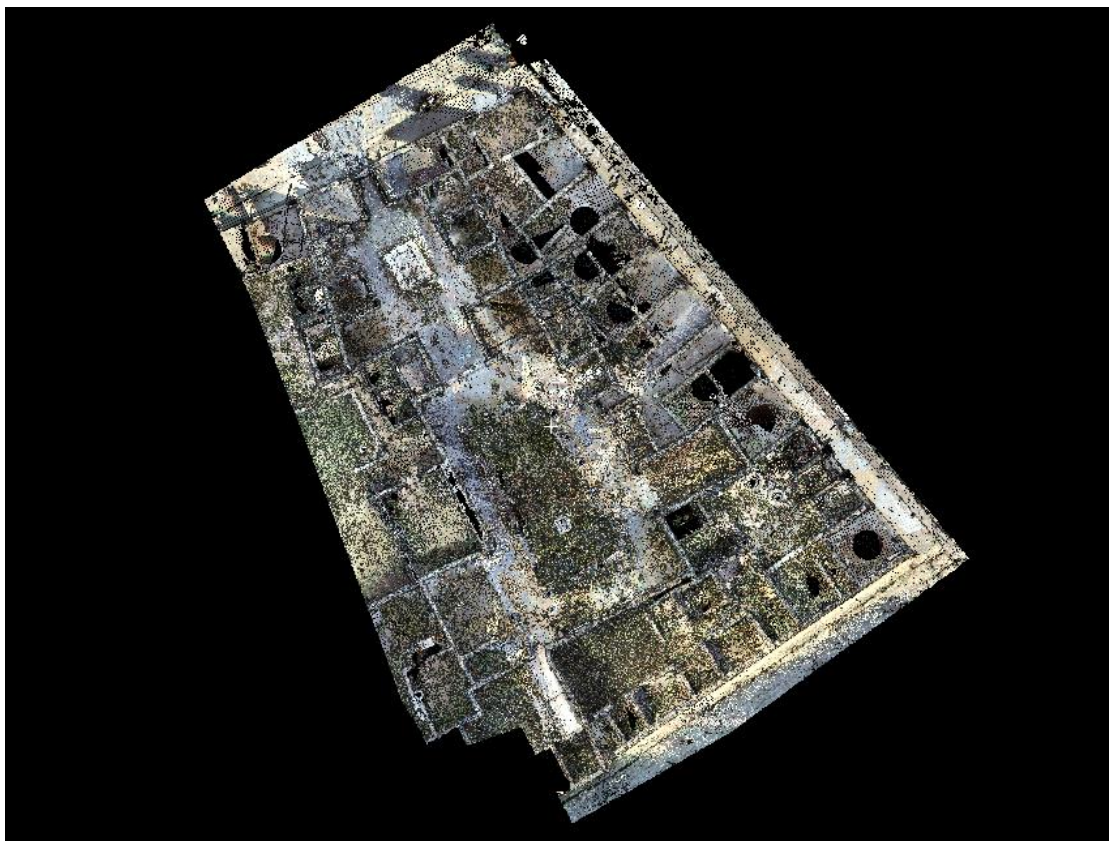


Figura 8.4431 - Casa dei Corneli, nuvola complessiva vista dall'alto



Figura 8.4532 - Casa dei Corneli, nuvola complessiva vista dall'interno

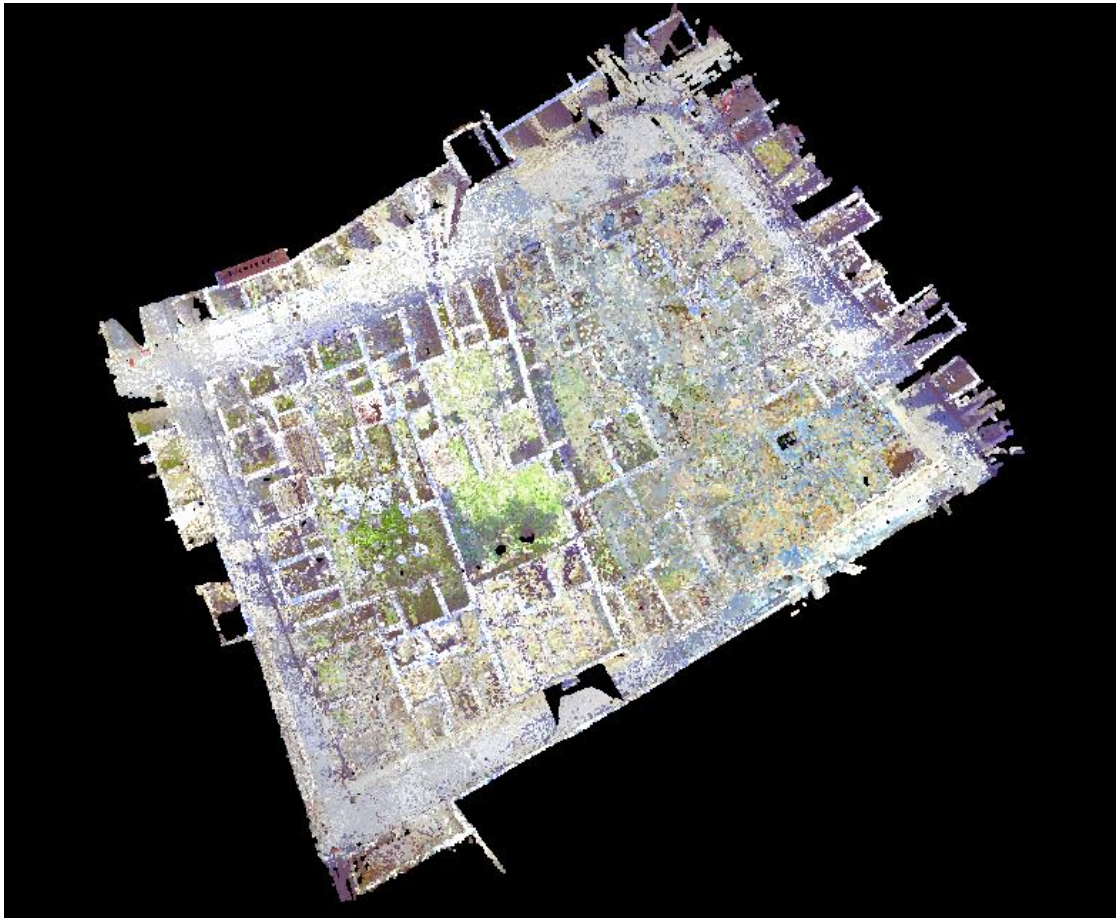


Figura 8.4634 - Insula 4, nuvola di punti complessiva vista dall'alto



Figura 8.4733 - Insula 4, nuvola di punti complessiva vista dall'incrocio tra v. dell'Abbondanza e v. Stabiana

Complessivamente sono state acquisite 547 scansioni, tra inquadramento e dettaglio, finalizzate al rilevamento dei 5 monumenti, suddivise come in figura 8.48.

