Tecniche laser-scanning e metodo fotogrammetrico per una lettura dei caratteri costruttivi del patrimonio storico antico

IL CASO DI SUSA

POLITECNICO DI TORINO

Tesi di Laurea Magistrale in

Architettura per il Progetto Sostenibile

a.a. 2019/2020

Tecniche laser-scanning e metodo fotogrammetrico per una lettura dei caratteri costruttivi del patrimonio storico antico

IL CASO DI SUSA

Candidato:

Alberto D'Errico

Relatrice:

Prof. ssa Nannina Spanò

Correlatore:

Prof. Cesare Tocci









Dove non specificato le fotografie, i disegni e gli elaborati grafici sono da considerarsi opera dell'autore

INDICE

		Introd	duzione	7
1		Susa	romana e celtica: una conoscenza rinnovata	11
	1.1	La citt	tà di Susa: un incontro tra diverse culture	13
	1.2	Un sis	e l'acquedotto romano	18
	1.3	Gli stu	udi condotti nel tempo e le trasformazioni del sito	32
2			oplicazioni della Geomatica e la campagna di o a Susa	53
	2.1	Le pro	Le problematiche del sito e le strategie adottate	
	2.2	L'inquadramento topografico		58
	2.3	La tecnologia LiDAR		64
		2.3.1	L'acquisizione delle scansioni a Susa	67
		2.3.2	La registrazione delle scansioni	72
	2.4	Il rilievo fotogrammetrico		76
		2.4.1	Il rilievo fotogrammetrico aereo (UAV)	80
		2.4.2	L'elaborazione dei dati del rilievo fotogrammetrico	86
			aereo	
		2.4.3	Il rilievo fotogrammetrico terrestre applicato all'altare	95
			celtico	
		2.4.4	L'elaborazione dei dati del rilievo fotogrammetrico	96
			terrestre	

3		Gli esiti del progetto	o di rilievo	99		
	3.1	L'estrazione del modello tridimensionale dell'ara coppellata				
	3.2	L'estrazione dei modelli bidimensionali				
		3.2.1 L'altare celtico c	oppellato	109		
		3.2.2 Il tratto occident	tale della cinta fortificata	118		
4		La Geomatica per una lettura dei caratteri costruttivi				
	dell'architettura					
	4.1	Le mura fortificate di Su	usa, tra i modelli romani e la loro	125		
		diffusione nell'Italia Se	ttentrionale			
	4.2	L'analisi di planarità del	tratto nord-occidentale del muro di cinta	131		
	4.3	L'analisi stratigrafica		134		
		4.3.1 La metodologia	applicata al caso studio:	136		
		il tratto nord-occ	cidentale del muro di cinta			
		4.3.2 Le schede di ca	talogazione delle unità stratigrafiche	142		
	4.4	Trasposizione dei dati s	stratigrafici su tecnologia GIS	144		
5		Conclusioni		149		
	Appendice A - Gli eidotipi					
		Appendice B - Le schede delle unità stratigrafiche				
		Bibliografia		219		
		Ringraziamenti		229		

Introduzione

La geomatica e il patrimonio culturale

Nell'ambito degli studi sul patrimonio architettonico-paesaggistico è di fondamentale importanza possedere una conoscenza quanto più completa del manufatto, al fine di indagarlo nella sua complessità e nel suo rapporto con contesto e paesaggio. Per giungere a questo tipo di conoscenza oggi si può trarre un grandissimo vantaggio dall'affiancare ai tradizionali metodi di rilievo le più aggiornate tecniche e metodologie proprie della Geomatica, disciplina in costante "divenire", la quale consente di sfruttare le potenzialità offerte dalle tecnologie di acquisizione e gestione delle informazioni spaziali per modellare dati di notevole rilevanza ai fini dello studio degli oggetti architettonici.

E' bene ribadire, comunque, come le opportunità fornite dal campo del rilievo architettonico e le indagini conoscitive sul bene oggetto di studio non siano soltanto finalizzate alla comprensione della sua storia e dei suoi caratteri intrinseci, ma spesso costituiscano la base per futuri interventi conservativi (analisi dei processi e dello stato di degrado) e di restauro. E' dunque imprescindibile far interagire tra loro differenti tipologie di informazioni, ciascuna delle quali offre un suo specifico punto di vista e può contribuire a colmare alcune lacune ed incertezze accumulatesi nel tempo. Solo in questo modo si può giungere ad una "conoscenza rinnovata" dell'architettura, a partire dagli studi condotti nel tempo.

La presente tesi è incentrata sull'analisi di un'area della città di Susa, già oggetto di precedenti studi nel corso degli anni (soprattutto in ambito archeologico) e di particolare interesse storico-architettonico all'interno del panorama dell'architettura romana in Piemonte e sul piano nazionale: si tratta della porzione di cinta muraria collegata alle due arcate superstiti dell'acquedotto romano e all'adiacente altare celtico a coppelle. La finalità di questo lavoro di ricerca è duplice: da un lato, presentare e sfruttare le potenzialità dei più

aggiornati metodi di rilievo metrico e 3D per comprendere meglio il sistema di relazioni tra altare, mura ed acquedotto, dall'altro applicare le metodologie dell'analisi stratigrafica per condurre un'analisi del costruito di una porzione della cinta fortificata, ripercorrendone le differenti fasi costruttive.

La prima fase ha riguardato l'acquisizione dei dati sul campo; il rilievo metrico e 3D, che ha previsto l'utilizzo di tecniche fotogrammetriche (aeree e terrestri) e tecniche LiDAR, ormai consolidate ai fini della conoscenza e della documentazione nel campo dei beni culturali, è stato condotto assieme al team studentesco del Politecnico di Torino "Team DIRECT" (DIsaster and RECovery Team), del quale ho avuto l'opportunità di far parte, sotto la supervisione della Professoressa Nannina Spanò. Il diretto coinvolgimento nella campagna di rilievo mi ha così consentito di individuare le potenzialità offerte dalle diverse tecnologie e di raggiungere la consapevolezza che non si tratta di trovare la "strategia migliore", quanto piuttosto di scegliere quella più adatta a seconda delle circostanze e in vista degli obiettivi che si intendono raggiungere.

Una congrua sezione del presente lavoro è stata per l'appunto dedicata ad un presentazione accurata delle tecnologie utilizzate, descrivendone le principali caratteristiche, potenzialità e ambiti d'impiego. I dati ottenuti sono stati successivamente rielaborati e, affiancati ad una parallela ricerca documentaria e archivistica, sono stati utilizzati per comprendere la logica costruttiva del sito, avendo cura di approfondire meglio la questione relativa all'altare celtico, manufatto di epoca preromana che, tuttavia, si trova armoniosamente inserito tra le mura e le arcate dell'acquedotto.

La seconda fase ha previsto un "passaggio di scala": dallo studio del sito più a livello generale, l'attenzione è stata rivolta allo studio dettagliato di un tratto di cinta muraria, manufatto tardo-antico (del III d.C.), che si inserisce oggi in una realtà stratificata ed è stato soggetto a numerosi rimaneggiamenti nel corso dei secoli. La scelta di affidarsi all'analisi stratigrafica è scaturita proprio dalla natura di questa disciplina che, traendo le sue origini dall'archeologia, consente una lettura ed un'interpretazione critica dei magisteri murari, consentendo di

avanzare ipotesi sul percorso costruttivo del manufatto attraverso gli anni.

Quindi il fine ultimo non è tanto quello di giungere ad una conoscenza definitiva ed assoluta dell'oggetto architettonico, data una volta per tutte. L'intento è piuttosto quello di dimostrare come le moderne tecnologie per il rilievo e l'elaborazione dei dati siano di fondamentale importanza nel contribuire ad approfondire tale conoscenza, che risulta così "rinnovata" rispetto a quella passata. A tal proposito le tecniche di modellazione *reality-based*, che permettono di acquisire dati spaziali e ottenere modelli tridimensionali molto accurati di scenari e oggetti complessi, trovano numerose applicazioni nella tutela del patrimonio, quali la documentazione del manufatto, il monitoraggio nel tempo, la pianificazione territoriale ed eventuali attività di restauro. Esse infatti permettono di ottenere dati ed informazioni georiferiti nello spazio e temporalmente determinati, rappresentando delle vere e proprie "fotografie istantanee", che offrono la possibilità di essere aggiornate costantemente ed integrate nel tempo (come nel caso del presente lavoro di analisi, che si basa su rilievi metrico-3D già condotti tra 2012 e 2013).

I dati relativi alle unità stratigrafiche sono stati trasferiti in ambiente GIS. Questa procedura ha permesso di collegare gli elementi grafici ad un archivio digitale di informazioni (*database*), consentendo una visualizzazione immediata delle singole unità stratigrafiche e dei rapporti che intercorrono tra le une e le altre.

Si può pertanto affermare come le nuove tecnologie non siano il soggetto principale della tesi, ma un valido supporto per il vero obiettivo, ovvero la conoscenza trasversale e multiprospettica che appare come il risultato dell'interazione tra questi strumenti e i più tradizionali metodi di analisi del costruito.

¹ La modellazione *reality-based* del rilievo digitale si fonda sull'impiego di tecniche che sfruttano sensori attivi e passivi: le tecniche basate su sensori attivi utilizzano strumenti che emettono un segnale elettromagnetico il quale viene registrato dagli stessi strumenti per registrarne una distanza (*range*). Le tecniche basate su sensori passivi, invece, sfruttano la luce naturale per acquisire immagini da elaborare e ricavarne modelli 3D. Si ricorda, inoltre, che queste tecniche permettono di ottenere i dati in tempi ridotti e con costi sostenibili rispetto alle tradizionali tecniche. Cfr. Chiabrando F., Spanò A., *Points Clouds generation using TLS and dense-matching techniques. A test on approachable accuracies of different tools*, in «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», Vol. II, 2013, pp. 67-72.

Susa romana e celtica: una conoscenza rinnovata

Fig. 1 Planimetria riepilogativa della trasformazione urbana di Susa. (Rielaborazione personale che riassume gli elaborati contenuti in: Dezzani L., Patria L., Dalla Segusio romana alla villa Secusie medioevale: forme urbane, strade e risorse ambientali, in «Segusium», 2009, Vol. 48)





1.1

La città di Susa: un incontro tra diverse culture

La conformazione urbana della città di Susa, per come si mostra nel nostro tempo, deve essere letta quale risultato delle vicende storiche che hanno coinvolto le comunità alpine durante la fase di romanizzazione del I secolo a.C. e, parallelamente, come l'esito di processi di stratificazione insediativi che trovano le loro origini già in epoca preromana.

La città di Susa, originariamente conosciuta come *Segusio*² e situata a cavallo delle Alpi tra la Gallia e l'impero romano, era l'antico centro amministrativo della provincia romana delle *Alpes Cottiae*. Collocata nella parte inferiore della Valle di Susa, in prossimità dei valichi del Moncenisio e del Monginevro e nella confluenza del torrente Cenischia con la Dora Riparia, essa costituiva un punto cruciale per le mire espansionistiche da parte di Augusto verso il centro Europa, nonché nodo strategico per i transiti commerciali e militari transalpini³. La morfologia del luogo e la presenza di corsi d'acqua infatti, che costituiscono da sempre il presupposto fondamentale per gli insediamenti umani, anche nel caso di Susa si sono rivelati un elemento imprescindibile nella scelta del sito: la Dora Riparia e il tributario torrente Gelassa, con valenza prettamente difensiva, hanno appunto condizionato fortemente l'espansione urbana.

La conquista di questo territorio dell'Italia nord-occidentale ebbe inizio in età augustea attraverso la fondazione dei tre principali centri: *Augusta Taurinorum*,

^{2 «[...]} Secusio o Secusium o Segusium, città che alcuni vollero fondata dai Celti, e che fosse da loro chiamata Sieghus, cioè casa della vittoria, donde i latini fecero Segusium, e oggi Susa», cfr. Dotto De Dauli C., L'Italia. Dai primordi all'evo antico, Tipografia e Litografia Democratica di Antonio Danesi, Forlì, 1879, pp. 398 - 399.

³ CIMAROSTI E., Aggiornamenti epigrafici alla "Carta Archeologica della Valle di Susa", in «Rivista di Studi Liguri», LXXIII - LXXIII, 2009, p. 92.

Augusta Praetoria e Segusio⁴. Fino al I secolo a.C., infatti, i confini dell'impero romano avevano pressoché escluso i territori contigui all'arco alpino in quanto le Alpi venivano viste «[...] più come un ostacolo, che come un territorio di conquista, su cui imporre il proprio dominio e da cui ricavare ricche tasse [...]»⁵.

Già ad una fase precedente, comunque, è possibile ricondurre i primi rapporti che si instaurarono tra l'impero romano e le comunità alpine del luogo, facenti capo a Donno I, in particolar modo si fa riferimento al momento in cui Giulio Cesare, nella primavera del 58 a.C., impegnato nell'annessione della Gallia Transalpina al dominio romano, ottenne il diritto di passaggio a *Segusio* e valicò il Monginevro.

Il processo di romanizzazione, sfociato spesso in conflitti e ostilità con le tribù autoctone, trovò una parziale svolta nel 13 a.C., con il *foedus* stipulato tra Cozio I (succeduto al padre Donno) e Augusto, oggi testimoniato dall'omonimo arco risalente al 9-8 a.C. e posizionato sull'antica via delle Gallie. Cozio, attraverso una trattativa diplomatica con i conquistatori, perse il titolo di re, ma venne nominato *praefectus*, riuscendo in tal modo a mantenere il controllo sul suo territorio, senza perdere del tutto la propria autorità⁶. Ciò consentì pertanto ai Romani di poter contare su una popolazione non ostile ma, al contrario, collaborativa⁷ e di assicurarsi le principali vie di transito (tra *Augusta Taurinorum* e la Gallia transalpina attraverso il valico del Monginevro e del Moncenisio) la cui gestione venne affidata a Cozio. Ne derivò una crescita economica sia per i segusini sia per i romani che, in questo modo, esercitando il controllo sul valico alpino, attraverso l'installazione di postazioni doganali, riuscirono ad assicurarsi la supremazia militare e parallelamente il controllo delle merci

4 BARELLO F., FERRERO L., UGGÉ S., Evidenze acrheologiche in Valle di Susa: acquisizioni, bilanci, prospettive di ricerca, in «Segusium», Anno L, 2013, vol. 52, p. 28.

in transito attraverso l'imposizione di cospicue tasse, tra le quali si ricorda la quadragesima galliarum⁸.

E' bene ribadire come l'arrivo dei Romani ebbe inevitabili ricadute sul tessuto urbano del distretto alpino, attraverso una generale regolarizzazione dei tracciati viari per i quali gli studiosi forniscono differenti interpretazioni. La forma urbis di Segusio, secondo quanto affermato da Livio Dezzani e Luca Patria, non sarebbe un «[...] "aggiustamento" romano di un qualche precedente nucleo urbano preromano, ma consapevole fondazione di una "città nuova", dalle caratteristiche squisitamente classiche»9. Secondo gli autori sopra citati si possono individuare due fasi relative alla conformazione della città: la prima, denominata Segusio I e collocabile all'inizio del I secolo, era caratterizzata dalla presenza di una maglia ortogonale di assi imperniata sull'impostazione del cardo e del decumano, e si configurava pertanto come una «città aperta» suddivisa in insulae quadrate che distribuivano funzionalmente le diverse destinazioni d'uso nei vari settori della città. Segusio II, invece, riconducibile al finire del III secolo d.C., presentava una forma triangolare ed era circoscritta da una cerchia di mura, che secondo Livio Dezzani e Luca Patria sarebbero l'esito di una costruzione affrettata seppur progettata, dato l'ampio utilizzo di materiale di reimpiego: quest'ultimo assetto urbano deriva dal netto spostamento verso est del centro abitato, in seguito all'abbandono dei più vulnerabili spazi occidentali, collocati in prossimità del Monte Morone¹⁰.

Il nuovo assetto triangolare, che stravolse radicalmente la struttura urbana precedente, pur rispettando la canonica maglia gromatica del I secolo d.C., fu in qualche modo la risposta repentina ad una situazione di necessità che, per ragioni militari, imponeva di realizzare le fortificazioni verso est al fine di lasciare una spianata di fronte al Monte Morone, escludendo dal sistema

15

⁵ Guadagnucci A., Le comunità alpine al tempo dell'impero romano, in «Naturalmente divisi. Storia e autonomia delle antiche comunità alpine», Atti del convegno di studi, Breno, Palazzo della Cultura, 29 settembre 2012, (a cura di) Giarelli L., Incontri per lo Studio delle Tradizioni Alpine, Valcamonica, 2013, p. 305

⁶ LETTA C., La dinastia cozia e la politica romana, in Del Vecchio P., Vota D., «Storia delle valli di Susa. Preistoria, età romana, medioevo fino al Trecento», Il Graffio, Borgone di Susa, 2018

⁷ Roda S., Il territorio valsusino nel quadro della romanizzazione, in «Terra di Confine. Percorsi tra storia e arte nelle valli di Susa», I, Susa 2017.

⁸ Tassa di transito corrispondente a un quarantesimo del valore delle merci che veniva applicata sul traffico del valico alpino, Cfr. De Laet S., *Portorium. Etude sur l'organisation douanière chez les Romaines*, Bruges, 1949, p. 118 - 119

⁹ DEZZANI L., PATRIA L., *Dalla Segusio romana alla villa Secusie medioevale: forme urbane, strade e risorse ambientali*, in «Segusium», 2009, Vol. 48, pp. 14 - 16.

¹⁰ Ivi, pp. 23 - 27.

fortificato settori di grande rilevanza (si ricorda l'area dell'attuale Piazza Savoia, riconosciuta come antica sede del foro romano)¹¹. Ad oggi sappiamo che nel 312 d.C. doveva già essere attestata una cerchia urbica, in quanto il decimo Panegirico di Costantino fa un chiaro rimando a questa data: «[...] il futuro imperatore, sceso dalle Gallie contro Massenzio, lo vinse alle porte di Torino, dopo aver conquistato Segusio, città favorevole al suo antagonista e munita di cinta fortificata»¹². Più precisamente, sulla base degli studi di Prieur, la costruzione delle mura risalirebbe al periodo compreso tra il 260 e il 270 d.C, quando, con l'avanzamento degli Alemanni contro i Romani per il controllo dei passaggi alpini, la città segusina si trovò costretta a confinarsi per evitare le incombenti incursioni nemiche¹³.

Dopo la scomparsa della stirpe coziana, a partire dal 63 d.C., i rapporti con l'impero romano andarono progressivamente peggiorando, fino alla loro definitiva interruzione in occasione delle invasioni barbariche dei Goti (493 d.C.) dei Bizantini e dei Longobardi, in seguito alle quali la città di Segusio riuscì comunque a mantenere la propria influenza strategica sull'intera valle.

Attualmente gli studi condotti sulla Segusio romana sono molteplici e ampiamente divulgati, viceversa, a causa di una carenza di ritrovamenti archeologici e fonti documentarie, si hanno poche notizie storiche in merito alla fase preromana. Va desunto, tuttavia, che, per le caratteristiche geomorfologiche, i caratteri oro-idrografici che ne favoriscono le dinamiche di popolamento e l'importanza strategica che esercitava il sito sul valico del Monginevro, quest'area fosse sicuramente abitata e presidiata¹⁴.

Sappiamo che le originarie popolazioni erano rappresentate dai *Ligures Montani*, anche detti Celti, un'etnia che durante l'età del Ferro (I millennio a.C) scelse di insediarsi in una località strategica dal punto di vista economico e

commerciale. « I *Liguri Segusini* occupavano la parte del Piemonte verso le Alpi Cozie, bagnata dalla *Duria Minor* o *Ripuaria*, oggi Riparia. - Quella parte, da alcuni antichi, tra i quali Strabone, fu detta la terra d'*Ideonno* e di *Cozio*, ma, come scrissero il Bardetti ed altri, ebbe tal nome perché fu prefettura del re *Cozio* figlio del re *Ideonno* o *Donno*. I *Segusini*, detti pure *Cotii* e *Ideonni*, furono una tribù dei *Liguri*, [...] e appartiene a' *Liguri*, anche il paese detto d'Ideonno e quello detto di Cozio, e precisamente a' *Liguri Taurini*¹⁵. Anche Desjardins ricorda come i *Ligures* siano riconosciuti nei *Taurini* e nelle tribù della prefettura di Cozio, suddivisi in 14 popolazioni, informazione apprezzabile nelle iscrizioni dell'Arco di Augusto¹⁶.

Uno dei primi riferimenti a questo popolo è rappresentato dal *De Bello Gallico*, in cui Giulio Cesare, intorno al 50 a.C., riconosce ufficialmente la ripartizione della Gallia in tre popolazioni: «*Gallia est omnis divisa in partes tres, quarum unam incolunt Belgae, aliam Aquitani, tertiam qui ipsorum lingua Celtae, nostra Galli appellantur*»¹⁷.

Si ipotizza che, nell'odierna Susa, l'insediamento di queste popolazioni, dal carattere semplice e privo di monumentalità, si attestasse sulle alture a ridosso del Castello sotto forma di villaggi. Il punto di collegamento con l'insediamento romano, di cui si è precedentemente parlato e che si trovava nella parte pianeggiante dell'*oppidum*, era presumibilmente assicurato dalla Via Sacra, che univa l'Arco di Augusto con l'*Heroon*, il tempio dedicato alla memoria di Cozio¹⁸.

17

¹¹ BARELLO F., FERRERO L., UGGÉ S., Op.Cit.

¹² Mercando L., *La città, le mura, le porte,* in Mercando L. (a cura di), *La Porta del Paradiso. Un restauro a Susa*, Stamperia Artistica Nazionale, Trofarello, 1993, p. 129.

¹³ PRIEUR J., La province romaine des Alpes Cottiennes, Imprimerie Gauthier, Villeurbanne, 1968, p. 87.

¹⁴ Dezzani L. e Patria L., *Territorio, strade e città fortificate: tarda antichità e medioevo a cavallo delle Alpi*, in «Segusium», 2010, Vol. 49, pp. 65 - 67.