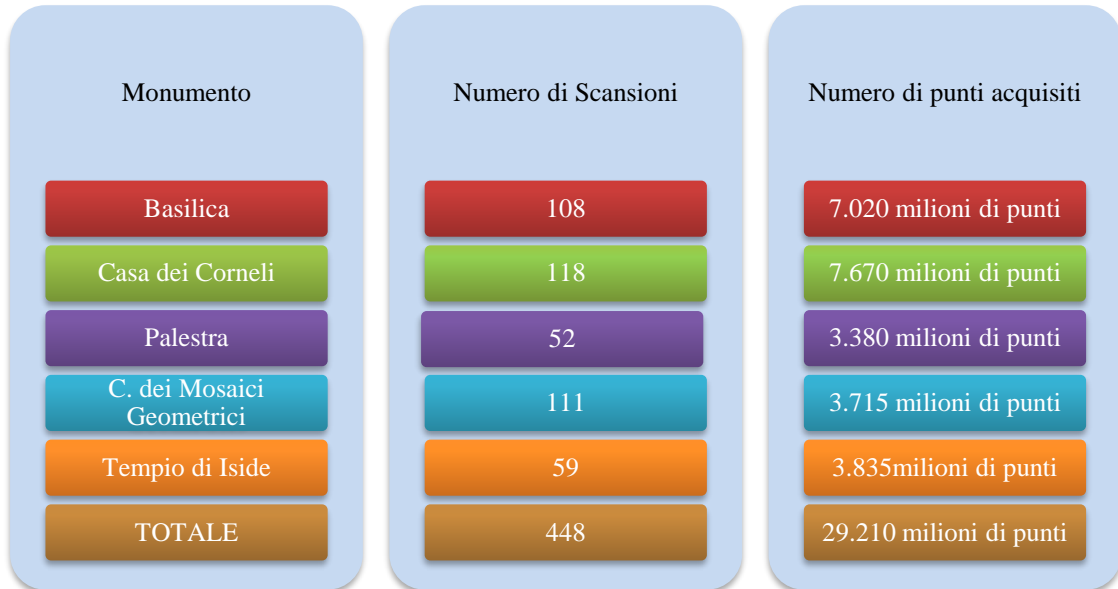


Figura 8.48 - Numero di scansioni suddivise per monumento

Nelle figure 4.49 e 4.50 si mostrano due viste delle nuvole di punti degli altri monumenti, ossia il Tempio di Iside e la Palestra.



Figura 8.4935 - Tempio di Iside, nuvola colorata



Figura 8.5036 - Palestra, nuvola di punti colorata

8.4 Rilievo fotogrammetrico

I rilievi fotogrammetrici sono iniziati immediatamente dopo il termine delle campagne di misura finalizzate alle reti di inquadramento, indicativamente a maggio 2015. Come già scritto si sono effettuati sia da terra, sia da drone.

8.4.1 Rilievo fotogrammetrico terrestre

Le fotografie degli oggetti censiti dal sistema di anagrafiche del lotto 6 sono state acquisite in formato “RAW” per mezzo di tre diverse fotocamere reflex digitali full frame della Canon (una 5DMarkII e due 6D) equipaggiate con zoom 17- 40 mm originale Canon.

Il processo di acquisizione delle fotografie ha seguito quello tracciato dall'allegato tecnico (paragrafo 4.5.3). Dunque, la fotocamera è stata posizionata sul cavalletto, quando possibile ad un'altezza tale da risultare centrale rispetto alla superficie da fotografare, avendo cura di centrare la livella sferica, così che, nell'ipotesi di dovere acquisire una superficie verticale è ragionevole ritenere che il sensore sia parallelo e

centrato rispetto ad essa. Nel caso invece dei pavimenti si sono effettuate delle riprese zenitali, sempre provando a disporre il sensore parallelamente al piano e il più possibile centrale rispetto ad esso.

Per ogni superficie sono stati acquisite due fotografie (figure 8.51 e 8.52):

- la prima con i riferimenti metrici, anagrafici e colorimetrici: due paline disposte ortogonalmente tra loro sul piano da rettificare, un ColorChecker e una lavagnetta con indicazione dei riferimenti anagrafici della superficie fotografata ed il suo orientamento,
- la seconda identica alla precedente a meno che l'assenza dei riferimenti.

Quando si sono presentate delle condizioni in cui le zone in luce e quelle in ombra erano molto nette, si sono effettuate delle sequenze di fotografie con diversi livelli di esposizione, in maniera da generare immagini HDR.

Dunque, per ciascuno degli elementi censiti sono state ottenute due fotografie, entrambe in formato "RAW" il cui nome è stato modificato in modo da contenere l'anagrafica dell'oggetto e l'indicazione dell'orientamento della superficie fotografata.