¹⁵ Dotto De Dauli C., L'Italia. Dai primordi all'evo antico, Tipografia e Litografia Democratica di Antonio Danesi, Forlì, 1879, pp. 398 - 399.

¹⁶ Desjardins E. E. A., *Géographie historique et administrative, La conquete*, vol. 2, Paris, 1878, pp. 92 - 93. si riporta la trascrizione latina dove vengono elencate le quattordici tribù alpine entrate nella prefettura romana sotto l'imperatore Ottaviano Augusto: IMP · CAESARI · AVGVSTO · DIVI · F · PONTIFICI MAXIMO · TRIBVNIC · POTESTATE · XV · IMP · XIII M · IVLIVS · REGIS · DONNI · F · COTTIVS · PRAEFECTVS CEIVITATVM · QVAE · SVBSCRIPTAE · SVNT SEGOVIORVM · SEGVSINORVM · BELACORVM · CATVRIGVM · MEDVLLORVM · TEBAVRIORVM · ADANATIVM · SAVINCATIVM · EGIDINIORVM · VEAMINIORVM VENISAMORVM IMERIORVM · VESVBIANORVM QVADIATVM · ET · CEIVITATES · QUAE · SVB · EO · PRAEFECTO FVERVNT ·

¹⁷ De bello gallico (I,1: La Gallia nel suo complesso è divisa in tre parti: una è abitata dai Belgi, una dagli Aquitani, la terza da quelli che nella loro lingua si chiamano Celti, nella nostra Galli).

¹⁸ DEZZANI L. e PATRIA L., 2010, Op cit., pp. 65 - 67.

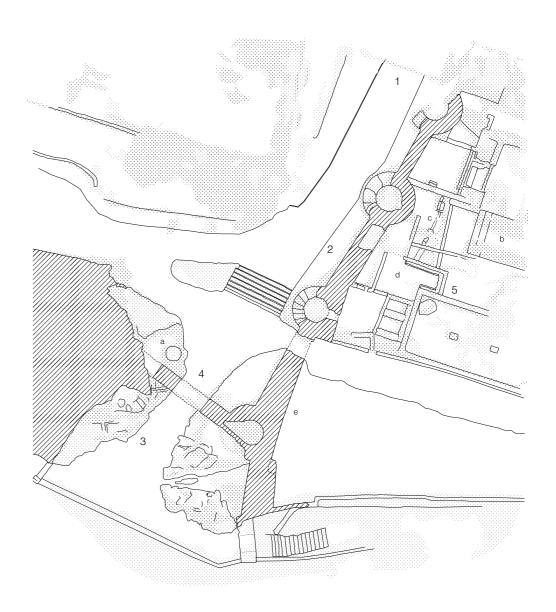
1.2

Un sistema complesso di relazioni: l'altare celtico, le mura e l'acquedotto romano

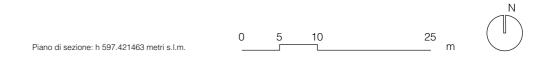
La commistione tra queste due diverse culture è attualmente apprezzabile osservando la giustapposizione di manufatti celtici (altare a coppelle) ad elementi architettonici romani (mura ed acquedotto). Si è scelto di descrivere i tre elementi sopra citati, già oggetto di numerosi studi e pubblicazioni, nell'ordine accennato in precedenza, al fine di rispettare la loro scansione cronologica.

Ad oggi, esistono pareri discordanti per quanto riguarda il rispetto da parte dei romani nei confronti delle testimonianze e degli insediamenti celtici: non è chiaro se questi ultimi venissero conservati oppure eliminati a priori in quanto "pagani", a favore delle più strutturate forme urbane dell'architettura romana.

Fig. 2 Planimetria del complesso oggetto di analisi



- 1 Arco di Augusto
- 2 Muro di cinta (tratto nord occidentale)
- 3 Altare celtico
- Tratto dell'acquedotto romano
- 5 Sito archeologico
- a Pozzo dell'altare
- Latrina romana (da verificare)
- c Tratto di fognatura (da verificare)
- d Castellum Aquae
- e Tratto del muro di cinta oggetto di analisi



19

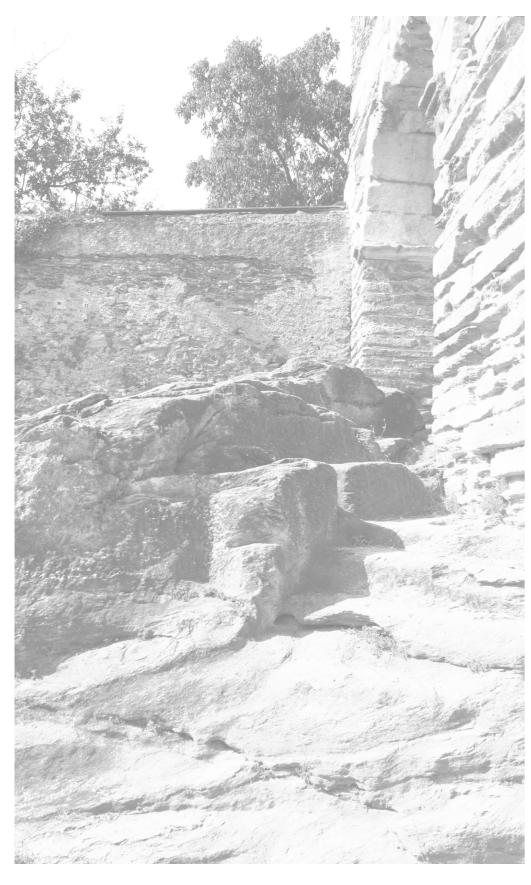
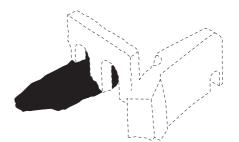


Fig.3 Fotografia dell'altare celtico, particolare della scala scavata nella roccia



Nel caso di Susa il buono stato di conservazione dell'altare a coppelle¹⁹, posizionato in prossimità dell'acquedotto, delle mura di fortificazione e dell'acropoli romana, continua a sollevare dubbi tra gli studiosi ed è stato oggetto di ampie riflessioni da parte dell'archeologo Sandro Caranzano. Secondo quest'ultimo tale testimonianza, difficilmente databile ma riferibile all'Età del Ferro, sarebbe giunta a noi quasi completamente integra come se essa fosse stata "risparmiata" all'eliminazione da parte dei conquistatori romani. Ciò sarebbe parzialmente spiegabile osservando come la nomina a *praefectus* non venne conferita ad un romano, ma ad un soggetto, Cozio, direttamente proveniente dalle popolazioni indigene e che, dunque, avrebbe avuto interesse a rappresentare le sue tribù e i relativi culti pagani. Infatti, «Se consideriamo l'arco onorario [arco di Augusto] come diaframma tra l'area di pertinenza dei civites e l'acropoli occupata dalla domus del prefetto celtico, si può proporre che un altare indigeno preesistente sia stato volutamente rispettato (e forse ampliato) allo scopo di sottolineare il sincretismo tra le deità indigene e quelle romane, in un'ottica di fusione e integrazione tra i vecchi regni alpini e il dominio romano»²⁰. Ancora Sandro Caranzano, sulla base degli studi di Carlo Felice

¹⁹ Più precisamente con il termine "coppelle" si intendono «[...] incisioni a piccola coppa, a sezione emisferica, tronco-conica o cilindrica, di diametro mediamente compreso tra 2 e 20 cm; per quantità sono spesso presenti in notevoli concentrazioni sulle singole superfici rocciose, nonché sovente associate a canaletti di interconnessione, a formare reticoli anche complessi e articolati, ai quali può essere assegnata, per analogia formale, la definizione di "reticoli idrici"». ARCA' A., BOREL RUBAT F., Rocce e tavole a coppelle nella regione alpina, contesti archeologici e ambientali, in «Bulletin d'études prehistoriques et archeologiques alpines», Aosta, 2015, p. 117.

²⁰ Caranzano S., L'arco di Augusto di Susa. Architettura, urbanistica e segni visuali nella propaganda augustea, in «Atti e rassegna tecnica della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino», anno 152 - LXXXIII, n. 1, Torino, aprile 2019, p. 18.

Capello, sottolinea come l'*ara*, collocata in una posizione elevata e ben visibile rispetto all'arco di Augusto, durante l'età imperiale non venne distrutta, ma piuttosto rispettata e in qualche modo valorizzata affiancandola ad alcuni ambienti pavimentati. Inoltre il fatto che l'altare fosse visibile in età imperiale è ribadito dalla presenza di incisioni chiaramente romane, le quali riportano la seguente simbologia: "A, R, PP.LS e AV"²¹.

Pertanto l'altare celtico, portato alla luce dagli scavi del 1947 ad opera di Carlo Francesco Capello²², si trova inserito in un sistema più ampio che comprende parte dell'acquedotto romano e del muro di cinta della città. Nonostante la datazione dell'*ara* sia difficoltosa e permangano svariate incertezze riguardanti la loro funzione, la fattura delle coppe e la scala scavata nella roccia inducono a pensare che l'arco cronologico di riferimento sia il I millennio a.C., coincidente con l'Età del ferro.

Più in generale il panorama degli studi incentrati sulle coppelle, conosciute in tutta Europa e ampiamente diffuse nell'arco alpino piemontese, trova le sue origini nel 1854, quando il precursore dell'archeologia preistorica Fréderic Troyon pubblica la prima segnalazione di rocce coppellate²³.

A Susa le coppelle scavate nella roccia si trovano in una posizione elevata rispetto all'antico foro romano, a pochi metri dall'arco di Augusto, in prossimità dell'antica via di transito delle Gallie, per la cui apertura sembra fossero state eliminate alcune parti dell'affioramento roccioso, così come accaduto per l'inserimento dei piloni dell'acquedotto in età tardo-imperiale²⁴.

Risultano attualmente riconoscibili quindici grandi coppelle, otto canaletti ed una vaschetta: la superficie levigata e la precisione degli incavi suggerirebbero l'utilizzo di strumenti incisori metallici probabilmente in ferro, gli stessi utilizzati

21 ibidem.

per la cisterna, per i sette gradini di accesso all'altare e la realizzazione della via²⁵. In prossimità dell'altare si trova un pozzo che, con ogni probabilità, può essere collegato ad una fossa sacrificale, simile a quelle rinvenute in Francia nel territorio dell'antica Gallia celtico-romana²⁶. Tali cavità, di dimensione e forma differenti, venivano riempite con strati di materiale eterogeneo, comprensivi di oggetti metallici, ceramici ed ossa. A Susa il mancato ritrovamento di reperti di questa tipologia non consente di avanzare ipotesi fondate sull'effettiva funzione di tali pozzi, per i quali Sandro Caranzano, riferendosi a fosse cerimoniali, suggerisce il termine *bothros*²⁷.

In conclusione Caranzano, per sopperire alle lacune finora incontrate, suggerisce di effettuare un rilievo puntuale della roccia coppellata insieme ad una accurata analisi delle scalpellature, indagini che vengono condotte per la prima volta nell'ambito del presente lavoro di tesi.

²² CAPELLO C. F., Scoperta di rocce cuppelliformi nell'agro segusino, in «Atti della SPABA», 1 - 4, 1949, pp. 27-37

²³ ARCA' A., BOREL RUBAT F. Op cit.

²⁴ Si sottolinea che la stessa attività antropica di lavorazione della pietra, sebbene in forma meno evidente, si può leggere sulla roccia antistante, prospiciente le mura del castello. La presenza delle coppelle su entrambe le rocce potrebbe essere spiegata dalla successiva apertura della via Sacra.

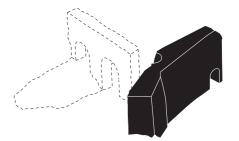
²⁵ ARCA' A., BOREL RUBAT F., 2015, Op. cit, p. 132.

²⁶ Cfr. Petit J. P., *Puits et fosses rituels en Gaule après l'exemple de Bliesbruck (Moselle)*, Groupe d'étude pour le développement et l'aménagement du site archéologique de Bliesbruck, 1988.

²⁷ CARANZANO S., 2019, *Op cit.*, p. 18. Per un'approfondita definizione del termine si rimanda a Lissi E.,voce *Bothros*, in «Enciclopedia dell' Arte Antica», 1959, Treccani in *http://www.treccani.it/enciclopedia/bothros_(Enciclopedia-dell'-Arte-Antica)/.*



Fig.4 Fotografia del tratto nord-occidentale del muro di cinta. Dettaglio della torre adiacente l'acquedotto romano e adibita a serbatoio



Di fronte all'altare si trova il tratto di muro di cinta facente parte del più ampio sistema fortificato, eretto all'inizio del IV secolo d.C. per difendere la città dagli attacchi di Costantino che era sceso in Italia per combattere Massenzio²⁸. Tuttora in gran parte conservato, esso rappresenta il risultato delle più avanzate tecniche costruttive dei romani e della loro spiccata abilità in ambito militare.

A proposito della datazione Ermanno Ferrero ribadisce come nel 312, quando Costantino scese in Italia per combattere Massenzio, la città di Susa fosse già circondata da mura²⁹. «È permesso di credere che la cinta muraria di Susa sia stata costruita (così come quella di altre città dell'Impero Romano, compresa la Capitale), nella seconda metà del III secolo, all'epoca in cui le incursioni dei Barbari cominciarono a devastare l'Italia del nord e i Galli. Siamo portati ad ammettere che questa cinta fortificata della città sia quella di cui ci sono ancora i resti, e nella quale, a duecento metri dall'Arco, si trova ancora la porta che chiamiamo Savoia [...]»³⁰.

Il perimetro della cortina muraria, di forma pressoché triangolare e allungato verso est, era originariamente segnato dalla presenza di porte di accesso e di torri circolari, aventi interturrio irregolare e in numero maggiore sul lato sud³¹.

²⁸ Nel 312 d.C. Costantino il Grande assediò e mise a fuoco la città di Susa, con l'intento di sconfiggere Massenzio, suo rivale al potere, e di divenire unico sovrano della pars Orientis dell'impero romano. per un maggior approfondimento sul tema si rimanda a: CIMAROSTI E., Aggiornamenti epigrafici alla "Carta Archeologica della Valle di Susa", in «Rivista di Studi Liguri», LXXIII - LXXIII, 2009, p. 92; MARCONI G., La figura di Costantino nell'ordo Panegyricorum e la nascita del potere costantiniano, Enciclopedia costantiniana sulla figura e immagine dell'imperatore del cosiddetto "Editto di Milano" 313, 2013, p. 38; CORTINOVIS F., Costantino. Da tetrarca e pontefice massimo a cosmocrate e vescovo universale, Tesi di laurea, Università Ca' Foscari di Venezia, rel. Cresci Marrone G., a.a. 2012-2013, pp. 60 - 67.

²⁹ Ferrero E., L'Arco di Augusto a Susa, Bocca Frères Editori, Torino, 1901, pp. 15-21.

³⁰ Ibidem.

³¹ MERCANDO L., 1993, Op cit.

Esso fiancheggiava a nord il corso della Dora Riparia, a sud un antico fossato successivamente ricoperto e corrispondente all'attuale Corso Unione Sovietica (anticamente denominata via dei Fossati), nell'angolo sud-ovest invece era caratterizzato da un'appendice muraria preposta ad azione difensiva dell'antica area del *castrum*.

Il sistema difensivo, conservatosi pressoché intatto a differenza di quanto accaduto in altri contesti piemontesi, nacque in sovrapposizione al centro abitato originario modificandone la conformazione, la rete stradale e la partizione delle funzioni, come già anticipato nel capitolo precedente. Esso rappresenta un tipico caso del fenomeno delle cosiddette "cinte ridotte" le quali comportano, nel caso di *Segusio*, la riduzione dell'estensione urbana e l'esclusione di alcuni settori dalla nuova cinta difensiva: si tratta, pertanto, dell'odierna Piazza Savoia (sede del foro romano) e della probabile via delle Gallie.

In merito all'aspetto e alle caratteristiche dimensionali Giuseppe Ponsero riporta quanto segue: «Queste mura di cinta, che per vetustà cadevano in rovina, furono abbassate nell'anno 1789 circa alla metà della loro elevazione, che era di 12 metri, 346 millimetri, ed il rimanente fu ristorato per ogni dove. Larghe esse da sei a nove metri alla base, erano munite di alte e rotonde torri, screpolate da cima a fondo, ed annerite dal tempo, come quelle che tuttora sussistono ai lati della porta di Savoia, le quali anche esse abbassate alquanto, furono coperte di lastre di scisto»³².

Dell'intero circuito murario possiamo oggi apprezzare numerosi tratti: quelli situati a mezzogiorno, dove la linea delle mura, un tempo in affaccio sui fossati è stata oggetto di numerosi rimaneggiamenti nel corso dei secoli, e per questo motivo di difficile lettura³³; Il tratto a nord-ovest, in prossimità dell'angolo, dove le mura costeggiavano l'inclinazione del fiume e vicino a cui sono stati rinvenuti dei resti di fondazioni di una precedente torre; alcune porzioni in affaccio diretto su



Fig. 5 Rilievo della città romana di Susa (Giovanni Abrardi, Torino, Soprintendenza Archeologica, 54), si riporta l'area oggetto di studio

27

Piazza Italia; infine, nel tratto occidentale, si conservano ancora le mura che, a partire dall'Arco di Augusto, giungono fino all'acquedotto romano, in prossimità dei due archi erroneamente denominati "Terme Graziane"³⁴.

³² Ponsero G., Sunto sovra la mura di cinta della città di Susa in cui si trovavano nel settembre 1846 due marmi fregiati d'iscrizione, Tipografia Spitiro Cravotto, Susa, 1847, p. 16.

³³ Oggi, nell'angolo sud-ovest della cinta muraria relativa al castrum, possiamo individuare un baluardo di base rettangolare, riconoscibile grazie alla presenza di una marcata risega.

³⁴ La denominazione è imputabile ad un'epigrafe rinvenuta nei pressi dell' acquedotto nella quale viene riportato un intervento di restauro delle terme da parte dell'imperatore Valente Graziano Valentiniano. *Ibidem.*

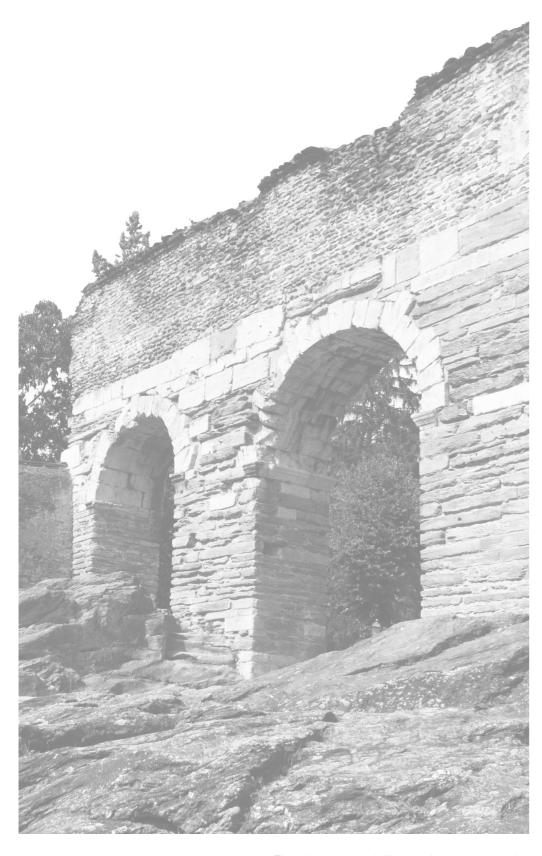
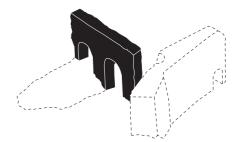


Fig.6 Le arcate dell'acquedotto romano che sormontano l'altare sacrificale



Le arcate dell'acquedotto, testimonianza della grande capacità costruttiva dei Romani, si trovano a sud dell'arco di Augusto, inserite tra due torrioni circolari e addossate quasi perpendicolarmente alla cinta muraria. Ad oggi si riconosce una parte inferiore realizzata con muratura a grandi blocchi di roccia calcarea locale, nella quale si leggono chiare tracce di reimpiego, costituita da due spezzoni di muratura che si addossano alle torri circolari e da un grande pilone centrale. Da quest'ultimo si dipartono due archi realizzati in conci di marmo grezzo, uno più piccolo verso occidente e l'altro visibilmente più ampio verso l'antico *castrum*. Il fascione superiore, predisposto ad ospitare lo *specus*, il canale coperto per lo scorrimento delle acque, è evidentemente in contrasto con la parte inferiore; infatti esso presenta un paramento realizzato con la combinazione di pietre di piccola pezzatura, quali pietre fluviali e pietre a spacco legate con malta signina³⁵. A coronare la monumentale struttura si individuano delle tavole litiche che fungono da cornice marcapiano³⁶.

«L'esistenza di queste due arcate è stata per lungo tempo ignorata dagli studiosi: mascherate da costruzioni posteriori e nascoste sotto la boscaglia, in un angolo remoto dei giardini del castello, esse furono appena menzionate da Napoleone»³⁷.

^{35 «}Nella tecnica costruttiva dei Romani, miscela di frammenti fittili (di tegole e anfore), impastati con calce e battuti, quale rivestimento di cisterne, terrazze, zoccoli di pareti, ambienti termali, e come pavimentazione. Aveva scopo di protezione contro l'umidità. I Romani lo chiamavano opus signinum, dal nome della città di Signia, l'odierna Segni.», voce *Coccipesto*, in http://www.treccani.it/enciclopedia/cocciopesto/, consultato il 20/05/2020

³⁶ Scalva G., *Gli archi dell'acquedotto e le mura: la sistemazione della passeggiata archeologica,* in Mercando L. (a cura di), *La Porta del Paradiso. Un restauro a Susa*, Stamperia Artistica Nazionale, Trofarello, 1993, p. 215.

³⁷ FERRERO E, 1901, Op cit., p. 17.