Ogni fotografia è stata elaborata prima dal punto di vista fotografico, poi da quello fotogrammetrico, ottenendo così delle immagini raddrizzate che rappresentassero il più fedelmente possibile l'informazione cromatica.

La fase di elaborazione fotografica consiste nella correzione, attraverso l'impiego del programma Adobe Lightroom del bilanciamento del bianco e di altri tipi di distorsione del colore, legate sia alla fotocamera utilizzata, sia alle condizioni operative, sull'immagine contenente il ColorChecker e la conseguente applicazione delle correzioni sull'immagine senza riferimenti.



Figura 8.5138 - Fotografia della parete VIII 27 i N (nord) con i riferimenti



Figura 8.5237 - Fotografia della parete VIII 27 i N (nord) senza riferimenti



Figura 8.53 - Fotografia della parete VIII 27 I N (NORD) raddrizzata

La fase di elaborazione fotogrammetrica, nel caso di superfici rilevate piane o riconducibili ad un piano, si è svolta applicando il programma “*Perspective Rectifier*”, utilizzando come PFA dei punti naturali appartenenti al piano di proiezione e riconoscibili nella fotografia e nella nuvola di punti 3D acquisita con i laser scanner (figura 8.53). Le monografie dei PFA con indicazione delle loro coordinate nella RUR sono i report estratti dal tool Leica Trueview, che permette di visualizzare la nuvola di punti in ambiente Internet Explorer, effettuare delle misure, interrogare un punto per conoscerne le coordinate.

Infine è necessaria la predisposizione della cartella per ogni anagrafica con le due foto RAW di partenza, l’immagine raddrizzata in formato TIFF, DWG e JPG ridimensionata a 1200 pixel sul lato lungo (versione per il Sistema Informativo), oltre ai metadati.

Diversamente, nel caso in cui non fosse possibile acquisire l'intera parte con un unico scatto, si sono seguite le procedure illustrate al paragrafo 7.4.1.1, sempre utilizzando con PFA i punti della nuvola di punti complessiva.

8.4.2 **Rilievo aerofotogrammetrico da drone**

Il rilievo aerofotogrammetrico tramite drone è stato impostato secondo strisciate con sovrapposizione del 60% in direzione longitudinale e del 40% in direzione trasversale. In questo modo, oltre ad ottenere la completa copertura delle aree da rilevare, è possibile elaborare i dati con il software commerciale PhotoScan (paragrafo 3.3.2.2.3), utilizzando come CGP ancora una volta i punti della nuvola laser scanning del rilievo di dettaglio ed infine ottenendo la nuvola densa di punti e le ortofoto delle aree acquisite.

Per questioni di sicurezza, la Soprintendenza ha richiesto che i voli avvenissero quando il parco archeologico era chiuso e pertanto sono stati eseguiti tra le 7 e le 8.30 del mattino, con quota di volo pari a 25 metri e fotocamera con ottica fissa di 50 mm.



Figura 8.39 – Drone Aibot in fase di acquisizione



Figura 8.5540 – Una delle fotografia acquisite da drone

Le ortoimmagini da drone hanno permesso la restituzione vettoriale delle strade e delle creste dei muretti, l'estrazione di porzioni di ortoimmagini relative alle strade da inserire nel SI ed hanno rappresentato un importante supporto in fase di vettorializzazione delle porzioni più complesse, come nel caso dei 5 monumenti.



Figura 8.5641 - Insula IV, ortoimmagine della porzione ovest

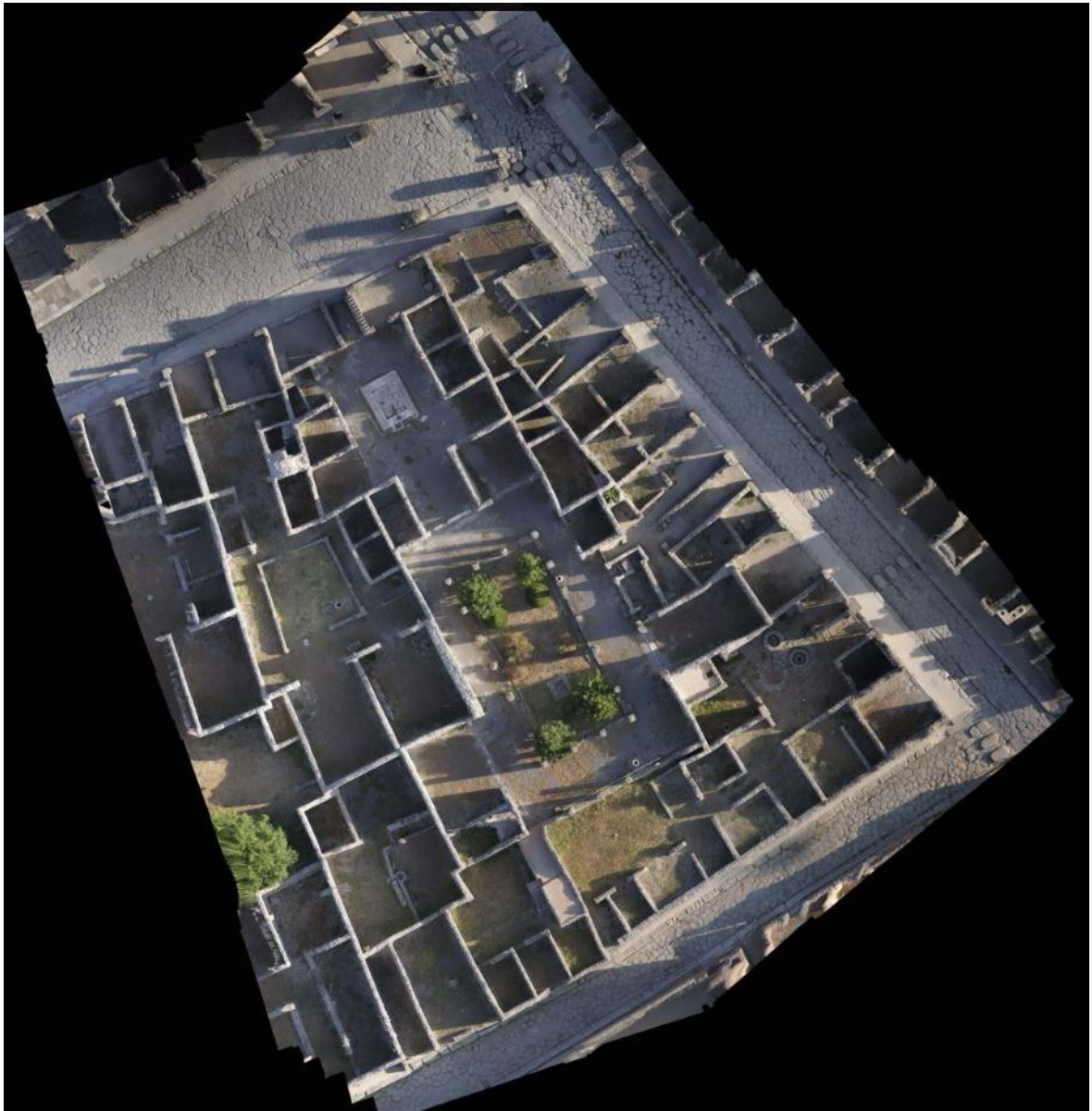


Figura 8.57 - Insula IV, ortoimmagine della porzione est

Capitolo 9 – Conclusioni

Il lavoro presentato si è concentrato sulla metodologia di rilevamento della Regio VIII degli scavi archeologici di Pompei, attività rientrante della linea 1 del Piano della Conoscenza del Grande Progetto Pompei.