Riportati alla luce nel 1834 da Attilio Zuccagni Orlandini, i due fornici, come vedremo, sono stati oggetto di differenti interpretazioni. Con ogni probabilità essi costituiscono i resti conservati di un più ampio sistema idrico cittadino, il cui punto di presa è ancora da individuare. Secondo Giovanni Battista Tarichi, assieme ad un pilone individuato nei pressi del comune di Gravere, le «[...] arcate [erano]destinate a portar l'acqua proveniente dalle così dette grosse pietre di Gravere»³⁸. Per mezzo di questa interpretazione e della lettura dei dislivelli dell'orografia locale si è supposto che il condotto idrico, partendo da Gravere, indicato come luogo di raccolta, passasse in corrispondenza del canale dell'attuale regione Croaglie, costeggiando per un tratto la corrente statale per Oulx, per poi giungere nella piazza del Castello, attraverso la proprietà Gravier, nella quale è stato ritrovato il citato pilone (vedi fig. 20).

Il condotto valicava le mura e giungeva all'interno della città, riversando acqua potabile nel castellum aquae che, da una posizione sopraelevata, riforniva tutte le utenze attraverso una fitta rete di distribuzione. Per evitare fenomeni di ristagno o di rapida erosione del condotto, dovuti rispettivamente a tratti piani o a pendenze troppo forti, l'acquedotto doveva percorrere una distanza considerevole senza compromettere la pendenza media, rispettando i canoni costruttivi e la regola dell'arte propri di questa tipologia costruttiva. Secondo quanto riportato da Vitruvio nel De Architectura, «[...] la costruzione deve essere eseguita in solida muratura, con una pendenza compresa tra un quarto e un mezzo piede ogni cento, dotata di una copertura a volta per proteggere l'acqua dal sole. In prossimità delle mura si costruisca un serbatoio comunicante con tre bacini di immissione per raccogliere l'acqua [...]»39. Per questa ragione è possibile immaginare, in prossimità dell'acquedotto, l'esistenza di un bacino verticale che avrebbe avuto la funzione di raccogliere l'acqua prima che essa confluisse nella cisterna, evitando così un salto di quota di 10 metri che avrebbe provocato un aumento della pressione del fluido.



³⁸ Archivio di Stato di Torino, *Relazione dell'architetto Giovanni Battista Tarichi in data 18 giugno 1834,* sezione Corte, *Paesi per A e B, Susa,* mazzo 47.

³⁹ GROS P. (a cura di), Vitruvio, De Architectura, VIII, VI, 1., trad. it Corso A., Romano E., Torino, Einaudi, 1997.

1.3

Gli studi condotti nel tempo e le trasformazioni del sito

E' opportuno, dopo aver descritto le caratteristiche generali degli elementi oggetto d'analisi, condurre una più ampia riflessione circa l'interesse che questi manufatti hanno suscitato e continuano a suscitare nel panorama degli studi archeologici e architettonici. L'attenzione rivolta all'area archeologica di Susa si può far risalire alla seconda metà del XIX secolo, quando comincia a farsi strada una maggiore sensibilità nei confronti dei monumenti antichi e delle testimonianze archeologiche, insieme alla volontà di una pianificazione paesaggistica volta alla fruizione pubblica⁴⁰. Si manifesta in questo periodo un'attenzione rinnovata alla memoria storico-architettonica dei luoghi da parte di intellettuali, storici e amministrazioni pubbliche. Da questo scaturisce la programmazione di ricerche archeologiche e un impegno alla tutela dei manufatti storici, spesso seguiti da campagne di restauri e, nel caso di Susa, da una particolare attenzione verso i monumenti cittadini: l'Arco di Augusto, le porte urbiche e la cinta muraria⁴¹.

Le mura di fortificazione rappresentano da sempre la peculiarità della città e, per questo motivo, un elemento iconografico di grande rilievo: le ritroviamo raffigurate in molti disegni, mappe, stampe, incisioni e, più raramente, in qualche dipinto a partire dal XV secolo.

Tra questi documenti si ricorda un'incisione datata 1634 del geografo francese Nicolas Tassin, che rappresenta l'immagine di una città fortificata, dotata di numerose torri circolari (fig. 8). L'opera, intitolata "Les plans et profils de toutes les principales villes et lieux considérables de la France", rappresenta

40 Risale al 1874 l'istituzione delle Commissioni Conservatrici dei Monumenti e delle Opere d'Arte a giurisdizione provinciale, aventi il compito di censire i monumenti presenti sul territorio.

la cerchia muraria delimitata a nord dalla Dora, a sud dal torrente Gelassa e a ovest dal Monte Morone.

Una rappresentazione più accurata è offerta dalla tavola n. 49 del *Theatrum Sabaudiae*, disegnata nel 1666 da Giovanni Tommaso Borgonio per volere del duca Carlo Emanuele II, in cui si mostra la struttura dell'abitato urbano di "Segusium prima ab Alpibus Cotiis Civitas" e i suoi principali elementi costitutivi, quali la Porta Savoia, la Porta *Taurinensis*, la Porta Gallica e l'arco onorario di Augusto (fig. 10). La cinta fortificata è rappresentata con numerose porte di accesso alla città e con alcune torri di avvistamento; nell'angolo sud-ovest emerge un elemento di forma triangolare annesso alle mura, riconducibile a un dongione⁴², avamposto difensivo costituito dalla giustapposizione di due cortine murarie, comprese entro torri circolari dotate di finestrature romane. Tale "triangolo fortificato", rimosso in occasione delle demolizioni napoleoniche della fine del XVIII secolo, «per secoli, ha costituito il baluardo della Città contro invasioni provenienti dalla direttrice del Monginevro».⁴³ Esso risulterebbe l'esito dell'accorpamento dei fornici dell'acquedotto al sistema fortificato delle mura⁴⁴.

Questa particolare struttura difensiva viene rappresentata anche da Clemente Rovere nel corso dell'Ottocento, attraverso uno scorcio prospettico che riprende esplicitamente un disegno del XVI secolo. E' evidente il rimando al *Theatrum Sabaudiae*, in quanto il disegnatore propone la medesima successione delle cortine murarie, localizzate in corrispondenza delle attuali "Terme Graziane". Tuttavia è attualmente appurato che si sia trattato di un errore, in quanto nella fascia inferiore della cortina muraria vengono rappresentati tre fornici anziché due (quelli tuttora visibili e praticabili, collocati in prossimità dell'acquedotto).

Presso l'archivio della Deputazione Subalpina Storia Patria di Torino sono

⁴¹ E' comunque noto che, alla fine del XVIII secolo, venuta meno la funzione difensiva, l'altezza della cinta fortificata venne ridotta di circa 6 metri. in Mercando L.,1993, *Op. cit*.

⁴² Il termine, adattamento del francese donjon, indicava la struttura meglio fortificata di un castello, una sorta di "castello nel castello", torrione di castello o di rocca, in http://www.treccani.it/vocabolario/dongione/.

⁴³ DEZZANI L., MAGGI E. (in press), Porta Piemonte a Susa: le vicende urbane dal XVII al XIX secolo, in «Segusium», 2020, Vol. 58.

⁴⁴ Per una maggiore comprensione della morfologia di questa struttura, oggi scomparsa, si rimanda a: Patrucco G., Spanò A. (in press), *Un progetto di ricostruzione virtuale del "triangolo fortificato" di Susa*, in «Segusium», 2020, Vol. 58.

inoltre conservati numerosi altri disegni del Rovere, il quale non si limita a fornire una visualizzazione di come doveva presentarsi la città nel XIX secolo, ma offre allo stesso tempo dei modelli interpretativi sulle fasi precedenti di Segusio, con particolare riferimento alla cerchia muraria. In particolare si ricordano la "Pianta di Susa nel secolo XVIII" e "Le antiche mura di Susa secondo un disegno del XVII secolo".

Interpretazioni della città e della sua cinta muraria sono elaborate anche da altre personalità: si ricordano le litografie di Auguste Deroy, i disegni di Enrico Gonin e il dipinto di Bartolomeo Giuliano, denominato "Federico Barbarossa a Susa". 45

In merito alle trasformazioni e agli interventi che hanno avuto luogo nella seconda metà del XIX e nel XX secolo, possediamo una cospicua documentazione iconografica e fotografica che ci consente di comprendere meglio gli assetti e le dinamiche che hanno interessato e qualificato il sito oggetto di studio. Di seguito vengono enumerati alcuni tra i più interessanti interventi che hanno riguardato il sito archeologico oggetto di studio (le mura e l'acquedotto), proposti in successione cronologica.

La prima data significativa è rappresentata dall'estate del 1834, quando le due arcate dell'acquedotto vengono portate all'attenzione dell'opinione pubblica da Attilio Zuccagni Orlandini, il quale non solo realizza un disegno dettagliato dei due fornici (fig. 11), ma li descrive anche dettagliatamente nella relazione intitolata "Notizia sopra un monumento di romana costruzione esistente in Susa, non descritto finora né rammentato dagli storici, i quali illustrarono gli antichi avanzi di quella Città¹⁴⁶.

Il dibattito sull'antica funzione dei due archi ha impegnato studiosi, storici e archeologi per circa un secolo e mezzo: lo stesso Zuccagni li identifica inizialmente come un arco trionfale e, successivamente, come i resti di un

sistema continuo di difesa, dove si aprono due arcate, una ad uso viario e una pedonale. Una diversa interpretazione è fornita dall'architetto Giovanni Battista Tarichi, il quale riconosce il monumento come una struttura ad archi finalizzata al trasporto dell'acqua all'interno della città. E' comunque assodato che non si tratti di porte urbiche, come ribadiscono l'avvocato Federico Genin e lo storico Ariodante Fabretti.

Quest'ultimo, con la collaborazione dell'ingegnere Felice Chiapusso, Presidente della Commissione di Archeologia e Belle Arti di Susa del 1879, interessato a promuovere una serie di scavi sistematici atti a studiare e valorizzare le antichità locali, a cavallo tra il 1879 e il 1880 demolisce il sistema difensivo che inglobava i resti dell'acquedotto romano. Nel 1884 vengono parimenti rimosse le cortine murarie a spina di pesce che occludevano i due fornici (figg. 12, 13), ripristinando così l'antica via delle Gallie⁴⁷.

Tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, sulla spinta del rinnovato impegno verso i monumenti storici, Alfredo D'Andrade inizia una campagna di restauri dei monumenti cittadini corredando i propri interventi e le proprie ricerche di disegni e schizzi⁴⁸ e restituendo, in questo modo, lo *status quo* di fine Ottocento.

Nel settembre 1896 D'Andrade, in qualità di Direttore dell'Ufficio Regionale dei Monumenti del Piemonte e della Liguria, in una relazione indirizzata al sindaco di Susa autorizza la demolizione del moderno ponte di accesso al castello (realizzato nel 1750 per permettere l'ingresso di carri e carrozze all'interno del castello) e il tamponamento della relativa apertura nella cortina muraria. Una fotografia di Ottavio Germano datata 1889 restituisce la situazione iniziale prima dei lavori (fig. 14). A testimonianza dell'antico ingresso sono ancora oggi visibili una epigrafe che ne riporta la data di realizzazione e una nicchia sul fronte interno del muro.

Tra gli schizzi che D'Andrade realizza per testimoniare lo stato di fatto del sito

35

⁴⁵ Mercando L., *Il ricordo di una città murata*, in Mercando L. (a cura di), *La Porta del Paradiso. Un restauro a Susa*. Stamperia Artistica Nazionale. Trofarello. 1993. pp. 25 - 26.

⁴⁶ Archivio di Stato di Torino, *Monumento antico, osservato in susa nel 28 del cadente Mag. da Attilio Zuccagni Orlandini*, sezione Corte, *Paesi per A e B, Susa*, mazzo 47

⁴⁷ MERCANDO L., 1993, *Op cit.*, p. 26.

⁴⁸ La documentazione è oggi consultabile presso la fondazione Torino Musei alla Galleria Civica di Arte Moderna e Contemporanea di Torino (GAM).

archeologico e parallelamente lo stato di avanzamento dei lavori di restauro, ricordiamo quello del 16 ottobre 1882 che rappresenta un tratto di muro compreso tra due torri, con l'accesso tamponato (fig 18); un disegno schematico del 23 marzo dello stesso anno che rappresenta lo schema di una torre circolare compresa tra due tratti di cinta muraria (fig 16); una reinterpretazione dell'acquedotto romano completato ai lati da due torri circolari e superiormente da una merlatura, datata 20 aprile 1889. Alla stessa data risale uno schizzo della traccia della torre medievale costruita a ridosso dei resti dell'acquedotto romano.

Nel 1938 Carlo Carducci inizia una serie di scavi nell'area del *castrum*, con l'intento di riaprire la porta di accesso al castello asportando la muratura di riempimento (fig. 19). Gli scavi, interrotti durante gli scontri bellici e ripresi negli anni 1946-1947, proseguono successivamente oltre la porta, portando alla luce una serie di gradini con andamento verso est, alcuni ambienti irregolari e spazi lastricati che costituiscono parte dell'attuale sito archeologico.



Fig. 8 Tassin C., Les Plans et profils de toutes les principales villes et lieux considérables de France, 1638, p. 272



Fig. 9 DE Beins J., Carte particuliere des Baricades | de SUZE Jaillon le Gouret et par | sages des enuirons dicelles ou se voit | clairement lasiette du pais lordre et ataque | desditte Baricades fait par sa Majesté tres | Crestienne Louys 13c,1629



Fig. 10 Borgonio G. T., Segusium prima ab Alpibus Cotiis civitas, in Theatrum Statuum Regiæ Celsitudinis Sabaudiæ Ducis, 1666

Si noti la successione delle cortine murarie in corrispondenza dell'antico acquedotto romano: questa rappresentazione riporta degli errori poiché nella fascia inferiore della cortina riporta tre archi anziché i due fornici che siamo abituati a vedere.

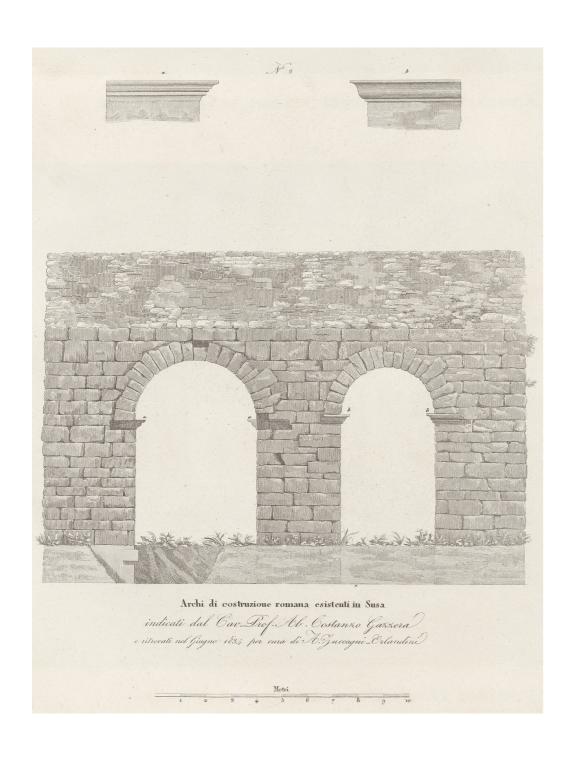


Fig. 11 Zuccagni Orlandini A., *Atlante. Gli archi delle cosiddette Terme Graziane*, Torino, Biblioteca Reale, 5



Fig. 12 Fotografia che ritrae il tratto di acquedotto romano prima della demolizione dei tamponamenti dei fornici (avvenuti noon prima del 1884).

Berra G. B., TO - Susa - "Terme Graziane" o "Due Porte": vista frontale prima dell'apertura dei fornici, Soprintendenza per i Beni Architettonici e del Paesaggio del Piemonte, Archivio fotografico e disegni, 1882

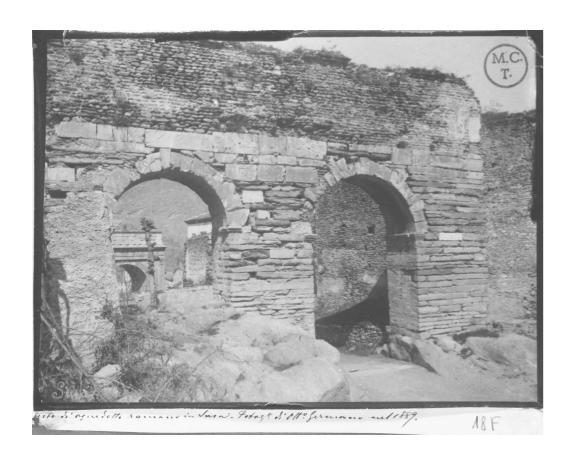


Fig. 13 I due fornici dell'antico acquedotto romano nella fotografia di Ottavio Germano, Torino, Musei Civici, 1889.



Fig. 14 Fotografia che ritrae la "via delle Gallie" prima della demolizione del ponte di accesso al Castello di Adelaide.

Germano O, TO - Susa: Arco di Augusto, vista da sud, durante gli scavi prima della demolizione del ponte stradale, Soprintendenza per i Beni Architettonici e del Paesaggio del Piemonte, Antichi fototipi, 1897

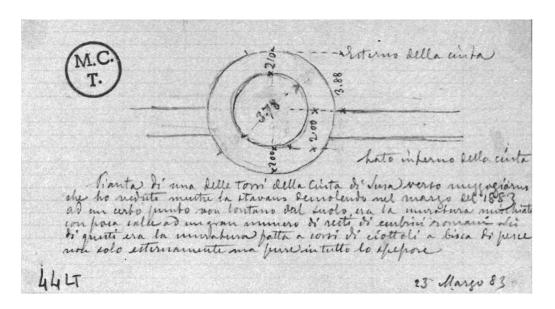


Fig. 15 Alfredo d'Andrade, *Pianta di una delle torri della cinta di Susa, resti di torre medioevale*, 1883, GAM - Galleria d'Arte Moderna e Contemporanea, Gabinetto Disegni e Stampe, fondo d'Andrade

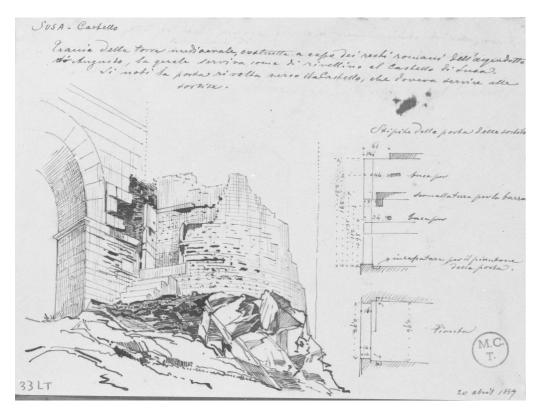


Fig. 16 Alfredo d'Andrade, Susa - Castello, resti di torre medioevale, 1889, GAM - Galleria d'Arte Moderna e Contemporanea, Gabinetto Disegni e Stampe, fondo d'Andrade

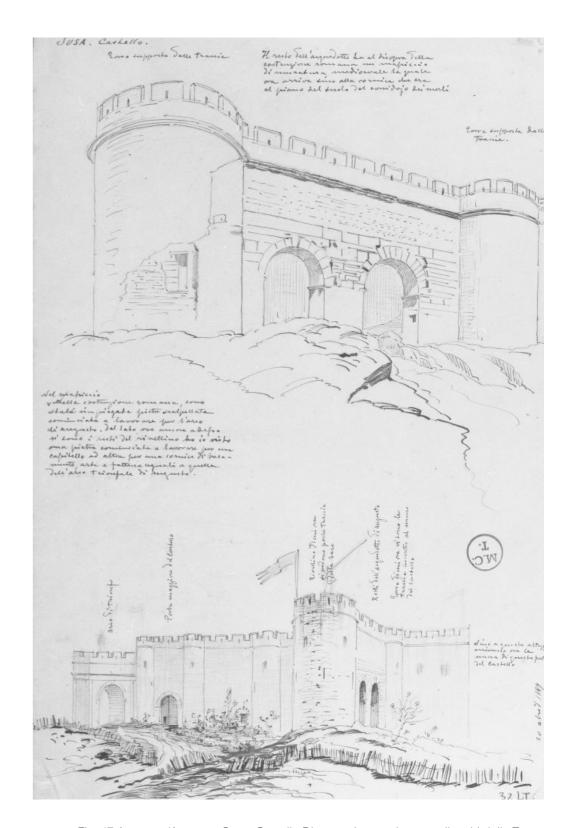


Fig. 17 Alfredo d'Andrade, *Susa, Castello, Disegno ricostruttivo con gli archi delle Terme Graziane tra due torri,* 1889, GAM - Galleria d'Arte Moderna e Contemporanea, Gabinetto Disegni e Stampe, fondo d'Andrade

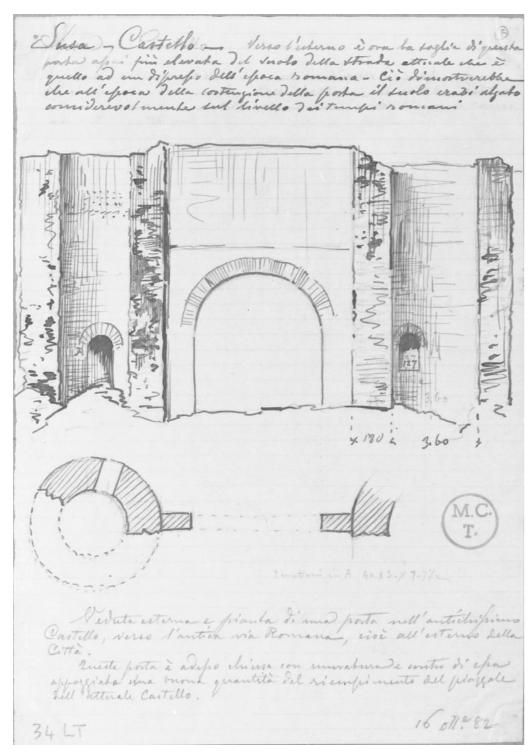


Fig. 18 Alfredo d'Andrade, Susa - Tratto delle mura nell'area del portale di accesso al castrum, tra due torri, 1889, GAM - Galleria d'Arte Moderna e Contemporanea, Gabinetto Disegni e Stampe, fondo d'Andrade



Fig. 19 Fotografia che ritrae il tratto di mura nord-occidentale con la porta di accesso al castrum ancora chiusa.

Germano O, TO - Susa - resti delle mura presso l'Arco di Augusto: vista da sud, durante gli scavi prima della riapertura del vano della porta, Soprintendenza per i Beni Architettonici e del Paesaggio del Piemonte, Antichi fototipi, 1889

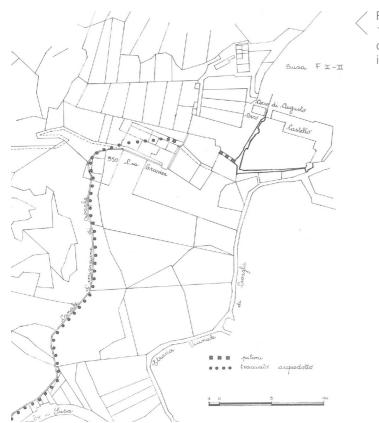


Fig. 20 Susa, (MERCANDO, 1993) Planimetria catastale con indicazione di una ipotesi di ricostruzione del percorso dell'acquedotto

Fig. 21 Progetto di Simeone Chiapusso del 1898 (da Mercando, 1993) cper la demolizione del ponte di accesso al Castello e sistemazione dello spazio pubblico, Susa, Archivio comunale. Si attesta la presenza del muro perpendicolare alla cinta muraria che chiude il locale denominato "Palestra del Collegio".

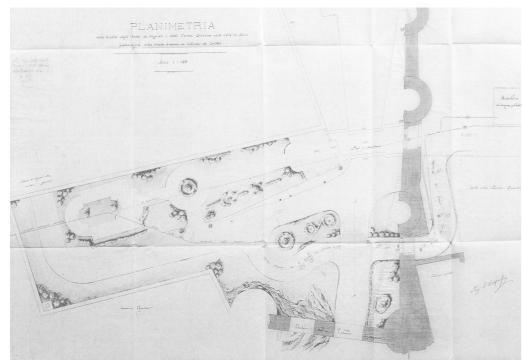




Fig. 22 Fotografia di fine '800 (da Mercando, 1993) che ritrae la piazza delle "Terme Graziane". Vista del fronte sud dell'acquedotto e dello sperone meridionale delle mura del Castello, all'estrema destra la porta medievale conservata per intervento di Alfredo d'Andrade.

Torino, Soprintendenza Archeologica

Le applicazioni della Geomatica e la campagna di rilievo

2.1

Le problematiche del sito e le strategie adottate

La tutela e la conservazione di un manufatto, nel contesto del patrimonio storico e paesaggistico, può essere attuata solo attraverso una conoscenza approfondita dello stesso. Questo è possibile portando avanti, da un lato, un'approfondita ricerca documentaria ed archivistica, dall'altro restituendone graficamente i caratteri formali, attraverso l'analisi delle sue tecniche costruttive, dei materiali e dello stato di conservazione. «La documentazione è, prima di tutto, un processo intellettuale ad alto contenuto culturale che senza un forte supporto tecnologico non può essere tradotto in uno strumento efficiente» 49

Il rilievo in senso lato è generalmente un'operazione complessa che presuppone una rigida organizzazione iniziale, una serie di accordi amministrativi, un'adeguata ricerca documentaria (bibliografica e archivistica), parallelamente alla disponibilità dei più aggiornati strumenti e dispositivi che devono essere utilizzati da personale qualificato.

Attualmente il rilievo metrico, uno dei mezzi fondamentali per la documentazione, si avvale di strumentazioni sempre più innovative ed aggiornate, che consentono di ridurre le tempistiche ed aumentare la quantità di informazioni estrapolabili dai modelli dei manufatti oggetto di interesse. Fermo restando che oggi, durante le operazioni di rilievo, le diverse conoscenze ed esperienze di ciascun professionista tendono a convergere all'interno di equipes e team di lavoro nelle quali ciascuno esercita la propria competenza in vista del medesimo obiettivo, il primo step per effettuare un buon rilievo è

49 SPANÒ A., Fotogrammetria digitale e scansione 3D. Documentazione del Patrimonio, Politecnico di Torino, a.a. 2019/2020.

rappresentato dalla sua pianificazione, che varia a seconda delle finalità (la tipologia di manufatto, il livello di dettaglio che si vuole ottenere e, quindi, la scala di rappresentazione scelta).

Indipendentemente dal livello di dettaglio, non esiste una tecnologia autonoma quando si eseguono operazioni di misurazione geometrica e, spesso, la migliore soluzione si trova nell'integrazione delle stesse (ad esempio le tecniche di *laser-scanning* necessitano di una base topografica di riferimento per essere georiferite, così come è indispensabile un approccio che predefinisca le tolleranze previste e faccia in modo che le accuratezze ottenute rispondano ai vincoli predefiniti)⁵⁰.

Questo significa che, a priori, non si può escludere alcuna tecnologia e un rilevo efficace presuppone una buona conoscenza di tutte le tecniche al fine di determinare il metodo più adatto dal punto di vista economico, tecnico e gestionale.

La progettazione di un rilievo comincia innanzitutto con lo studio delle caratteristiche geomorfologiche del sito, per il quale deve essere fatto un inquadramento topografico, insieme alla programmazione delle fasi di acquisizione nell'arco della giornata⁵¹. «I criteri di progettazione di un'operazione di rilievo metrico individuano ormai di consueto un'integrazione programmata delle varie tecniche a disposizione consentendo per ogni caso studio la soluzione ottimale, che spesso prevede l'adozione di un approccio multi sensore o di strategie applicative che consentano la descrizione a scale di approfondimento diversificate»⁵².

Le attuali tecnologie consentono all'operatore di servirsi di differenti modalità di acquisizione dei dati: la Fotogrammetria e la tecnologia LiDAR possono essere

55

⁵⁰ Spano N., Versatilità di metodi e tecniche della Geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica, in Ientile R., Naretto M., «Patrimonio architettonico e rischio sismico. Un percorso di conoscenza e obiettivi di conservazione», Celid, Torino, 2013, pp. 81 - 110. Spano N., Rapid Mapping metods for archaeological sites, IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Eritage, MetroArcaeo, 2019, pp. 25 - 30.

⁵¹ Solitamente i rilievi complessi prevedono tempi più allungati; grazie alle tecniche utilizzate e all'appoggio ad una rete già impostata le tempistiche si sono ridotte drasticamente.

⁵² AICARDI I., BOCCARDO P., CHIABRANDO F., DONADIO E., LINGUA A., MASCHIO P., NOARDO F., SPANÒ A., *Modelli 3d multi sensore per l'acropoli segusina*, in «Segusium», 2009, Anno LII, pp. 195 - 216.

utilizzate per acquisizioni su postazioni fisse o postazioni mobili. Queste ultime si distinguono a loro volta in terrestri e aeree, a seconda del tipo di supporto (mobile-mapping o droni).

Il primo step, pertanto, consiste nella programmazione delle fasi di acquisizione, scegliendo le tecniche più adatte al caso oggetto di studio. La possibilità di unire ed integrare le tecniche e i dati acquisiti (terrestri e aerei) permette di elaborare modelli 3D multi-scala, che possono essere utilizzati alle diverse scale di rappresentazione.

In seguito a questa prima fase di organizzazione delle operazioni da eseguire, si procede con l'acquisizione diretta dei dati sul campo, durante la quale è bene redigere anche gli eidotipi, supporto grafico molto importante quando ci si accinge ad elaborare i dati. Il terzo momento del rilievo ha luogo in laboratorio ed è caratterizzato dall'elaborazione dei dati che, da grezzi, vengono rielaborati in modo semi-automatico o totalmente automatico. Queste operazioni prevedono l'orientamento dei fotogrammi, allineamento delle scansioni laser e i processi di ottimizzazione che mirano a ridurre l'influenza degli errori di misura, sistematici e accidentali. L'ultima fase è quella della restituzione grafica, per rendere le informazioni raccolte "comprensibili" e in grado di comunicare i dati acquisiti.

Il rilievo effettuato per questo lavoro di tesi si è svolto in data 6 febbraio 2020 ad opera del "Team Direct" (DIsaster RECovery Team), sotto il coordinamento dalla Professoressa Nannina Spanò, e ha interessato l'area del centro storico dell'antica città romana di Susa, in corrispondenza dell'acquedotto, dell'adiacente altare celtico e dell'attuale sito archeologico. Tale iniziativa ha coinvolto il Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali del DAD (Dipartimento di Architettura e Design) del Politecnico di Torino ed è stata svolta in linea con il progetto del workshop "Fotogrammetria digitale e scansioni 3D" già avanzato in precedenza dalla Professoressa Spanò, in previsione di studiare le principali evidenze archeologiche e architettoniche di epoca romana.

La scelta di utilizzare metodi di rilievo differenti e la loro integrazione reciproca è scaturita dalla volontà di lavorare a scale diverse e di rispondere

ad altrettante esigenze, cercando di avere una visione il più completa possibile. In particolare, per la generazione di modelli 3D multiscala e multisensore, si è scelto di utilizzare la tecnologia LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e le tecniche della fotogrammetria. Quest'ultima è stata impiegata nelle due modalità: quella terrestre per il rilievo di dettaglio dell'altare celtico, mentre quella aerea UAV (*Unmanned aerial vehicle*) è stata utilizzata in due differenti modalità. La prima, con voli aventi asse ottico della camera in posizione nadirale e a 45°, la seconda, di maggior dettaglio, con asse orizzontale e perpendicolare alla superficie della muratura.

Nei seguenti paragrafi verrà fornita una descrizione più precisa di tale rilievo, partendo proprio dall'inquadramento della rete topografica, che nel caso di Susa era già stato effettuato in precedenza. A tal proposito è bene sottolineare come, in un ambiente georiferito, sia sempre possibile aggiornare e integrare i dati nel corso del tempo: in questo modo si giunge ad una documentazione sempre più completa ed accurata, obiettivo che questo lavoro di tesi intende raggiungere.

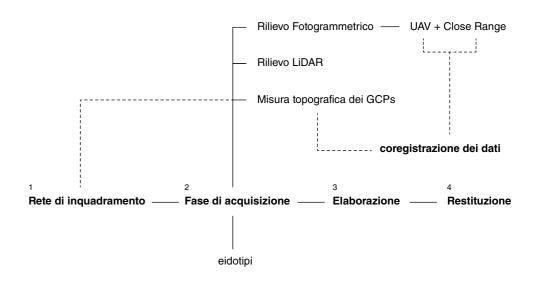


Fig. 23 Rappresentazione schematica delle principali fasi del rilievo integrato multi-sensore

2.2

L'inquadramento topografico

La campagna di acquisizione del 6 febbraio 2020 sull'area archeologica di Susa è stata condotta, come consuetudine, a partire da una rete di inquadramento topografico, necessaria sia per l'appoggio del rilievo LIDAR, sia per quello fotogrammetrico dei voli più ampi e di quelli di maggior dettaglio. Il sistema di riferimento utilizzato a Susa è UTM-WGS84⁵³ e, per questo rilievo, è stato sfruttato un impianto di vertici topografici già esistenti. Questi ultimi, misurati dal "Team Direct" durante i rilievi del 2012 e 2013⁵⁴, si riferiscono alla stazione GNSS di Bussoleno, appartenente al sistema di stazioni permanenti della regione Piemonte.

Si tratta di vertici calcolati in modalità statica con il metodo GNSS (*Global Navigation Satellite System*), sistema che integra quello americano (GPS), quello russo (GLONASS), quello europeo(GALILEO) e infine quello cinese (BEIDOU). Su ciascun vertice topografico viene posizionato un ricevitore GNSS, installato per un lasso di tempo determinato (tra mezz'ora e un'ora) al fine di individuare le coordinate dei punti. Ogni ricevitore, dotato di un orologio sincronizzato a quello del satellite, riceve da quest'ultimo un segnale elettromagnetico, calcolando così la propria posizione attraverso procedimenti "di misura multipla di distanze". Esso misura l'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione di un segnale (di velocità nota) da parte del satellite e la ricezione sull'antenna dello strumento e,

Direzioni note

Vertici topografici

⁵³ World Geodetic System, sistema di coordinate geografiche geodetico risalente al 1984. Si tratta di un modello matematico riferito all'ellissoide della Terra da un punto di vista geometrico, geodetico e gravitazionale.

⁵⁴ AICARDI I., BOCCARDO P., CHIABRANDO F., DONADIO E., LINGUA A., MASCHIO P., NOARDO F., SPANÒ A., Rilievo metrico 3D multiscala per l'indagine e la rappresentazione architettonica e ambientale dell'area archeologica di Susa, atti 18ª Conferenza Nazionale ASITA, 14 - 16 ottobre 2014, Firenze.

di conseguenza, la distanza frapposta tra i due⁵⁵. Infine, per determinare l'esatta posizione del punto secondo le coordinate X, Y e Z è necessario determinare la distanza di almeno quattro satelliti visibili dal ricevitore (un numero inferiore non terrebbe conto dello sfasamento temporale, portando ad un risultato poco affidabile).

I vertici della rete, precedentemente materializzati attraverso segnali artificiali (chiodi tassellati), sono stati posizionati sull'intera area al fine di contenere la propagazione dell'errore⁵⁶. Quelli adoperati sono individuabili in quattro posizioni: il primo (1100) si trova in prossimità dell'arco di Augusto, di fronte all'ingresso del sito archeologico. Il secondo (500) è collocato poco al di sotto dell'acquedotto romano, in corrispondenza del secondo ingresso al sito. I vertici 200 e 300, invece, si trovano all'interno del sito archeologico e sono individuabili nell'immagine alla pagina seguente (vedi fig.x). Di seguito vengono riportate le coordinate dei quattro punti topografici con sistema di riferimento UTM-WGS84.

COORDINATE DEI PUNTI TOPOGRAFICI

vertice	x[m]	y[m]	z[m]
1100	346109.8733	4999912.2040	573.1331
200	346135.7051	4999879.7390	577.2385
300	346116.9451	4999888.4706	575.8152
500	346094.1138	4999884.8632	576.7660*

^{*} per la quota ortometrica di questo vertice, negli elaborati, si assumerà lo 0 come quota relativa

La misura topografica dei punti di controllo

La fase precedente ai voli e alle acquisizioni delle scansioni laser ha previsto il posizionamento omogeneo dei differenti *targets* sui manufatti oggetto di indagine e non solo (ad esempio anche sull'arco di Augusto), in modo che durante il rilievo LIDAR e fotogrammetrico fossero presenti uniformemente, nel maggior numero di scansioni. In particolar modo sono stati posizionati 47 piccoli targets a scacchiera⁵⁷ sulle murature e altri 8 di dimensione maggiore a terra per facilitare il rilievo aerofotogrammetrico, per un totale di 55 *targets*.

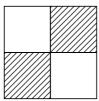


Fig. 25 Esempio schematico del target a scacchiera utilizzato durante la campagna di rilievo

L'utilizzo dei *targets* permette di individuare dei punti di controllo intervisibili tra loro, necessari per poter unire in un unico sistema di riferimento le scansioni realizzate (Lidar e fotogrammetriche) e contenere la propagazione degli errori.

Una volta applicati i *targets* in modo distribuito su tutte le superfici, è stato possibile misurare e calcolare i punti topografici attraverso il tradizionale metodo celerimetrico: sono state effettuate delle letture coniugate di verifica per i punti topografici di coordinate note e le contestuali misurazioni dei punti di controllo (GCPs), corrispondenti ai *targets* stessi. Qualora questi ultimi fossero poco visibili (ad esempio perché posizionati di scorcio), si è provveduto ad utilizzare un prisma per determinare la loro posizione.

⁵⁵ La distanza che intercorre tra ricevitore e satellite si calcola attraverso la seguente equazione: $S = c \cdot t$

S = distanza ricevitore - satellite

c = velocità della luce nel vuoto $(2,99 \cdot 1010 \text{ [cm} \cdot \text{s}^{-1}])$

t = tempo di propagazione (≈ 0.070 [s])

⁵⁶ Per una prima individuazione dei vertici è stato opportuno confrontarsi con le monografie precedentemente redatte. Queste ultime, attraverso un disegno in pianta, delle fotografie di dettaglio e le coordinate cartografiche chiariscono la posizione del vertice, usualmente identificato con un punto notevole, sottoposto ad improbabili modifiche e deterioramenti nel tempo.

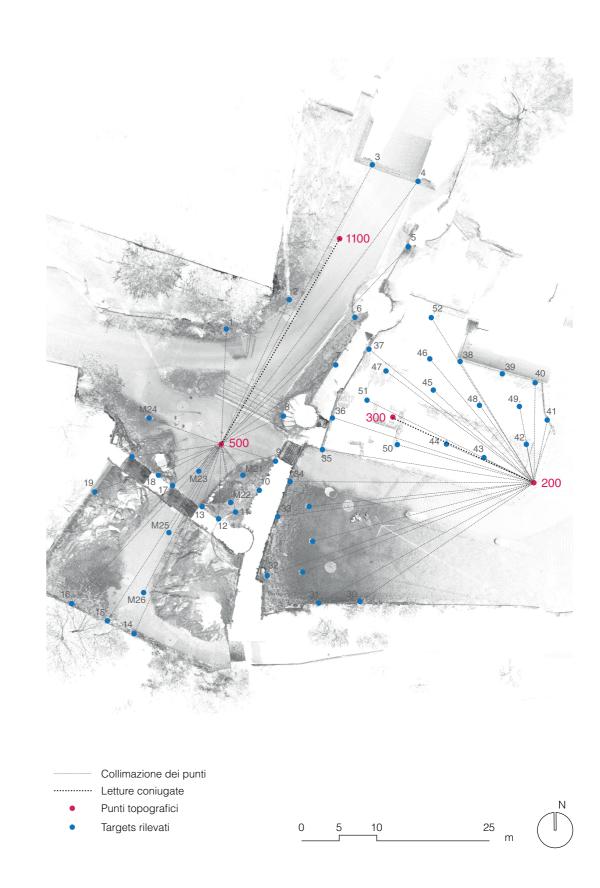
⁵⁷ Esisto, tuttavia, altre tipologie di targets: mirini catarifrangenti o sfere per laser scanner, queste ultime utili in caso di posizione scorciata rispetto al laser scanner.

Per effettuare queste misure è stata utilizzata una stazione totale⁵⁸, strumento che permette di effettuare misure topografiche per la determinazione dei vertici di una poligonale (di una rete di inquadramento) o punti specifici nel rilievo di dettaglio.

Un vantaggio della stazione totale è il suo elevato automatismo che permette la lettura delle grandezze angolari attraverso la definizione di tre assi: l'asse primario intorno al quale ruota l'alidada che definisce l'angolo azimutale, l'asse secondario intorno al quale ruota il cannocchiale definendo l'angolo zenitale e, infine, l'asse terziario (o asse di collimazione) solidale alle precedenti rotazioni, ma con rotazioni indipendenti nel piano verticale, che definisce la distanza inclinata⁵⁹. Dal momento che le misure ottenute con la stazione totale riportano coordinate sferiche con origine nel centro strumentale, si ritiene necessario, in una fase successiva, convertirle in coordinate cartesiane.

Parallelamente, al fine di verificare l'esatta posizione dei *targets*, sono stati realizzati gli eidotipi, schizzi di piante e prospetti che riportano i punti misurati in ordine progressivo (si rimanda alle tavv. x-x) e che costituiscono pertanto un supporto molto utile durante la fase di registrazione delle nuvole o di orientamento fotogrammetrico delle immagini.

Fig. 26 Targets rilevati dai vertici topografici 500 (per la scansione esterna), 200 (per la scansione all'interno del cortile del castello)



⁵⁸ Come risultato dell'evoluzione tecnica del teodolite, anche la stazione totale si configura come uno strumento composto da un sistema base-basetta fissato a un treppiede, un'alidada e un cannocchiale. In particolare la base è provvista di un perno che permette la rotazione dell'alidada, il vero e proprio strumento di misurazione che si compone di una maniglia, un cannocchiale, un vano batteria e un piccolo display per la lettura dei dati in tempo reale.

^{59 «}L'angolo azimutale è l'angolo solido formato da due piani verticali, aventi per costola la verticale passante per il punto di stazione e contenenti rispettivamente i punti tra i quali si vuole misurare l'angolo azimutale stesso».

[«]L'angolo zenitale é l'angolo appartenente ad un piano verticale, formato dall'asse di collimazione e dalla verticale passante per il punto di stazione».

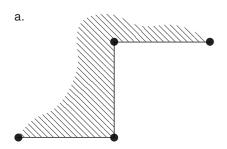
cfr. Spano A., Fotogrammetria digitale e scansione 3D per il rilievo dei Beni Culturali, Politecnico di Torino, a.a. 2016/2017.

2.3

La tecnologia LiDAR

La tecnica LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnica di rilievo geometrico consolidata che si avvale dei sistemi a scansione laser per acquisire in tempi celeri la posizione di un numero elevato di punti, in analogia ai distanziometri ad onde elettromagnetiche che determinano la distanza sulla base del tempo di volo.

Questa tecnologia, comparsa negli anni Sessanta-Ottanta e applicata al rilievo soltanto alla fine del secolo, rovescia la classica concezione logico-operativa del rilievo architettonico⁶⁰. Infatti la tradizionale prassi di interpretazione dell'oggetto e successiva misurazione, alla quale si era abituati, viene capovolta con l'avvento delle nuove tecnologie LiDAR: si opera dapprima l'acquisizione di grandi quantità di dati metrici in tempi rapidissimi grazie all'elevato grado di automatismo e, solo in un secondo tempo, si procede alla selezione del materiale significativo ai fini dell'indagine. Quindi, a differenza del rilievo tradizionale, nel quale l'operatore decide arbitrariamente la posizione dei punti da misurare, il laser scanner procede indistintamente rilevando una grande quantità di dati, rischiando talvolta di non acquisire quelli utili.