Lo studio è stato svolto a partire dalla analisi critica delle richieste generali del capitolato del Piano della Conoscenza e di quelle specifiche del lotto 6, comprendente la Regio VIII, ed alcuni resti in zona suburbana, per una superficie complessiva superiore a 60.000 mq, pervenendo alla definizione di una metodologia di rilevamento basata sull'integrazione delle moderne tecniche topografiche e fotogrammetriche.

In particolare, il piano di rilevamento è stato strutturato in modo modulare, con vari livelli successivi di reti di inquadramento e di misure di dettaglio, queste ultime costituite da molteplici nuvole di punti acquisite tramite rilievi laser scanning ed elaborazione fotogrammetriche di prese terrestri ed aeree. La metodologia applicata ha permesso l'acquisizione di tutte le informazioni geometriche, morfologiche e colorimetriche necessarie, rispettando le richieste in merito alle accuratezze delle coordinate dei punti di dettaglio, alla descrizione delle superficie ed infine ai tempi, estremamente ristretti.

Alle varie campagne di misura hanno fatto seguito le fasi di elaborazione e restituzione delle informazioni raccolte, ottenendo le rappresentazioni bidimensionali ed i modelli tridimensionali richiesti dal capitolato ed evidenziato la sostanziale completezza dei dati acquisiti. La metodologia ha quindi permesso di ottimizzare le campagne di misura realizzate sempre in modo esaustivo, tanto che non si è mai verificata la necessità di ripetere delle acquisizioni.

Lo studio delle richieste del Piano della Conoscenza e la raccolta di documentazione generale sugli scavi di Pompei hanno permesso innanzitutto l'individuazione di alcune situazioni che rappresentano delle criticità dal punto di vista dei rilievi e della

rappresentazione, ossia che influenzano la modalità di acquisizione e restituzione dei dati, secondo poi la suddivisione dei monumenti in 7 macro-tipologie edilizie ricorrenti, legate alla loro antica destinazione d'uso: commerciale (all'interno del quale si sono differenziate le *pergule* (piccole botteghe-abitazioni) dalle grandi botteghe (tra le quali le più diffuse sono i *termopoli*, i forni e le *fulloniche* per la lavorazione della lana)), residenziale (che analogamente distingue le domus dalle *pergule* appena viste), di culto, ludico, pubblico e necropoli, oltre alle strade. Le criticità individuate possono essere assenti o presenti in percentuale variabile all'interno delle varie macro-tipologie edilizie, rendendo più o meno complessi il loro rilevamento e rappresentazione. Queste considerazioni hanno condotto alla impostazione di un Criterio di Parametrizzazione delle Criticità (CTC) degli scavi, ossia un metodo di valutazione analitica ed a priori della difficoltà di esecuzione del rilevamento e della rappresentazione di un'area più o meno estesa degli scavi di Pompei, a partire da delle ipotesi sulla sua composizione in termini di macro-tipologie edilizie. A fronte di analoghe richieste in termini di rilievi e rappresentazioni, il CTC è applicabile agli altri siti archeologici vesuviani ed in generale alla archeologia romana del sud Italia, ma, con le debite modifiche, il suo utilizzo può estendersi ad altre realtà.

A partire dallo studio delle planimetrie e degli altri documenti di gara, si è applicato il CTC alla reale consistenza di ciascuna della 7 Insulae che compongono la Regio VIII, ottenendo le loro “*superfici criticità*”, ossia la stima a priori delle difficoltà che si possono incontrare nella realizzazione del loro rilevamento e della loro rappresentazione, nell'ottica specifica delle richieste del Piano della Conoscenza.

A chiusura di questo lavoro si mostrano due grafici: la distribuzione delle “*superfici criticità*” e la distribuzione del numero di scansioni di dettaglio sulle Insulae della Regio VIII. Il primo grafico deriva dall'applicazione del CTC alle superfici delle 7 Insulae, quindi non è altro se non la parametrizzazione delle superfici da rilevare sulla base della ipotetica difficoltà nell'effettuarne rilievi e rappresentazione. Il secondo rappresenta le scansioni complessivamente acquisite nell'ambito del rilievo di dettaglio con entrambi i due laser scanner impiegati, compresi i rilievi dei 5 monumenti.