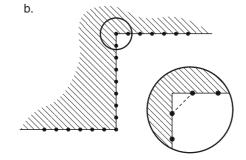


Fig. 27 a: esempio di rilievo eseguito secondo criteri logici; b: esempio di rilievo eseguito con laser-scanner che acquisisce indistintamente una grande quantità di punti

60 SPANÒ A., 2016, Op. cit.

Perciò è di fondamentale importanza pianificare il rilievo, progettando a priori la fase di acquisizione dei dati, prendendo in considerazione in particolar modo l'ambiente nel quale ci si trova, l'oggetto da rilevare e la tipologia di laser utilizzato.

Tra i vantaggi di questo metodo spiccano la velocità di acquisizione dei punti, l'elevata precisione e la qualità del rilievo (a seconda dello scarto quadratico medio che è indice dell'accuratezza delle misure); tuttavia, trattandosi di un procedimento inverso rispetto a quello usuale, fornisce una sovrabbondanza di informazioni che poi devono essere interpretate e codificate in modo critico dall'operatore⁶¹. La tecnologia LiDAR può essere inoltre applicata, oltre che al rilievo architettonico, anche alla scala territoriale e urbana, attraverso l'uso di sistemi a scansione propri del rilievo aerofotogrammetrico (aerei, elicotteri, droni).

Lo strumento utilizzato durante il rilievo, grazie alle sue dimensioni contenute risulta maneggevole ed è dotato di una fotocamera coassiale a colori che consente di ottenere delle scansioni quanto più realistiche assegnando alle nuvole di punti i valori RGB delle corrispondenti immagini.

Esistono, tuttavia, diversi sistemi che sfruttano questa tecnologia e tra questi ricordiamo: sistemi a scansione triangolatori, quelli distanziometrici (la tipologia utilizzata per il suddetto lavoro di tesi), quelli a scansione a luce strutturata e infine quelli a scansione *mobile*. I laser-scanner triangolatori, basati sul principio dell'intersezione in avanti⁶², permettono di ottenere un livello di precisione molto elevato e si suddividono in due categorie: quelli a camera singola e quelli a due camere. Uno dei limiti di questi strumenti, seppur dotati di precisione submillimetrica, è la loro portata limitata, che si riduce a meno di 1 metro.

I sistemi a scansione distanziometrici sono assimilabili alle stazioni totali topografiche poiché «la misura della posizione tridimensionale del punto avviene in coordinate sferiche, convertite in coordinate cartesiane calcolate in

⁶¹ RINAUDO F., *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in Sacerdote F., Tucci G. (a cura di), *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Allinea Editrice, Firenze, 2007, p. 16.

⁶² Questo principio è utilizzato per determinare le coordinate di un punto attraverso altri due punti di coordinate note e si basa sulla risoluzione di un triangolo attraverso l'individuazione degli angoli e le regole della trigonometria.

un sistema di riferimento solidale allo strumento di acquisizione»63.

Anche in questo caso esistono due tipologie; i laser-scanner a tempo di volo, come suggerisce il nome, consentono di determinare la posizione di un punto attraverso il calcolo dell'intervallo di tempo (Δt) che intercorre tra l'emissione dell'impulso elettromagnetico, la riflessione sull'oggetto da rilevare e la ricezione del raggio da parte dello strumento stesso⁶⁴. Questa tipologia di strumenti ha una portata molto ampia, da pochi metri fino ad alcuni chilometri, ma un livello di precisione inferiore (ordine del centimetro).

Il laser a differenza di fase, invece, «[...] valuta la distanza dei punti che rileva tramite il tempo di volo e la differenza di fase tra il segnale emesso e quello riflesso dalle superfici che incontra, assicurando una precisione adeguata alla scala architettonica dell'oggetto di studio (1:20-1:50)»⁶⁵.

I sistemi di scansione a luce strutturata basano il loro principio su un *pattern* di luce che, proiettato sul modello, si deforma in base alla geometria dell'oggetto illuminato. Attraverso complessi algoritmi e processi di triangolazione viene acquisita la forma del modello.

L'ultima tipologia è quella dei laser a scansione *mobile* che prevede l'acquisizione dei dati tridimensionali attraverso uno o più laser-scanner posizionati su una piattaforma mobile (veicoli o persone).

Per il presente lavoro di tesi, come si vedrà in seguito, la scelta è ricaduta sull'utilizzo del seguesnte strumento laser: il Faro Focus 3D S, modello di laser-scanner distanziometrico a differenza di fase che permette di ottenere un'elevata accuratezza del dato (0.2 - 6 mm) mantenendo una media portata (1 - 100 metri).

66

2.3.1

L'acquisizione delle scansioni a Susa

Una volta eseguite le misurazioni dei *targets* con la stazione totale, come precedentemente accennato, si è passati alla fase di acquisizione delle scansioni. Durante questa fase, come prassi comune, è stato molto utile l'utilizzo degli eidotipi, supporto grafico sul quale viene riportato il posizionamento spaziale dei *targets*: questo è di fondamentale importanza per successiva fase di georeferenziazione delle nuvole di punti (gli eidotipi realizzati per questo lavoro di tesi vengo riportati in appendice A).

Si è utilizzato lo strumento Faro Focus 3D S 120 con fotocamera a colori integrata, in dotazione al Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali (DAD) del Politecnico di Torino.

Range: 0.6 – 120 [m]

Velocità di acquisizione: 976000 [points/sec]

Margine di errore: ± 2 [mm]

Field of view (vertical/horizontal): 305/360 [°]

Risoluzione fotocamera integrata: 70 [megapixel]



Fig. 28 Messa in stazione del laser-scanner Faro Focus 3D S120 sotto le arcate dell'acquedotto

⁶³ Bonfanti C., Atelier di Restauro -Strumenti avanzati per il rilievo e la rappresentazione, dispense del corso, Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018

⁶⁴ *Ibidem.* Per ulteriori approfondimenti si fa rimando a: BORNAZ L., *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente del Territorio e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino, 2006.

⁶⁵ CHIABRANDO F., DONADIO E., SPANÒ A., *Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili*, in «SCAVI AD AQUILEIA III. Aquileia, l'insula tra Foro e porto fluviale Lo scavo dell'Università degli Studi di Trieste 1. La strada», Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2017, pp. 84-85.

Questo strumento, dotato di una portata che va da 0,6 a 120 m, è munito di un compensatore biassiale che, analogamente a quello della stazione totale, regola l'inclinazione degli assi X e Y, corregge automaticamente entro certi *range* la verticalità dell'asse principale e ha errore di linearità (misura della distanza) pari a ± 2 mm che consente di ottenere un grado di dettaglio adeguato alla scala 1:50. Esso è posizionato su un treppiede che gli consente una rotazione di 360° (lo strumento e il treppiede generano un cono d'ombra, lacuna che però viene in parte sopperita dalle scansioni limitrofe). Grazie alle dimensioni compatte, alla batteria dotata di elevate prestazioni (batteria agli ioni di litio) e alla velocità di acquisizione, tale strumento permette di produrre in pochi minuti precisi modelli 3D di punti , anche detti "immagini tridimensionali" di geometrie complesse.

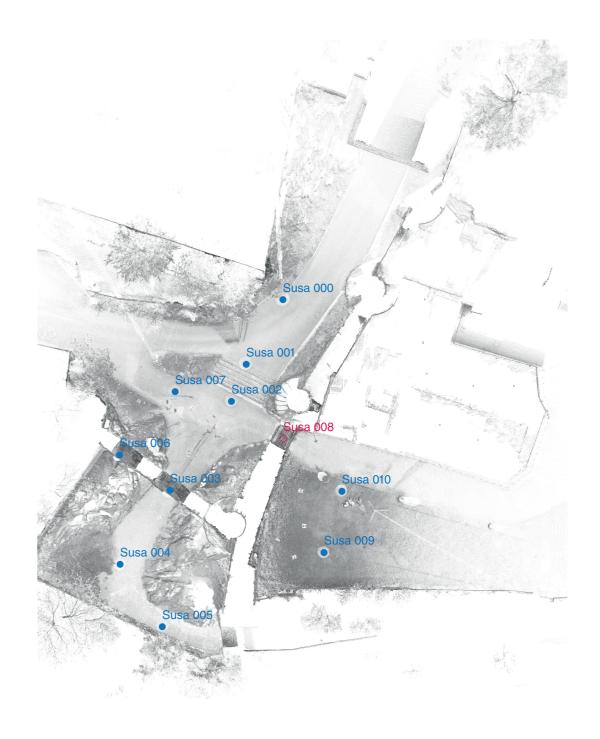
È inoltre dotato di una bussola elettronica e di una fotocamera a colori integrata che permette di ottenere delle scansioni a colori 3D fotorealistiche.

Durante la campagna di rilievo del 6 febbraio 2020, sono state acquisite undici scansioni del sito oggetto di studio, posizionando lo strumento di scansione in modo da garantire un ricoprimento minimo del 30% su scansioni tra loro adiacenti e con almeno tre *targets* in comune. I punti delle scansioni sono stati disposti nella seguente maniera:

- 2 all'interno delle mura nel cortile del castello di Adelaide
- 2 al di sotto dell'acquedotto romano
- 2 in prossimità della roccia dell'altare celtico
- 4 a nord dell'acquedotto, sulla cortina esterna delle mura

Come mostrato dalla seguente immagine (fig. 29) e in linea con la strategia di integrazione dei dati accennata in precedenza, si è deciso di dettagliare solo le aree di maggior interesse, evitando di ottenere dati già acquisti in altre campagne di rilievo. La planimetria mostra infatti i laser scanner posizionati prevalentemente in prossimità dell'altare a coppelle e del muro di cinta, e in

Fig. 29 Posizionamento del laser-scanner durante l'acquisizione delle dieci scansioni





numero minore in corrispondenza delle arcate dell'acquedotto, già oggetto di precedenti studi⁶⁶.

Le scansioni hanno coperto un tempo medio inferiore ai 10 minuti e sono state eseguite con una risoluzione di ¼ (la densità del dato acquisito può arrivare fino a 0.6 mm tra un punto e l'altro ad una distanza di 10 metri) e una precisione di 4x (il numero di misurazioni ripetute su ogni punto) generando nuvole di punti con una media di 25 milioni di punti. La seguente tabella mostra il numero di punti acquisiti da ogni singola scansione e il numero totale.

Nome scansione	Numero di punti acquisiti
Susa 000	26.699.665
Susa 001	25.144.301
Susa 002	24.928.934
Susa 003	29.773.680
Susa 004	23.861.632
Susa 005	26.359.620
Susa 006	31.862.021
Susa 007	24.678.093
Susa 008	*
Susa 009	22.935.538
Susa 010	22.737.129
тот.	258.980.613

Come si evince dalla tabella, nella quale vengono presi in considerazione tutti i punti ad eccezione di uno (Susa 008), nei rilievi di questo tipo è opportuno pianificare accuratamente la posizione dello strumento al fine di ottenere un ricoprimento soddisfacente delle facciate (garantito dalla presenza di almeno tre target in comune per ciascuna coppia di scansioni) ed evitando spazi di discontinuità generati da arredo urbano, persone e vegetazione.

Così facendo si cerca di ottenere le informazioni realmente interessanti ai fini dell'indagine, evitando il più possibile la sovrabbondanza di dati, la quale comporta, nella successiva fase di elaborazione delle nuvole di punti, un inevitabile processo di pulizia e scrematura.

Poiché i laser scanner distanziometrici utilizzati restituiscono nuvole di punti le cui coordinate polari e cartesiane hanno come origine il centro strumentale dello scanner (sistema di riferimento locale), è stato successivamente necessario georiferirli, inserendoli all'interno di un sistema globale di coordinate e passando così alla fase di registrazione dei dati.

^{*}La scansione 008, seppur acquisita, non è stata impiegata ai fini del rilievo in quanto la posizione dello strumento, collocato al di sotto del muro in corrispondenza della porta di ingresso, non ha potuto garantire il reperimento di dati esaustivi ai fini dell'indagine.

⁶⁶ A proposito di tale argomento si rimanda alla seguente tesi di laurea: Terzago M., Rilevo e scansione laser e valutazioni statiche delle rovine dell'acquedotto romano di Susa, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, rel. Spanò A., Invernizzi S., a.a. 2014.

2.3.2

La registrazione delle scansioni

La fase di registrazione dei dati, successiva al momento di acquisizione sul campo, ha previsto in primo luogo l'unione delle singole scansioni e in secondo luogo la loro rototraslazione, per inserirle nel corretto sistema di riferimento.

Per l'elaborazione delle nuvole è stato utilizzato il software FARO Scene, sviluppato dalla stessa casa produttrice dello strumento impiegato per il rilievo.

In una fase preliminare, per maggior comodità di gestione dei dati le scansioni sono state divise in due gruppi: una contenente i dati relativi al cortile del castello di Adelaide e una con le scansioni effettuate sul lato esterno delle mura.

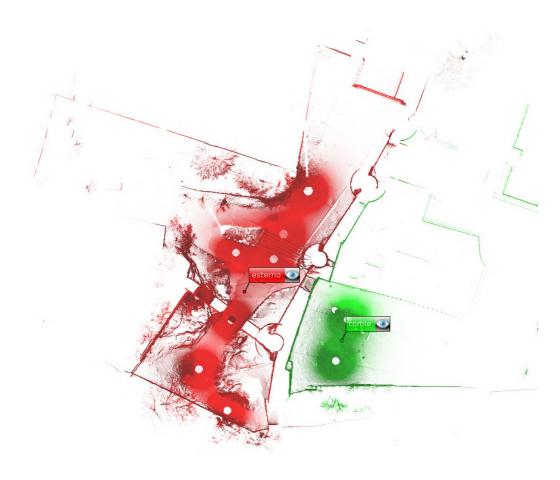


Fig. 30 Suddivisione in due gruppi di scansione (in rosso le scansioni effettuate all'esterno delle mura e in verde quelle all'interno del cortile del Castello di Adelaide)

La prima fase di elaborazione delle nuvole ha previsto il loro allineamento per forma (o *cloud to cloud*) che consiste, dopo un primo avvicinamento manuale delle nuvole, in un processo automatico basato sull'algoritmo ICP (*Iteratice Close Points*), che minimizza la distanza tra punti corrispondenti in scansioni diverse. In questo modo il software è facilitato nel riconoscere i piani e le superfici comuni delle scansioni e, utilizzando ogni singolo punto delle stesse, procede con la sovrapposizione automatica delle scansioni e quindi con il loro allineamento. L'accuratezza del modello risulta essere buona, infatti gli scarti dell'allineamento tra le nuvole di punti, accettabili per entrambi i gruppi di scansione, si attestano al disotto dei 5 mm, e permetto una rappresentazione grafica alla scala 1:50.



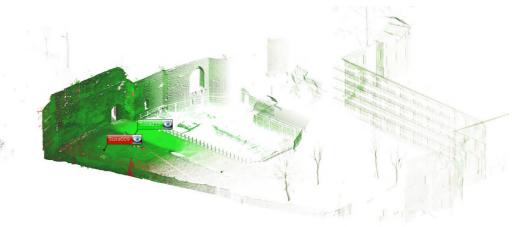


Fig. 31 a. Vista complessiva della registrazione cloud to cloud delle scansioni esterne b. Vista complessiva della registrazione cloud to cloud delle scansioni interne

Scansione	Numero scansioni	Mean tension*
interno	2	3.2656 mm
esterno	8	2.3044 mm

^{*}Tensione tra i punti di scansione corrispondenti in ciascuna coppia di scansioni

La seconda fase ha previsto la georeferenziazione del modello completo, composto dalla somma delle dieci scansioni, le quali sono state preventivamente "bloccate" al fine di evitare il loro disallineamento.

La rototraslazione del modello finale all'interno del sistema globale è dovuto all'associazione ad ogni singolo target della sua effettiva coordinata spaziale: presupposto di questa operazione è stata la collimazione dei *targets* le cui coordinate sono state determinate sulla base delle misure eseguite con la stazione totale. Più specificatamente per rototraslare le scansioni all'interno del programma si è utilizzata la visualizzazione piana, che ha consentito di associare a ciascun *target* la sua posizione all'interno del sistema di coordinate globale.

Ricordiamo che in questa fase, grazie alla telecamera integrata dello strumento di scansione, è possibile ottenere il dato RGB di ogni singolo punto attraverso la colorazione delle scansioni. Una volta terminata questa procedura la nuvola di punti, completa e georeferenziata, può essere eventualmente integrata con le informazioni esito di differenti tecniche di rilievo, ad esempio quella fotogrammetrica.

Questo metodo risulta particolarmente efficace per l'analisi dell'architettura, in quanto restituisce informazioni molto dettagliate sul manufatto oggetto di indagine, consentendo di estrapolare elaborati grafici bidimensionali e modelli tridimensionali ad altissimo livello di dettaglio.

I valori ottenuti, come si evince dalla tabella sottostante, possono essere ritenuti accettabili per i nostri scopi.

Scansione	Numero scansioni	Mean Tension	Deviation
int + est	10	4.47 mm	2.27



Fig. 32 Vista piana della scansione 009 sulla quale sono stati individuati e collimati i markers.



Fig. 33 Vista piana della scansione 002 sulla quale sono stati individuati e collimati i markers.



Fig. 34 Vista complessiva della nuvola di punti al termine della registrazione.

2.4

Il rilievo fotogrammetrico

Nell'ambito dell'analisi dell'architettura e più in generale della salvaguardia del patrimonio architettonico, la tecnica fotogrammetrica è una modalità di rilievo metrico molto diffusa ed efficace, che sta avendo un sviluppo decisamente importante negli ultimi anni, grazie alla sua capacità di offrire dati di elevata qualità in tempi celeri e con costi molto più bassi della tecnica *laser-scanning*.

Le ortofotoproiezioni e, più in generale, il dato fotogrammetrico, non costituiscono soltanto la base per un'accurata indagine e studio del manufatto, ma consentono anche il controllo e il monitoraggio nel tempo dello stato di conservazione e trasformazione del bene, a partire da una scala più territoriale fino a quella di dettaglio.

La possibilità di aggiornare costantemente i dati (grazie alla georeferenziazione) è un vantaggio indiscutibile di questa tecnica *rapid mapping* e *low cost*, che permette di pervenire ad una documentazione sempre più completa ed accurata. Una delle caratteristiche più importanti è rappresentata dall'opportunità di ottenere dei dati radiometrici che spesso vengono confrontati e integrati con il dato geometrico restituito dalla tecnologia LiDAR: questo risulta particolarmente rilevante per un'interpretazione il più completa possibile dell'architettura e per la valutazione della qualità del rilievo speditivo (*rapid mapping*) attraverso il confronto tra le nuvole LiDAR e quelle fotogrammetriche.

La tecnica di rilievo fotogrammetrico, che oggi ha potenziato in maniera significativa la fase classica (che restituiva punti e linee attraverso la visione stereoscopica da parte di un operatore) tramite l'attuale possibilità di generare nuvole di punti con l'impiego della tecnica SfM (*Structure from Motion*), permette di ottenere la geometria, le informazioni metriche e la posizione degli oggetti tridimensionali all'interno di un sistema di riferimento a partire dall'interpolazione

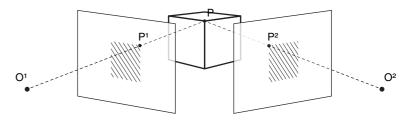
e dalla misura delle immagini fotografiche. Queste ultime si definiscono fotogrammi, in quanto contengono le informazioni metriche e possono essere assimilabili a prospettive centrali. Come dimostra lo schema sottostante, vi è una corrispondenza biunivoca tra i punti dell'oggetto tridimensionale e quelli omologhi sul piano di proiezione del fotogramma.

"Ad ogni punto oggetto corrisponde un punto immagine sul piano della proiezione e ad ogni punto immagine corrisponderanno infiniti punti appartenenti alla retta proiettante punto immagine e centro di presa"⁶⁷.

La fotogrammetria, attraverso le regole della stereogrammetria⁶⁸ è in grado di ricostruire le coordinate spaziali di un oggetto tridimensionale a partire dai punti omologhi dei piani bidimensionali. Come si apprezza dall'immagine sottostante si viene ad instaurare una corrispondenza proiettiva tra le coordinate dei punti oggetto e le coordinate immagine dei fotogrammi.

Fig. 35 Corrispondenza tra punto oggetto e punto immagine. rielaborazione personale

77



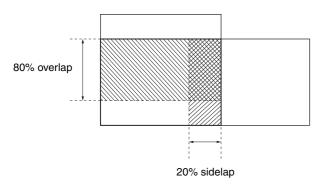
La prima fase di un rilievo fotogrammetrico consiste nell'acquisizione delle immagini fotografiche con uno schema di presa che varia a seconda del livello di dettaglio che si vuole ottenere. La modalità di acquisizione (in fotogrammetria digitale) prevede che ci sia un ricoprimento longitudinale lungo la direzione della strisciata del 80-90% (*overlap*) e del 20 % in senso trasversale (*sidelap*), un buona illuminazione e numero cospicuo di fotografie⁶⁹.

⁶⁷ Spanò A., 2016, Op. cit.

⁶⁸ Uno stereogramma è composto da una coppia di fotogrammi in successione che riprende un oggetto da due punti di vista differenti. La stereogrammetria si basa sulle leggi della visione stereoscopica naturale dell'uomo che permette all'individuo, attraverso l'unione delle due immagini raccolte dall'occhio destro e da quello sinistro, di individuare l'oggetto nello spazio tridimensionale in cui è collocato.

⁶⁹ ABBATE E., CALANTROPIO E., SAMMARTANO G., SPANÒ N., Fotogrammetria digitale & progetti di presa, dispense del corso, Politecnico di Torino, a.a. 2019/2020, p.7.

Fig. 36 Rappresentazione schematica della sovrapposizione dei fotogrammi



La seconda fase è rappresentata dall'elaborazione digitale delle fotografie nel software (nel caso di questa tesi *Agisoft Metashape*), la quale prevede l'orientamento e l'allineamento delle immagini attraverso il riconoscimento dei punti omologhi di ogni fotogramma (*image matching*). Con la tecnica SfM (*Structure from Motion*) si determina il centro di presa nel momento dello scatto e l'assetto della camera, eliminando gli errori strumentali e definendo la relazione tra punto oggetto e punto immagine sulla base delle regole della prospettiva centrale, proprie della fotogrammetria. Dopo la generazione della nuvola densa si procede a derivare i prodotti tipici della fotogrammetria, quali ortofoto e DSM.