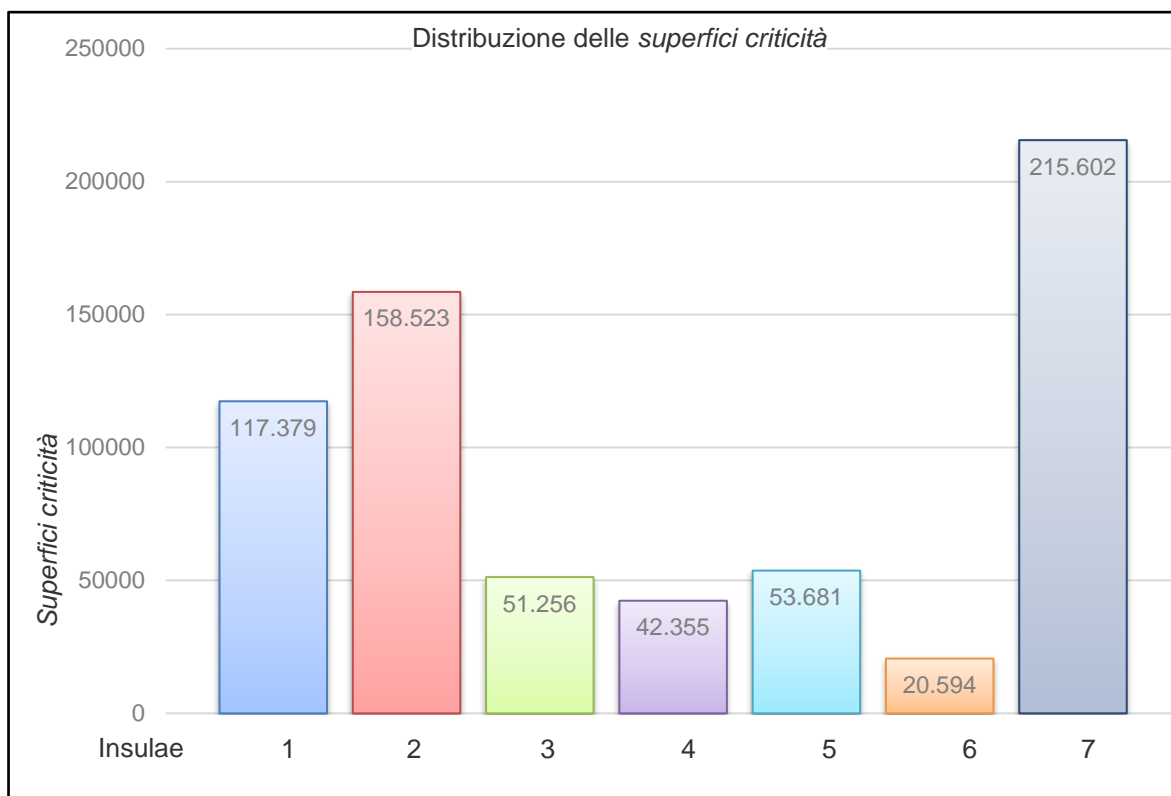


Figura 9.1 - Distribuzione delle *superfici criticità*

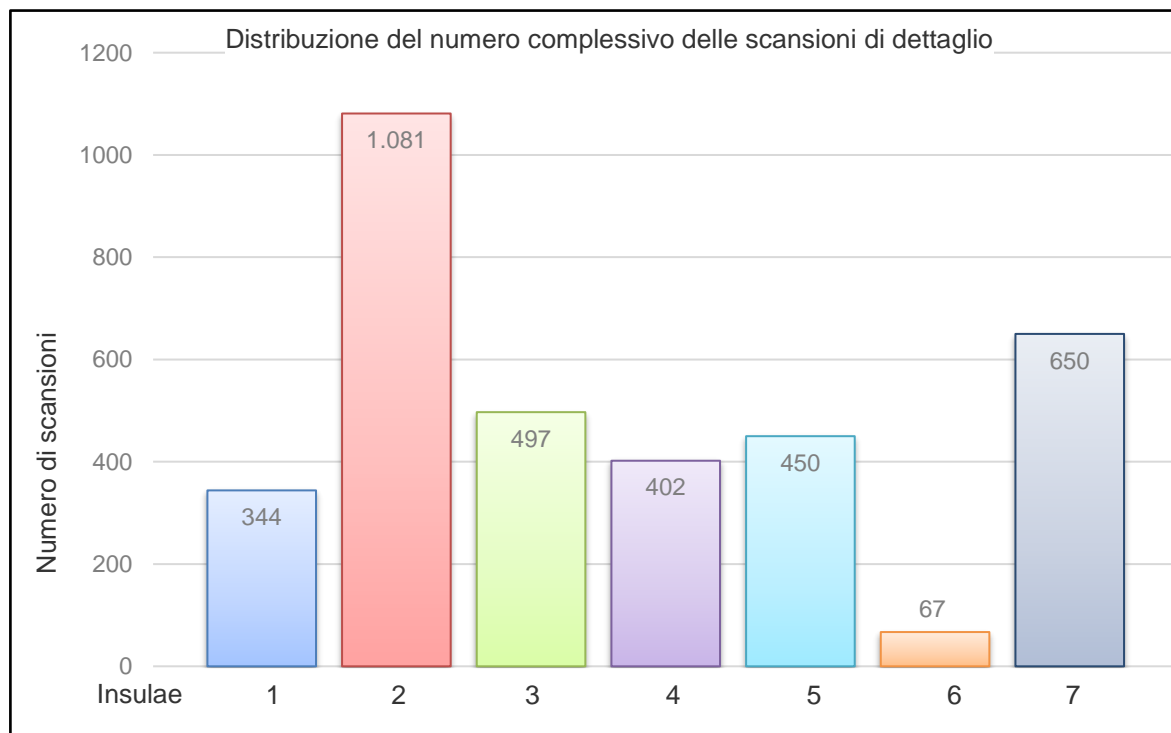


Figura 9.2 - Distribuzione delle scansioni di dettaglio complessivamente acquisite

Sicuramente il numero di scansioni complessivamente acquisito in ogni Insula dipende dal numero, dalla conformazione e dalla dimensione dei vani in essa compresi e in misura minore dal numero, dalla distribuzione e dall'estensione delle unità catastali che la compongono. Il confronto tra gli istogrammi mostrati nelle figure 9.2, 6.17, 6.18 e 6.21 evidenzia una distribuzione, sulle 7 Insule, dei civici, dei vani e delle superfici differenti rispetto a quella del numero di scansioni. L'analisi congiunta dei grafici di figura 9.1 e 9.2 evidenzia invece una discreta coerenza tra la distribuzione del numero di scansioni e quello delle *superfici criticità*.

Si ritiene quindi che i principi sui quali si basa il CTC siano corretti, anche se migliorabili, e che questo possa rappresentare in futuro un concreto supporto alla progettazione dei rilevamenti di siti archeologici di grandi estensioni.

E' inutile negare che tale studio è stato in realtà effettuato a posteriori, perché, come spesso avviene, tra l'approvazione e l'inizio dei lavori è mancato il tempo per la costruzione di una metodologia di analisi ex novo: la progettazione si è dunque basata su esperienze pregresse e su considerazioni generali, che peraltro si sono rivelate corrette, ma che non hanno preso in considerazione la possibilità di strutturare e di variare la tecnica di rilievo sulla base delle criticità delle Insulae.

Si spera che in futuro, nel progettare un rilievo in un analogo sito archeologico (dal punto di vista dell'epoca costruttiva o dell'estensione), si possa sfruttare l'analisi a priori proposta in questo lavoro.