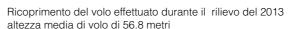
Il terzo ed ultimo passaggio consiste nella restituzione, durante la quale si possono operare delle integrazioni con altri dati fotogrammetrici, georeferenziazioni, misurazioni e la generazione di nuvole di punti che conservano il loro valore radiometrico.

Nel presente lavoro di tesi il rilievo fotogrammetrico è stato realizzato sia da terra (*Close-Range*) che con l'ausilio di droni (UAV). Più in particolare la tecnica *Close-Range* è stata applicata alla roccia dell'altare a coppelle per la quale, in una fase iniziale del lavoro, era stato previsto un rilievo LiDAR attraverso un laser scanner triangolatore *free-style* FARO. Il non funzionamento di quest'ultimo strumento a causa dell'elevata radiazione luminosa (luce solare) ha portato ad utilizzare invece la tecnica fotogrammetrica. Ciò è la dimostrazione del fatto di come le tecniche del rilievo siano attualmente così avanzate e diversificate tali da consentire un cambio repentino di strategia *in situ*, a seconda delle circostanze.

Fig. 37 Rappresentazione schematica del rilievo effettuato con droni e modalità Close-Range

79





Volo A - Ricoprimento del volo effettuato durante il rilievo del 2020 altezza media di volo 37.5 metri

▲ ▲ Volo B - Direzione di volo con camera perpendicolare al paramento murario distanza costante di 4.5 metri

Rilievo Close-Range

2.4.1

Il rilievo fotogrammetrico aereo (UAV)

La fotogrammetria da UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) è una tecnica di rilievo oggi molto utilizzata in ambito paesaggistico e architettonico attraverso l'utilizzo di droni. Grazie a questa tecnica si può acquisire un'elevata quantità di fotogrammi dai quali si possono ottenere «[...]nuvole di punti, modelli 3D texturizzati e ortofoto digitali tramite l'ormai sempre più consolidato processo di image matching»⁷⁰ in tempi molto rapidi.

Durante la campagna di rilievo del 6 febbraio 2020 l'area adiacente alle mura e all'acquedotto romano di Susa è stata oggetto di un rilievo fotogrammetrico mediante l'utilizzo di droni. La fase antecedente ai voli, come precedentemente spiegato, ha previsto il posizionamento uniforme di 55 *target*, tali da essere immediatamente individuabili nei fotogrammi e permettere le successive rototraslazioni del modello digitale.

Uno degli aspetti principali da tenere in considerazione quando ci si approccia ad un rilievo di questa tipologia è la pianificazione attenta dei voli. La prassi prevede che la presa dei fotogrammi avvenga in progressione secondo direzioni rettilinee e parallele tra loro, ad una quota pressoché costante: ciascuna serie di fotogrammi lungo la stessa direzione è chiamata "strisciata".

La natura stessa della fotogrammetria impone che, per il rilievo UAV di un oggetto (sia esso un manufatto o una porzione di terreno), quest'ultimo compaia su due fotogrammi contigui e che, quindi, venga fotografato da almeno due punti di presa consecutivi. La sovrapposizione tra due fotogrammi è detta

overlap, e la distanza tra loro è detta base di presa⁷¹. Quanto detto rispetta una linea teorica ma in realtà sappiamo che a seguito degli sviluppi tecnologici e l'avanzamento delle tecniche fotogrammetriche (che sfruttano l'integrazione dell'image matching con SfM) i centri di presa che ritraggono lo stesso punto sono moltissimi.

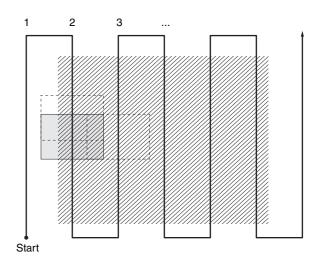


Fig. 38 Schema del piano di volo generale per l'acquisizione dei fotogrammi

81

Il ricoprimento tra i fotogrammi deve essere pari ad almeno 75 - 80 %, in modo da consentire al software, in fase di elaborazione dei dati, di riconoscerne in modo automatico i punti omologhi.

Nel presente caso studio i voli effettuati con i droni sono stati utilizzati in due differenti modalità e per finalità diverse. Il primo volo (che per comodità definiremo "volo A") è stato eseguito a scala territoriale ad un'altezza media di 30 metri, con camera in posizione nadirale e a 45°, per indagare meglio l'area del sito archeologico. Il secondo volo ("volo B"), di maggior dettaglio, è stato eseguito con asse orizzontale perpendicolare al paramento murario di una porzione della cinta fortificata, ad una distanza di circa 5 metri.

⁷⁰ AICARDI I., BOCCARDO P., CHIABRANDO F., DONADIO E., LINGUA A., MASCHIO P., NOARDO F., SPANÒ A., Rilievo metrico 3D multiscala per l'indagine e la rappresentazione architettonica e ambientale dell'area archeologica di Susa, intervento presentato al convegno Atti 18a Conferenza Nazionale ASITA, Firenze, 2014.

⁷¹ Spanò A., 2017/2018, Op. cit.

VOLO A

Il primo volo è stato realizzato con il drone DJI MAVIC PRO in modalità manuale ma, come precedentemente spiegato, si ha avuto l'accortezza di realizzare le strisciate in modo che i fotogrammi avessero un ricoprimento reciproco sufficiente. Il volo è stato realizzato ad un'altezza media di 37.5 metri e ha ricoperto l'intera area del sito archeologico permettendo di acquisire 405 fotogrammi (in direzione nadirale e a 45° rispetto il terreno). Si riporta di seguito lo schema di presa dei fotogrammi, unitamente alle caratteristiche dello strumento utilizzato.



DJI MAVIC PRO

Tipologia	Tetrarotore
Rotori	4 motori
Peso massimo con equipaggiamento	0.743 kg
Lunghezza	19.8 cm
Altezza	8.3 cm
Velocità massima orizzontale	65 km/h
Velocità massima verticale	5 m/s

Caratteristiche Fotocamera

Risoluzione immagine

Fotocamera	FC220
Distanza focale	4.73 mm
Dimensione pixel sensore	1.57 x 1.57 µm

4000 x 3000 px



Nell'immagine seguente si può apprezzare come la sovrapposizione (overlap) delle immagini ottenute in fase di volo sia stata particolarmente uniforme e soddisfacente: in blu si rappresenta la sovrapposizione di almeno 9 fotogrammi, mentre lungo i bordi l'overlap diminuisce progressivamente, come dimostrato dalla differente colorazione.

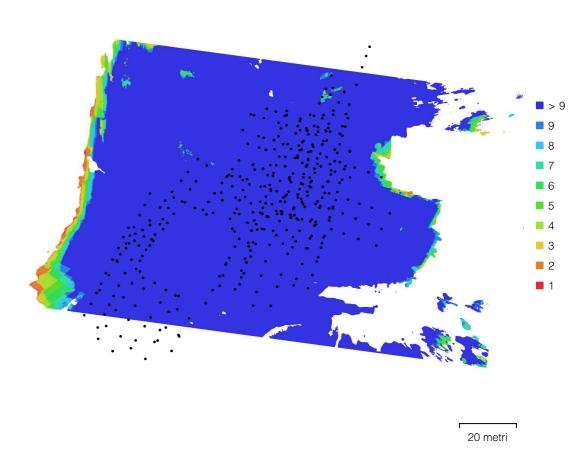
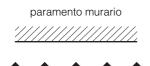


Fig. 39 Volo A: overlapping dei fotogrammi scattati con il drone DJI Mavik PRO. Elaborazione tratta dal report di volo di Susa, 17 agosto 2020, Team DIRECT, Politecnico di Torino. In nero sono indicati i punti di presa dei fotogrammi evidentemente distribuiti su tutta l'area oggetto d'indagine.

VOLO B

Il secondo volo, in vista di un'analisi stratigrafica delle murature, è stato condotto in modalità manuale, con la camera perpendicolare al paramento murario e ad una distanza costante di 4.5 metri. il Drone DJI SPARK ha permesso di acquisire 278 immagini alle diverse quote e, come nel caso precedente, con un overlapping del 75-80 %. Si riporta di seguito lo schema di presa dei fotogrammi, unitamente alle caratteristiche dello strumento utilizzato.



DJI SPARK

Tipologia Tetrarotore

Rotori 4 motori

Peso massimo con equipaggiamento 0.300 kg

Lunghezza 14.3 x 14.3 cm

Altezza 5.5 cm

Velocità massima orizzontale 50 km/h
Velocità massima verticale 3 m/s

Caratteristiche Fotocamera

Fotocamera FC102

Distanza focale 4.49 mm

Dimensione pixel sensore $1.57 \times 1.57 \mu m$ Risoluzione immagine $3968 \times 2976 px$



Anche in questo caso viene proposta l'immagine che mostra la sovrapposizione delle immagini. Sono visibili i punti di presa aggiuntivi relativi al volo B, integrati con quelli del volo precedente.

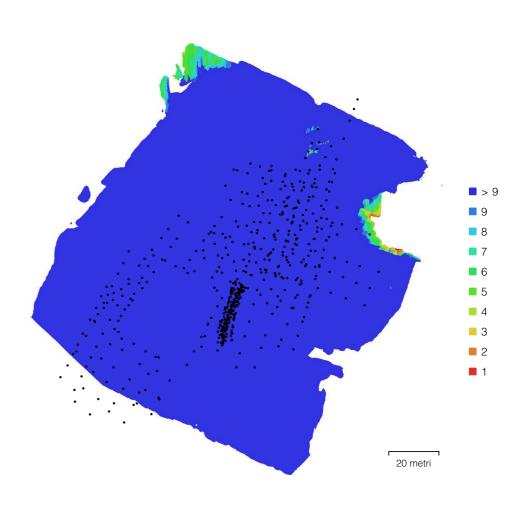


Fig. 40 Volo A + Volo B: overlapping dei fotogrammi scattati con il drone DJI Mavik PRO e DJI Spark (coregistrazione delle nuvole). Elaborazione tratta dal report di volo di Susa, 17 agosto 2020, Team DIRECT, Politecnico di Torino. In nero sono indicati i punti di presa dei fotogrammi, si noti la concentrazione in prossimità del tratto nord-occidentale del muro di cinta.

2.4.2

L'elaborazione dei dati del rilievo fotogrammetrico aereo

I fotogrammi acquisiti durante i voli sono stati elaborati in un secondo momento presso il laboratorio di geomatica del Politecnico di Torino, utilizzando il software Agisoft Metashape, attraverso il quale è possibile generare nuvole di punti (rade e dense), mesh texturizzate, Digital Surface Models (DSM) e le ortofoto. Per l'orientamento fotogrammetrico e il calcolo automatico del modello denso sono state utilizzate le tecniche SfM (Structure from Motion) attraverso gli algoritmi dell'Image Matching. Il primo passaggio ha previsto l'importazione delle immagini sul programma (Agisoft Metashape) che, in modo automatico, ha potuto riconoscerne i punti omologhi (definiti *Tie Points*). In questo modo, secondo le tecniche di *image matching*, basate sulle regole della stereogrammetria, il software è in grado di eseguire un allineamento dei fotogrammi che comporta la generazione di una nuvola rada di punti. In seguito, al fine di inserire i fotogrammi all'interno di un sistema di riferimento globale desiderato, sono state importate nel software le coordinate dei targets rilevate durante la campagna di rilievo. Così facendo è possibile rototraslare la nuvola di punti rada attraverso la collimazione delle suddette coordinate, le quali fungono da Ground Control Points (GCP), sui fotogrammi. Durante questa operazione, tramite i punti di controllo (Control Points) si realizza il Bundle Adjustment, procedura che ottimizza la definizione dei centri di presa e l'assetto della camera allineando i punti omologhi e minimizzando l'errore di proiezione⁷².

Questa operazione si suddivide in due fasi diverse: quella preliminare prevede l'individuazione di tre *markers* uniformemente distribuiti nella porzione del modello interessata e la loro collimazione su una decina di fotogrammi, al fine di scalare e rototraslare approssimativamente la nuvola di punti. Tale procedimento aiuterà il successivo step di collimazione e verifica, durante il quale l'operatore sarà portato a correggere manualmente la posizione dei *Ground Control Points* sui fotogrammi: l'obiettivo consiste nel ridurre l'errore spaziale (sulle coordinate x,y,z) tra i punti di controllo del modello e quelli rilevati topograficamente. Durante questa fase selettiva alcuni marker non sono stati collimati poiché non visibili o posizionati troppo di scorcio. Durante questa operazione alcuni punti non vengono impiegati come GCP, e quindi per il calcolo del modello fotogrammetrico, ma per la valutazione del risultato finale. Questi punti prendono il nome di *Check Points* (o punti di controllo) e permettono di controllare lo scarto quadratico medio tra la posizione reale dell'oggetto e quella del modello, in modo da valutarne l'accuratezza e la tollerabilità dell'errore.

E' bene sottolineare come i 278 fotogrammi acquisiti durante il volo B, nonostante fossero dotati di quattro punti di controllo, siano stati inglobati nel dataset relativo al volo A (405 fotogrammi), georiferito ad un sistema globale di coordinate: una volta georiferito il volo A, attraverso i punti di controllo dello stesso, è stato possibile co-registrare il volo B. In questo caso la co-registrazione ha permesso di ottenere una buona qualità dell'orientamento fotogrammetrico e, parallelamente, di georeferenziare il nuovo modello.



^{72 «}Nei processi SfM si utilizzano le regole della geometria epipolare, che regola le relazioni fra i tie points (TP), i centri di presa e la posizione 3D del punto, per orientare le prese e stimarne gli orientamenti interni ed esterni. Cioè si usano diverse regole proiettive, quelle appunto relative alla GEOMETRIA EPIPOLARE, per ricostruire automaticamente migliaia di intersezioni nello spazio che danno origine al modello denso». Cfr. Abbate E., Calantropio E., Sammartano G., Spanò N., *Op cit.*, p.11.

VOLO A

Nel caso del volo A, dei 55 punti misurati topograficamente, 30 sono stati impiegati come *Ground Control Points* e 9 sono stati utilizzati come *Check Points*; l'errore residuo risulta accettabile per il raggiungimento di una scala metrica di rilievo 1 : 100 (tolleranza accettabile fino al 1.5 cm).

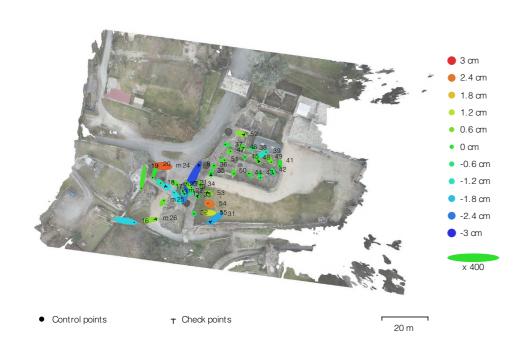


Fig. 41 Individuazione dei GCP con corrispettivi errori residui del volo A: l'errore sul piano orizzontale è indicato dalla dimensione dell'ellisse, l'errore sull'asse Z è rappresentato dalla tonalità di colore. Elaborazione tratta dal report di volo di Susa, 17 - 08 - 2020, Team DIRECT, Politecnico di Torino.

CONTROL POINTS RSME (errore quadratico medio)

count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
30	0.53575	0.604013	0.98177	0.807378	1.27111
CHECK POINTS RSME (errore quadratico medio)					
count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
9	0.817484	1.09673	1.30625	1.36788	1.8914

VOLO A + B

Nel caso del presente volo, il numero dei *Ground Control Points* e dei *Check Points* è rimasto invariato rispetto a quello precedente: sono stati impiegati 30 punti come *Ground Control Points* e 9 come *Check Points*, come riportato nella seguente planimetria. Anche in questo caso l'errore residuo risulta accettabile per la scala 1:50.

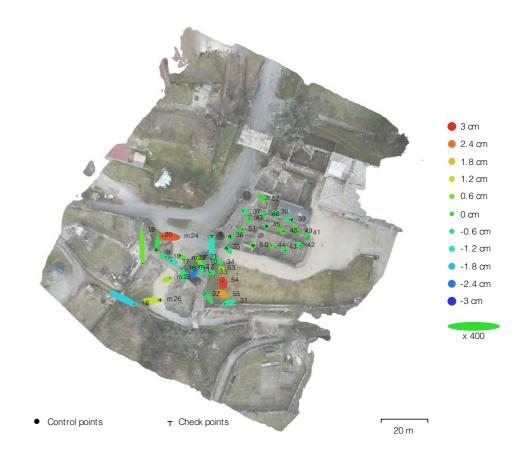


Fig. 42 Individuazione dei GCP con corrispettivi errori residui dei voli A + B: l'errore sul piano orizzontale è indicato dalla dimensione dell'ellisse, l'errore sull'asse Z è rappresentato dalla tonalità di colore. Elaborazione tratta dal report di volo di Susa, 17 - 08 - 2020, Team DIRECT, Politecnico di Torino.

CONTROL POINTS RSME (errore quadratico medio)

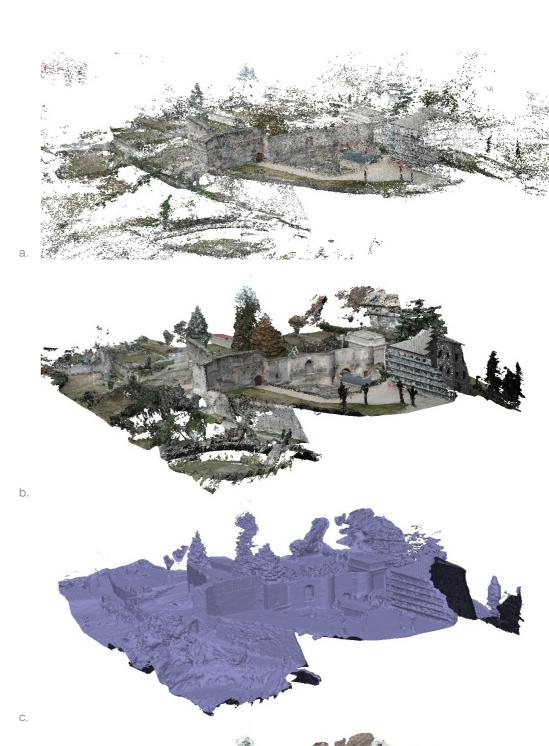
count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
30	0.55917	0.68992	1.08556	0.888066	1.40253
CHECK POINTS RSME (errore quadratico medio)					
count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
9	0.519084	1.775296	0.700974	0.933023	1.167

Una volta valutati gli errori residui si è proseguito con la generazione della *Dense Cloud* (o nuvola densa) ad alta risoluzione. Questo processo, avviato con un livello medio di qualità, ha richiesto un lasso di tempo pari a 2 ore e ha restituito una nuvola costituita da 15 985 303 punti.

Successivamente è stato elaborato un modello tridimensionale (modello *mesh*), i cui punti acquisiti vengono impiegati per costituire vertici di superfici triangolari; tali superfici verranno infine texturizzate a partire dai valori radiometrici dei singoli fotogrammi, restituendo così un modello che conserva il dato RGB.

Si riportano di seguito le fasi fin'ora descritte che hanno portato alla generazione del modello texturizzato dal quale è stato possibile derivare il *Digital Surface Model* (DSM) che permette di fare delle analisi sul valore delle quote dei punti rispetto a un piano (in questo caso orizzontale) e le ortofotoproiezioni. Queste ultime, derivanti da mosaici di fotogrammi ortoproiettati su modello, sono state realizzate con una risoluzione di 7 mm per pixel e quindi adatte alla rappresentazione in scala 1:50 e 1:100. Derivate entrambe dall'individuazione di piani di proiezione passanti per delle coordinate predefinite, sia il DSM sia le ortofoto sono georeferenziate, caratteristica che consente loro di essere importate e lavorate sia in ambiente GIS sia in ambiente CAD.

Fig. 43 Fasi di elaborazione della nuvola di punti ottenuta da fotogrammetria aerea a. Nuvola di punti rada b. Nuvola di punti densa c. Modello mesh d. Modello texturizzato

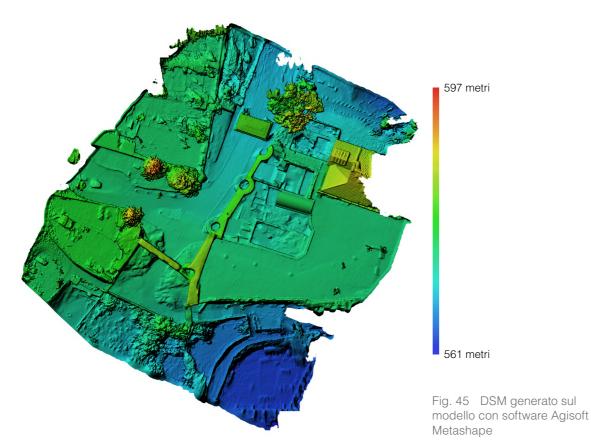




91



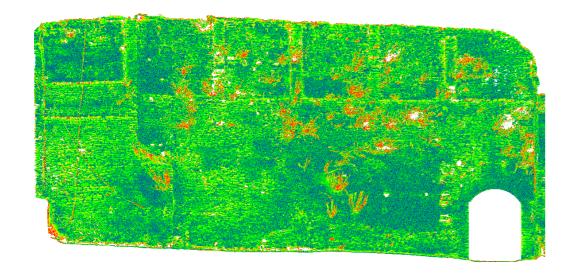
Fig. 44 Ortomosaico generato con software Agisoft Metashape

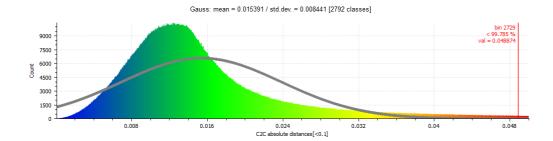


Come già anticipato, le tecniche fotogrammetriche restituiscono un buon dato radiometrico, mentre la tecnologia LiDAR offre il vantaggio di avere un'elevata precisione e una buona qualità del rilievo ed è generalmente superiore alla fotogrammetria per la qualità geometrica dei dati (risulta inoltre essere meno influenzata dai fattori ambientali, ad esempio la luce). Per questo motivo è bene confrontare le nuvole ottenute con queste due tecnologie: in questo caso andremo ad analizzare il tratto interno nord-occidentale del muro di cinta.

Le due nuvole di punti (LiDar e fotogrammetrica), entrambe georeferenziate, sono state importate su *Cloud Compare*. Una volta sovrapposte, attraverso l'algoritmo *C2C distance*, è stato possibile analizzare la distanza tra le nuvole. Il risultato di questa operazione consiste in una nuvola tematica in cui i falsi colori indicano i valori di scostamento. Come possiamo osservare dal grafico i valori variano da 0 a 50 mm, dunque gli scostamenti oltre i 50 mm rispetto alla nuvola di riferimento non verranno tenuti in considerazione. Le macchie rosse rappresentano i valori di scostamento più alti e sono riscontrabili laddove vi è presenza di vegetazione spontanea. La curva di Gauss, infine, dimostra come la maggior parte dei punti si attestino in un *range* compreso tra i 12 e i 20 mm (colorazione verde/blu), indicando che lo scarto medio tra le due nuvole ha un valore di 15.4 mm.

Fig. 46 Nuvola tematica generata con il software Cloud Compare nella quale vengono indicati gli scostamenti tra le nuvole LiDAR e Fotogrammetrica.





2.4.3

Il rilievo fotogrammetrico terrestre applicato all'altare celtico

La fotogrammetria terrestre, detta anche *Close Range* (per la breve distanza che intercorre tra la camera e l'oggetto), così come tutti i rilievi di tipo fotogrammetrico, si basa sulla sovrapposizione di fotogrammi ed è vincolata da punti di controllo sulla superficie da rilevare detti Ground Control Points (GCP), che permettono l'orientamento delle immagini in un unico sistema di riferimento. E' opportuno anticipare che anche in questo caso, poiché privo di punti di controllo, l'oggetto rilevato (l'altare celtico) è stato co-registrato nel volo A, sia per inserirlo in un sistema di coordinate note, sia per garantire una migliore qualità dell'orientamento fotogrammetrico.

Nel presente caso studio sono stati acquisiti manualmente 165 fotogrammi con una fotocamera Canon EOS 5DS R: si è cercato di mantenere parametri fissi della camera e una distanza pressoché costante tra lo strumento e l'oggetto da rilevare, secondo lo schema riportato di seguito, al fine di massimizzarne la sovrapposizione steroscopica (*overlapping*).

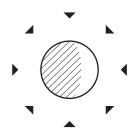
Caratteristiche fotocamera

Model: Canon EOS 5DS R

Focal lenght: 20mm

Pixel size: 4.24 x 4.24

Resolution: 8688 x 5792



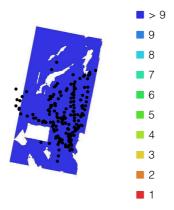
2.4.4

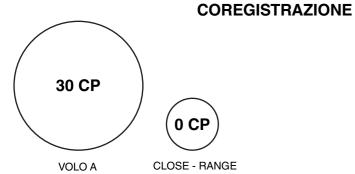
L'elaborazione dei dati del rilievo fotogrammetrico terrestre

Come per la fotogrammetria aerea, anche nel caso della fotogrammetria terrestre i dati sono stati elaborati sul software *Agisoft Metashape*. I 165 fotogrammi scattati in modalità *Close Range* sono stati co-registrati con il *dataset* del volo A, in quanto georeferenziato. Nonostante gli strumenti e i livelli di dettaglio siano diversi, l'iter metodologico previsto dalla tecnica *Structure for Motion* è identico a quelli descritti in precedenza: a una prima fase di *dense matching*, possibile attraverso i *Tie points* è susseguita quella dell'ottimizzazione dei centri di presa prevista con il *bundle adjustment*.

Di seguito si riporta lo schema di sovrapposizione delle immagini e della localizzazione dei punti di presa dei fotogrammi.

Fig. 47 Overlapping dei fotogrammi scattati con fotocamera Canon EOS 5DS R. Elaborazione tratta dal report di volo di Susa, 17 agosto 2020, Team DIRECT, Politecnico di Torino





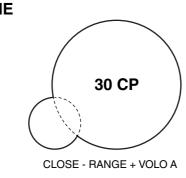
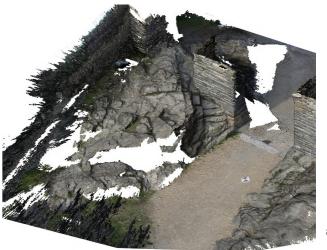


Fig. 48 Fasi di elaborazione fotogrammetrica con tecnica SfM dell'altare sacrificale:

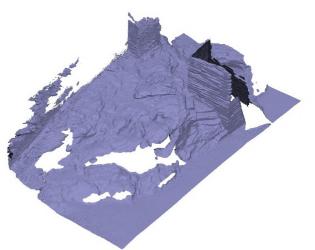
a. Nuvola di punti densab. Modello mesh

D. Modello mesn

c. Modello texturizzato



a.



b.



C.

Gli esiti del progetto di rilievo

3.1

L'estrazione del modello tridimensionale dell'ara coppellata

L'ottenimento del modello 3D permette una visualizzazione "nuova" e dinamica degli oggetti rispetto alla canonica rappresentazione bidimensionale, tipica del rilievo tradizionale (pianta, prospetto, sezione) e rappresenta un vantaggio sia dal punto di vista documentale sia interpretativo. L'estrazione di tale modello, a partire da una nuvola di punti, consente di poter analizzare l'oggetto in esame sotto diversi punti di vista: riconoscimento e controllo accurato di geometrie complesse, analisi sulle superfici, riconoscimento di scostamenti delle stesse, calcolo di volumi e, come si vedrà in seguito, estrazioni di sezioni bidimensionali.

La realizzazione del modello, come già anticipato, nasce dall'estrazione di superfici continue TIN (*Trianguled Irregular Network*), comunemente chiamate *mesh*, le quali rappresentano delle superfici generate dall'unione di punti nello spazio, tramite la formazione di triangoli con facce piane. Ogni triangolo è delimitato da tre segmenti e definito da tre punti: i segmenti ne definiscono la superficie e gli spigoli di contatto con gli altri triangoli; i punti, aventi ognuno coordinate cartesiane, ne determinano la posizione nello spazio.

Ne consegue che la dimensione e il numero dei triangoli dipendono dalla quantità di punti ottenuti, dunque maggiore è il numero di punti, ovvero dei triangoli, maggiore sarà il livello di dettaglio del modello: l'operatore può intervenire sulla risoluzione della nuvola e conseguentemente su quella del modello *mesh*, da cui ne deriva anche la versatilità, ottenendo modelli continui più o meno dettagliati a secondo delle esigenze.

Nel caso in esame la nuvola di punti dell'ara a coppelle è stata ottenuta da tecnologia fotogrammetrica con metodo *close-range*. In particolare, attraverso il software *Agisoft Metashape*, è stato possibile generare una *mesh* poligonale

texturizzata a partire dalla nuvola densa che, come si vedrà in seguito, consentirà di analizzare più a fondo il manufatto.

Una volta ottenuto, il modello *mesh* è stato importato nel software *3DReshaper*. Le prime operazioni hanno previsto una riduzione del rumore dell'intera *mesh* mediante un processo di "levigatura" e, per quanto possibile, un'occlusione delle lacune presenti sul modello. Successivamente sono state estrapolate le curve di livello con un intervallo di 20 centimetri (da 576.80 metri s.l.m. a 580 metri s.l.m.) e le sezioni secondo precise coordinate. Ciò è stato fatto per poter analizzare l'andamento generale dell'altare sacrificale e restituirne, in fase successiva, una rappresentazione bidimensionale, avendo cura di sezionare i nodi più indicativi quali il canale di scolo e le scale di accesso.

Una volta individuate, le coppelle sono state numerate e catalogate per le successive analisi, sulla base di un'interpretazione preliminare; sul modello sono stati tracciati i piani di sezione, al fine di esportarne i profili e quindi apprezzarne la profondità. La fase successiva ha previsto il calcolo volumetrico di ogni coppella, grazie gli strumenti di misurazione e alle possibilità insite nel *software*. In primo luogo sono state riconosciute e individuate le coppelle nella *mesh*; dopo avere individuato e separato le coppelle rispetto al resto del modello, è stato possibile calcolarne il volume, ipotizzando il percorso del liquido e regolandone il piano orizzontale su ogni singola coppella. Di seguito vengono riportate le fasi di elaborazione e i valori ottenuti.

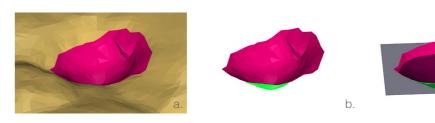
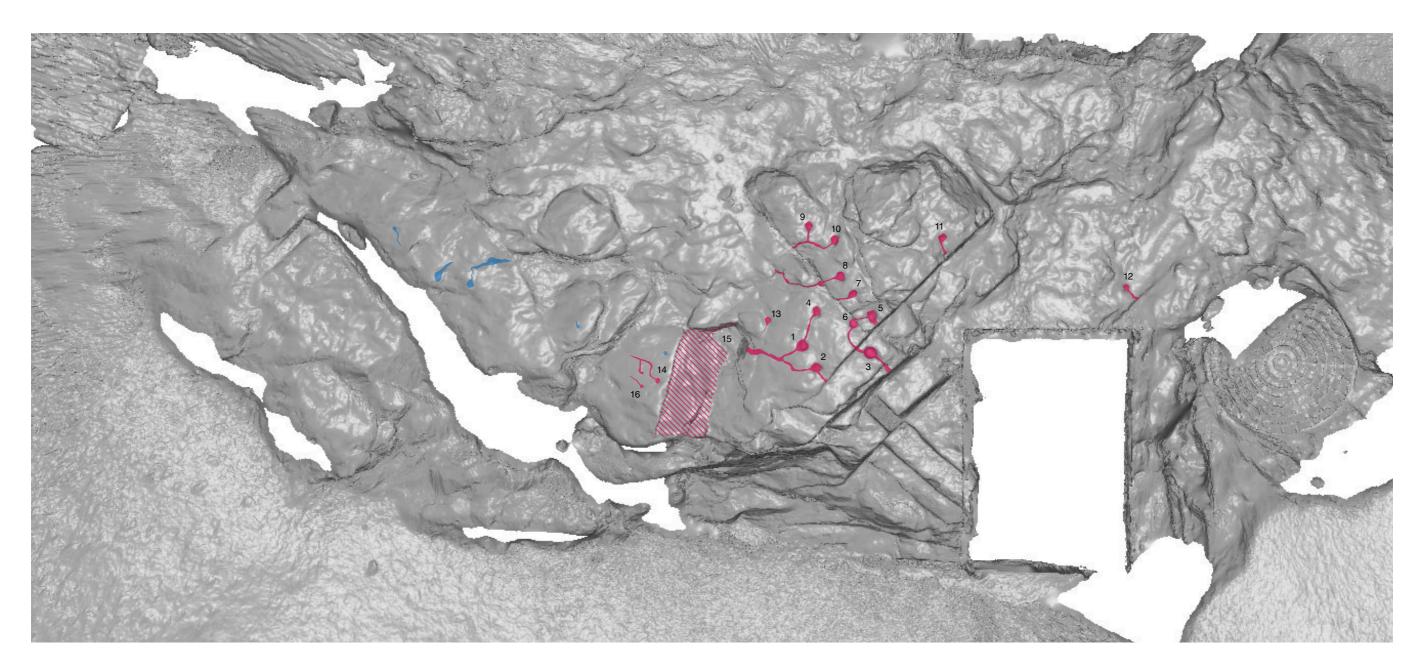


Fig. 49 Passaggi per l'ottenimento del volume delle cavità

- a. Individuazione e selezione delle superfici piane
- b. separazion
- c. inserimento del piano orizzontale del liquido e calcolo volumetrico



VOLUME DELLE CAVITA' (cm³)

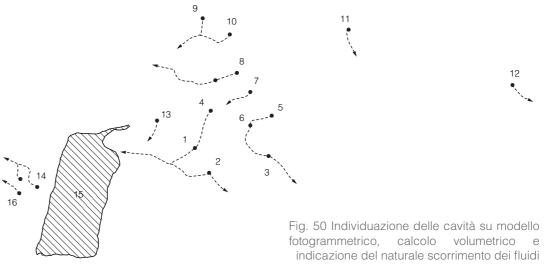
	28.403	9	94.033
2	15.418	10	16.321
3	94.033	11	11.766
ļ	17.283	12	5.186
5	32.853	13	14.290
6	26.682	14	3.892
7	3.192	15	2465.349
3	26.947	16	1.832

Coppelle misurate

Vaschetta di raccolta

Coppelle da verificare

0 0.5 1 2.5 m



3.2

L'estrazione dei modelli bidimensionali

Nonostante i rapidi progressi tecnologici nell'ambito della geomatica, i supporti bidimensionali più tradizionali continuano a rappresentare ancora oggi un valido strumento per lo studio dei manufatti architettonici di varia natura.

Perciò, al fine di raggiungere una buona conoscenza dei manufatti oggetto di studio, è stato necessario realizzare i tradizionali elaborati architettonici.

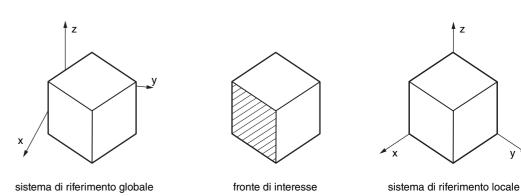
Il rilievo metrico 3D, a partire dalle proiezioni delle nuvole di punti sui tradizionali piani di proiezione del disegno architettonico e dalle ortofoto derivanti da modelli tridimensionali texturizzati, consente di realizzare tali elaborati bidimensionali nei quali ogni pixel, dotato di specifiche coordinate, corrisponde ad un punto georiferito nello spazio.

In un primo momento è stato utilizzato il software *Pointcab 3.8* che permette la generazione delle proiezioni della nuvola in formato *raster* (piante, prospetti e sezioni) a partire dalla sezione delle nuvole di punti. Una volta inserite queste ultime, infatti, il programma genera in maniera automatica tre viste, corrispondenti alla vista dall'alto (*Standard Top*) e alle due laterali (*Standard Left* e *Standard Front*) dell'intera nuvola di punti caricata. A seguito di una scelta consapevole da parte dell'operatore, strutturata sulla base dei risultati che si vogliono ottenere con questo tipo di operazione, è possibile inserire dei piani di proiezione dai quali generare delle ortofoto georeferenziate. La posizione dei piani di proiezione può essere controllata attraverso l'inserimento di specifiche coordinate, come è avvenuto per questo lavoro (fig. X).

Il processo di elaborazione permette di ottenere delle ortofotoproiezioni in formato jpg e dei files *dxf*, nei quali le immagini mosaicate sono correttamente orientate nello spazio e possono essere importate su Autocad per la loro

vettorializzazione. Come già detto, il software supporta delle nuvole di punti, esito delle tecniche LiDAR e fotogrammetriche: ricordiamo come la tecnologia LiDAR e la tecnica fotogrammetrica, poiché generano nuvole con valori radiometrici, a loro volta restituiscono delle ortofoto colorate.

Al fine di ottenere degli elaborati grafici il più possibile completi, sono stati individuati più piani di proiezione che hanno consentito l'ottenimento di altrettante ortofotoproiezioni. La presenza di numerosi piani di sezione permette di studiare l'oggetto architettonico in modo completo e approfondito, analizzandone e restituendone le diverse articolazioni nello spazio (ad esempio, come si vedrà in seguito, ai fini dell'analisi della consistenza muraria della cinta fortificata, sono stati individuati cinque piani di sezione), oltre a garantire l'ottenimento di elaborati grafici attendibili. Per la restituzione degli elaborati grafici 2D, in aggiunta alle immagini raster, si possono utilizzare anche gli ortofotomosaici generati a partire dalle proiezioni di un modello tridimensionale texturizzato. Una parte del lavoro di vettorializzazione ha sfruttato questo metodo: all'interno del software Agisoft Metashape l'estrazione degli ortofotomosaici prevede l'individuazione di un piano di proiezione (parallelo al fronte murario oggetto di indagine nel caso del presente studio). Il sistema di riferimento globale nella maggior parte dei casi, non permette l'estrazione ortogonale della facciata di interesse. Perciò, per individuare un piano di proiezione parallelo al fronte oggetto di analisi, è stato necessario definire un sistema di coordinate locali attraverso l'individuazione di tre punti nello spazio.⁷³ Si riporta di seguito uno scema rappresentativo.



73 Cfr. Calantropio E., Sammartano G., Spano N., Digital Photogrammetry. SfM and image matching EXE: Metashape SW, a.a. 2019 - 2020, pp.22 - 24.

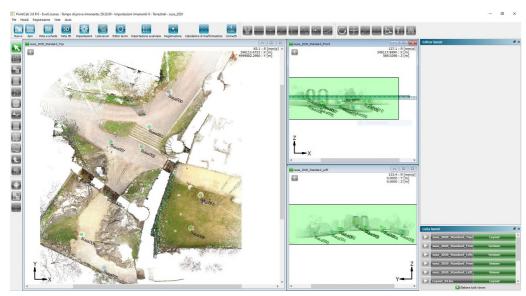


Fig. 51 Individuazione dei piani di sezione sulla nuvola LiDar attraverso il software Pointcab 3.8

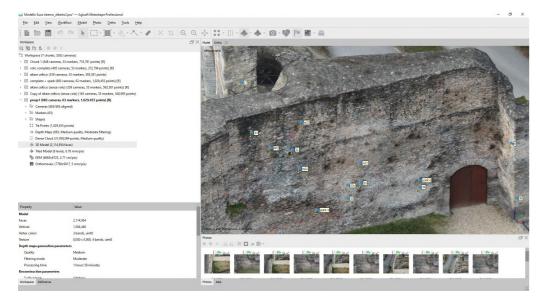


Fig. 52 Determinazione del piano di proiezione secondo le coordinate X,Y,Z per l'ottenimento di una ortofotoproiezione del modello fotogrammetrico sul software Agisoft Metashape3.8

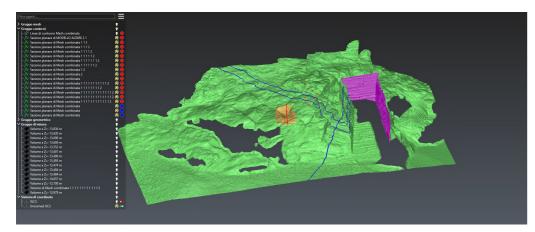


Fig. 53 Tracciamento dei piani di sezione e calcolo volumetrico delle superfici sul modello mesh dell'altare a coppelle con il software 3DRehaper, dallo stesso modello è stato possibile estrarre anche le curve di livello

Fig. 54 L'elaborazione bidimensionale dell'altare sacrificale è stata possibile grazie al modello 3D ottenuto con tecniche fotogrammetriche: attraverso il software *3DReshaper* è stato possibile estrapolare, in primo luogo, le curve di livello secondo intervalli definiti da piani orizzontali (a).

Successivamente, sullo stesso modello, sono stati indicati dei piani di proiezione verticali che hanno permesso di ottenere i profili della roccia coppellata e delle singole cavità (b)

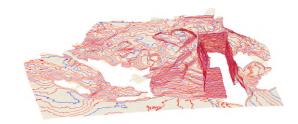


Fig. 55 Estrapolazione del profilo delle mura da nuvola LiDAR, secondo un piano orizzontale passante a 579.42 metri s.l.m, ovvero 2.65 metri rispetto allo zero relativo.





Fig. 56 Estrapolazione del profilo delle mura da nuvola Fotogrammetrica, secondo un piano orizzontale passante a 579.42 metri s.l.m, ovvero 2.65 metri rispetto allo zero relativo.

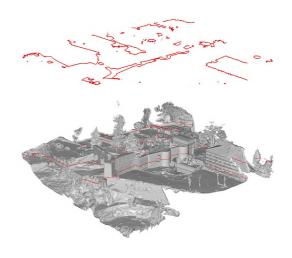


Fig. 57 Planimetria del sito oggetto di indagine con indicazione delle sezioni degli oggetti analizzati. La quota relativa 0 corrisponde all quota ortometrica 576.7660 metri s.l.m. 0 Fig. 58 Sovrapposizione delle linee di sezione derivanti dall'intersezione di un piano orizzontale con le nuovole LiDAR (nominalmente più accurato) e Fotogrammetriche. Le due sezioni, georiferite nello spazio hanno un dato Lidar distacco di pochissimi centimetri. dato Fotogrammetrico

3.2.1

L'altare celtico coppellato

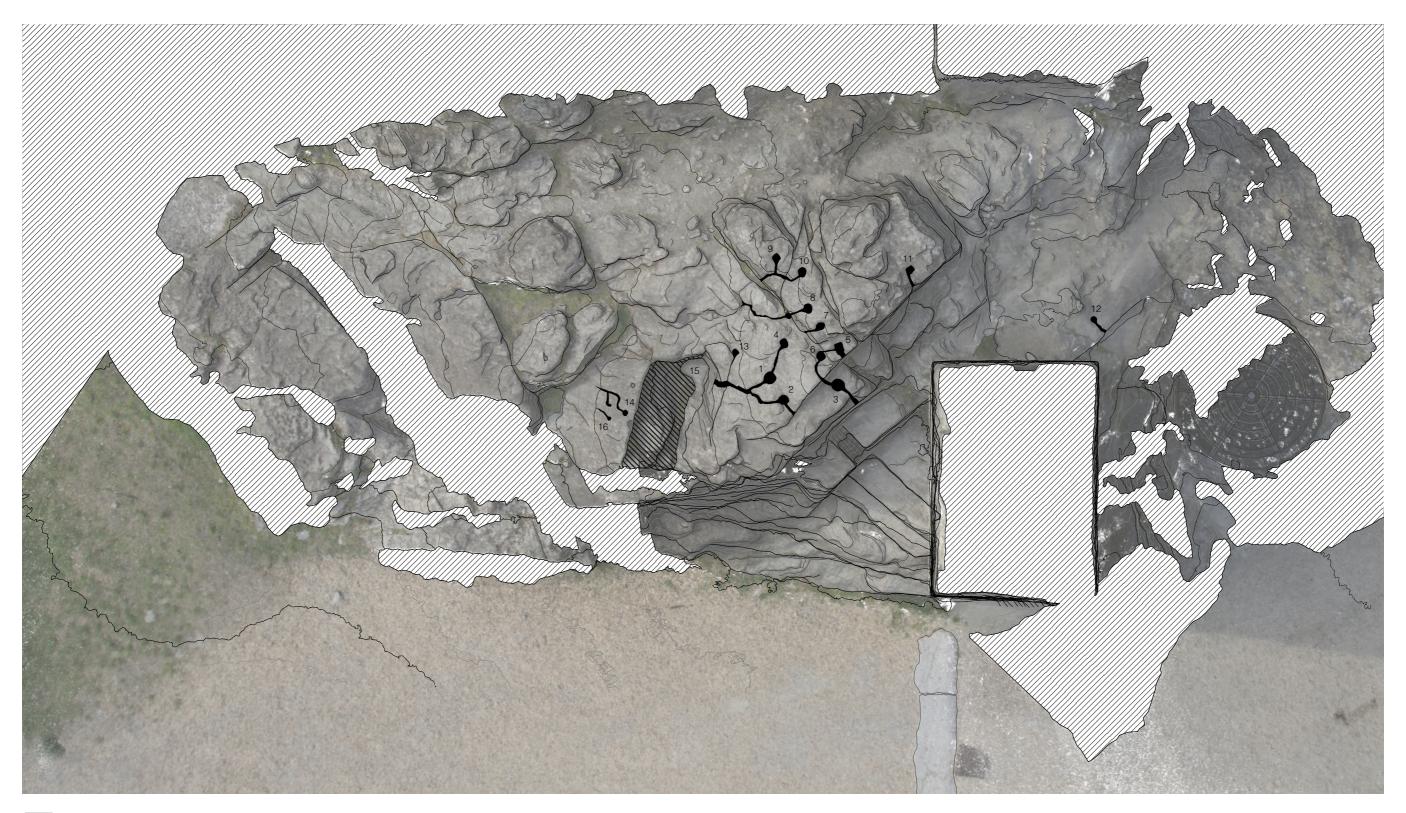
L'ara sacrificale, oggetto del rilievo metrico 3D, è situata in una posizione sopraelevata rispetto all'antico foro romano, in adiacenza ai piloni dell'acquedotto e nelle immediate vicinanze del muro di cinta di epoca romana. L'altare è stato ricavato da una massa rocciosa e si caratterizza per la presenza di numerose coppelle scavate nella pietra.

La volontà di indagare più a fondo questo manufatto accoglie l'iniziale intento di Sandro Caranzano che già in precedenza aveva rimarcato la «[...] necessità di ulteriori verifiche, ad esempio effettuando la prima rilevazione puntuale della roccia coppellata e uno studio analitico delle scalpellature [...]»⁷⁴. Inoltre uno studio più approfondito potrebbe chiarire la natura del "taglio" netto applicato alla roccia, (probabilmente) realizzato per aprire un varco sulla Via delle Gallie.

Questi sono i motivi per cui, durante la campagna di rilievo, è stata riservata una particolare attenzione a questa emergenza archeologica, che ancora oggi è fonte di interesse ma allo stesso tempo di incertezze e lacune.

Per la restituzione bidimensionale dell'oggetto sono state utilizzate le nuvole acquisite con tecnologia LiDAR e fotogrammetrica. In particolar modo, l'attenzione è ricaduta sulla porzione più a nord, caratterizzata dalla presenza del maggior numero di coppelle ed è stata restituita generando delle immagini raster a partire da nuvole ottenute con fotogrammetria close-range. Si rimarca che, per l'ottenimento delle tre sezioni della roccia coppellata (sez. A, B, C), a differenza di quanto si è detto precedentemente, è stato utilizzato il modello 3D texturizzato e non la nuvola di punti: attraverso il software 3DReshaper è stata ottenuta una sezione, che è stata infine integrata con l'ortofoto generata con Pointcab3.8, avente le medesime coordinate. Si riportano di seguito gli elaborati.

⁷⁴ CARANZANO S., *Op.cit.*, 2019, p. 18.



Dato non rilevato con tecnica Close-Range

Coppelle e canaletti

vaschetta di raccolta
Coppelle da verificare

Incisione sulla roccia

Curve di livello con passo di 10 cm

Fig. 59 Rilievo dell'altare coppellato con ortofotopriezione - scala 1:50

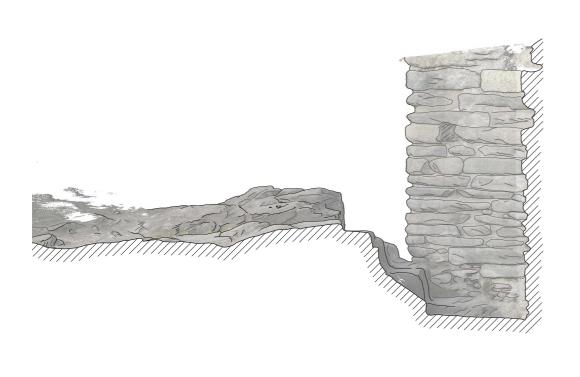
0 0.5 1 2.5 m

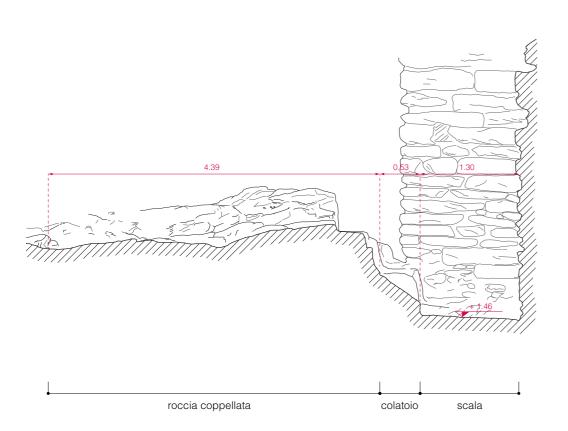


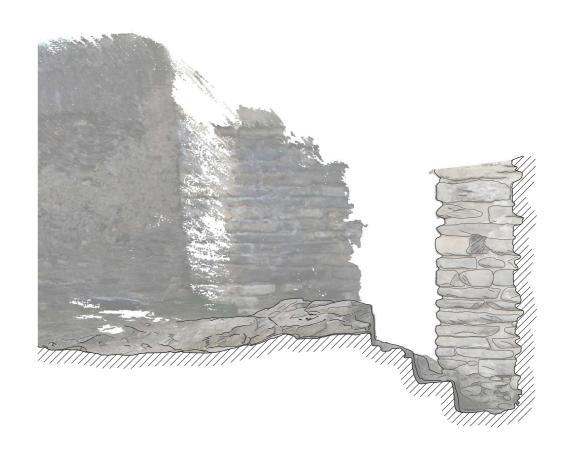


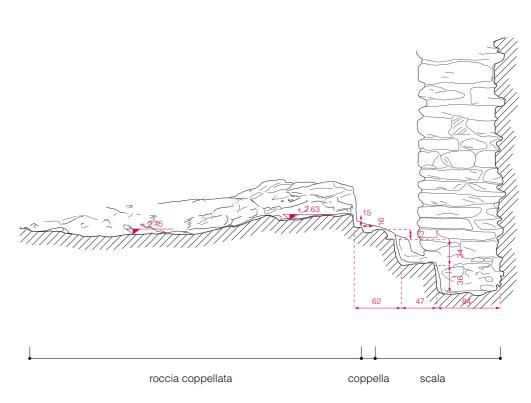


Fig. 62 Sezione B - B con ortofoto (in alto) e architettonica (in basso) - scala 1:50





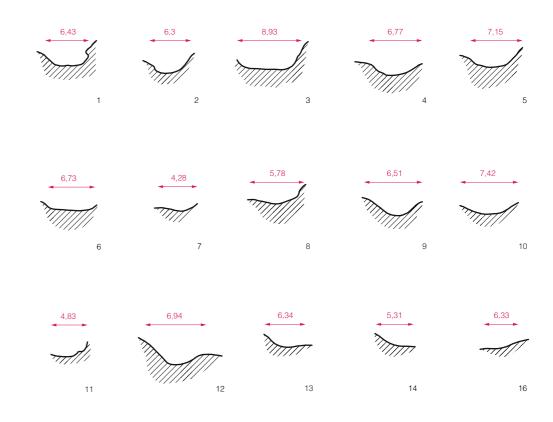






pilone dell'acquedotto

roccia coppellata



scala

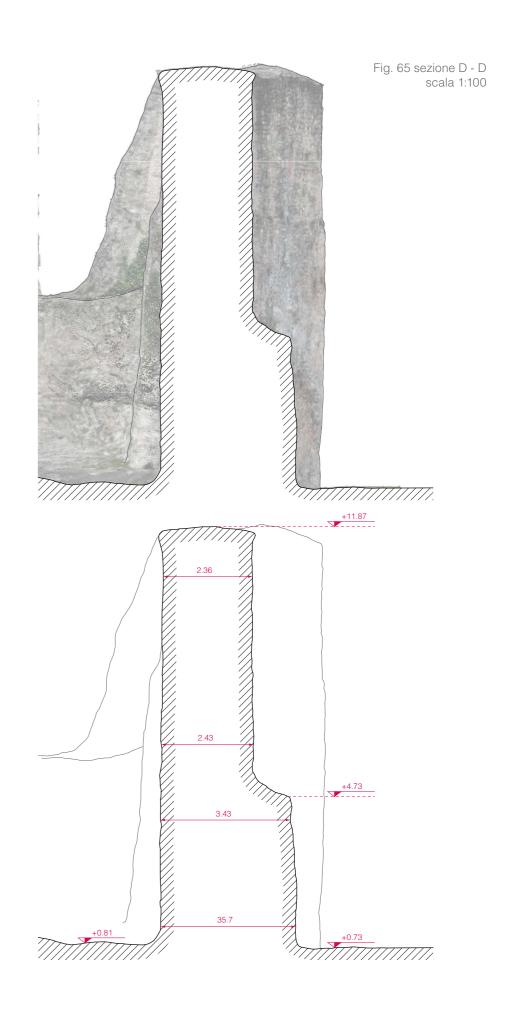
3.2.2

Il tratto occidentale della cinta fortificata

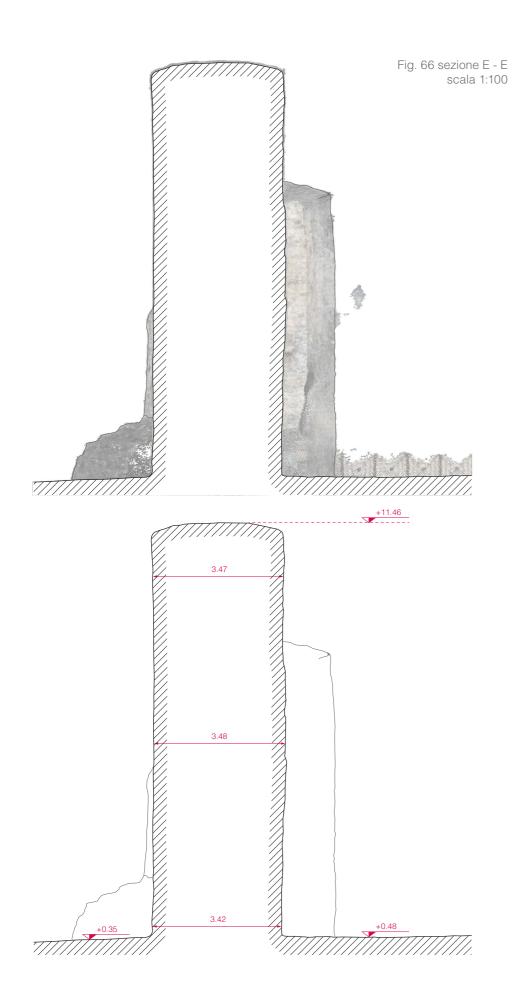
Il tratto di mura che verrà analizzato nel capitolo successivo è quello rivolto a nord-ovest, e comprende la porzione che si inserisce tra l'arco di Augusto e le gli archi dell'acquedotto di Susa.

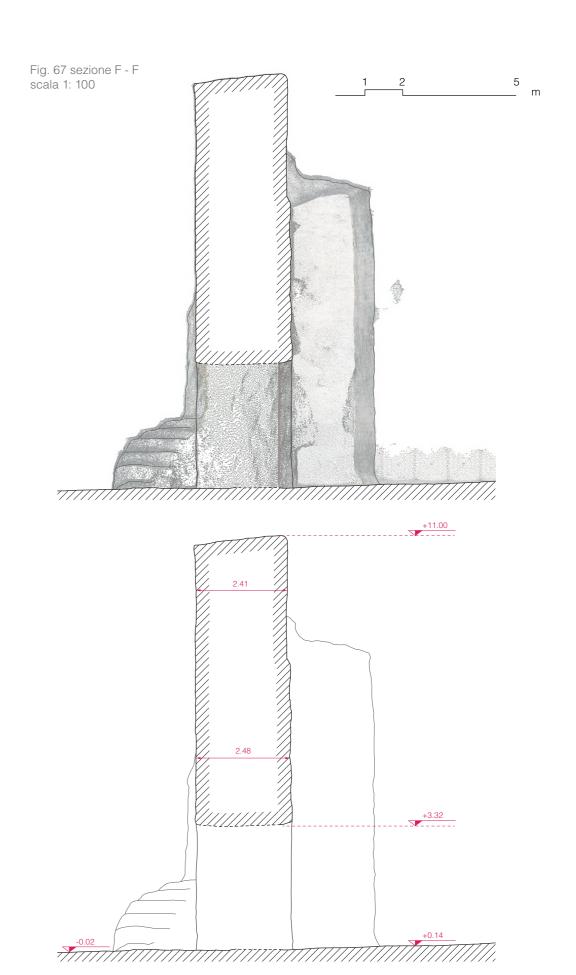
L'intento del presente lavoro è quello di condurre un'analisi stratigrafica relativa ad una porzione del muro sopra citato (in particolare il paramento rivolto verso il cortile del castello, in corrispondenza del pilone dell'acquedotto), per la quale il presupposto fondamentale è l'acquisizione di un supporto grafico bidimensionale di elevata qualità. Attraverso la fotogrammetria UAV è stato possibile ottenere dei fotogrammi con elevato grado di dettaglio, in vista di una scala di rappresentazione molto accurata. Per questo motivo, per la rappresentazione del prospetto interno è stato utilizzato un ortofomosaico prodotto a partire da un modello 3D texturizzato.

Mentre la tecnologia LiDAR è più adatta per le valutazioni strutturali, grazie al suo elevato grado di dettaglio geometrico, nel presente lavoro si è scelto di utilizzare il metodo fotogrammetrico. Qualora «[...] il dettaglio, la cromia, i valori stilistici e il possibile degrado siano gli elementi da analizzare attentamente nei conseguenti prodotti il metodo fotogrammetrico e le ortofotoproiezioni di fotogrammi orientati che possono facilmente garantire dimensioni del pixel pari a 1 mm, sono di gran lunga le più consigliabili e preferite[...]». Dal modello fotogrammtrico è stato possibile ottenere un'ortofoto utilizzata per la mappatura delle unità stratigrafiche (vedi pag. 139) e le seguenti sezioni.



⁷⁵ Perri S., Spanò N., Ortofoto e modelli 3D ad alta risoluzione per la valutazione del degrado di murature affrescate. Il Cappellone della basilica di San Nicola di Tolentino, in «L'esperienza interdisciplinare della task force del Politecnico di Torino per il terremoto del Centro Italia (2016 - 2017). Sviluppi e prospettive», Atti e Rassegna Tecnica dell Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, LXXIII-3, 2019, p. 223.





La Geomatica per una lettura dei caratteri costruttivi dell'architettura

Nel panorama delle ricerche archeologiche del segusino, in particolare per quanto riguarda lo studio e l'analisi dei paramenti murari della cinta fortificata della città, sono stati condotti non pochi studi nel corso degli anni, anche se numerose restano le incertezze ed è comunque difficile, in linea generale, giungere ad informazioni certe riguardanti la datazione e la natura dei materiali impiegati. Per sopperire, seppur in parte, a queste lacune si è deciso, nell'ambito del presente lavoro di tesi, di evidenziare le potenzialità offerte dalla geomatica e di sfruttarle per interpretare il manufatto e leggerlo "oltre il visibile", grazie anche al fatto che a Susa le mura sono molto ben conservate, a differenza di altri casi in territorio piemontese di cui si è conservato poco o nulla.

Si è scelto di condurre un'analisi del costruito e di applicare il metodo stratigrafico allo studio di un piccolo tratto del muro occidentale, per tentare di comprendere le relazioni costruttive che intercorrono tra le parti e quali siano state le vicende occorse al manufatto nel corso dei secoli fino ad oggi.

Con un rilievo speditivo, come in quello condotto per la presente tesi, è possibile condurre un'analisi completa del manufatto, analizzandolo sotto vari aspetti: calcoli volumetrici, redazione di piante e sezioni, studio dei caratteri morfologici e materici, stratigrafia.

4.1

Le mura fortificate di Susa: tra i modelli romani e la loro diffusione nell'Italia settentrionale

Se nel primo capitolo della presente tesi sono già state descritte le principali caratteristiche morfologico-dimensionali della cinta fortificata di Susa, qui l'attenzione è rivolta prevalentemente ai suoi aspetti più materici e di dettaglio, cercando di costruire un quadro quanto più esaustivo, nonostante le difficoltà di lettura e comprensione del manufatto, che possa venire incontro all'analisi stratigrafica, anche facendo dei confronti, ove possibile, con casi analoghi presenti sul territorio. Ai fini della conoscenza delle caratteristiche più strettamente materiche del perimetro murario posto a delimitare il centro urbano di Segusio, i lavori di ampliamento del locale del seminario (presso la cattedrale di San Giusto) ed i relativi scavi occorsi nel luglio 1898 rappresentano certamente un momento di cruciale importanza. Il carattere "distruttivo" di questo intervento ebbe notevoli vantaggi. In quell'occasione venne infatti demolito un piccolo tratto del muro di cinta: la possibilità di conoscere finalmente la consistenza materica del paramento permise di poter avanzare delle ipotesi più veritiere circa la loro attribuzione cronologica, e di smentire al contempo le supposizioni precedenti all'analisi diretta, le quali facevano risalire le mura all'età gotica/ medievale. L'archeologo Antonio Taramelli, che si occupò di analizzare a fondo i reperti materici rinvenuti, riporta che «Nel materiale di riempimento di quel muro vennero trovati vari frammenti di marmi appartenenti alla decorazione ed alla struttura di antichi monumenti di età romana, e che furono messi a contributo per l'erezione della cinta stessa»⁷⁶. Questa informazione, e cioè che per la

⁷⁶ Taramelli A., Susa: note archeologiche segusine: notizie dagli scavi: luglio 1898, Atti della R. Accademia dei Lincei. Memorie della Classe di scienze morali, storiche e filologiche, 1898, Serie 5, Annata 295, vol. VI, p. 263.

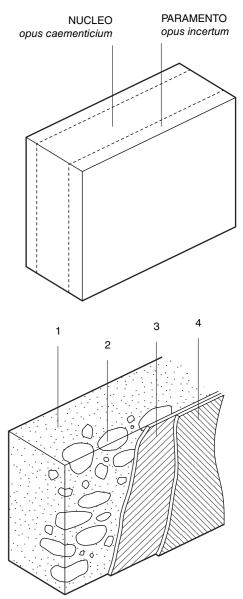
costruzione delle mura siano stati impiegati materiali di "recupero", compare già negli scritti di Giovanni Ponsero del 1847: «Ogniqualvolta qualche piccola parte del recinto della città vien demolita, per poca attenzione che vi si faccia, si conosce subito che quelle mura furono fabbricate per intero con ruine di ruine». 77 Ponsero riporta ancora «I pochi avanzi di quelle mura che rimangono in piedi presentano per ogni dove non dubbie tracce d'essere state elevate con materiali, che avevano già servito ad altri usi. I rimasugli di quell'avventato disfacimento giacciono ammucchiati parte a sud, e parte a sud-ovest del castello». 78

Le testimonianze di questi due studiosi sono dunque molto preziose in quanto ci permettono di conoscere la consistenza muraria dei paramenti fortificati di Susa, altrimenti non apprezzabile dalla sola analisi stratigrafica (che per sua natura ha carattere non invasivo), e di comprendere meglio la logica che ha presieduto la loro costruzione.

La tecnica edilizia sembra essere quella dell'opus caementicium (opera cementizia), inventata dai Romani e caratterizzata dall'uso del cementizio, introdotto proprio agli inizi del III secolo per la costruzione degli edifici. La scelta di utilizzare materiali, probabilemente provenienti dal fiume Dora, quali ciottoli di fiume, deriva dalla disponibilità in loco e dalla loro economicità. Si tratta nello specifico di una muratura in concrezione, in cui le due facce esterne del paramento (costituite da ciottoli e malta) hanno svolto la funzione di cassaforma per la costruzione del nucleo interno. Per formare quest'ultimo viene utilizzata una malta mescolata con frammenti lapidei, ciottoli e materiali di reimpiego. Una volta ben battuto comincia a manifestarsi il fenomeno della cristallizzazione/ presa in cui nucleo e paramento iniziano a collaborare tra di loro: questo porta alla concrezione dell'insieme, da cui deriva la denominazione di "muratura in concrezione"

Da un punto di vista strutturale la porzione portante risulta essere unicamente quella del nucleo interno i cui paramenti giocano il ruolo di casseforme, cosicché qualora si verifichino dei fenomeni di distacco di parti della facciavista, ciò non comprometterebbe la stabilità della struttura.

I due paramenti esterni sembrano essere realizzati secondo la tecnica dell'opus incertum, caratterizzata dalla messa in opera di ciottoli e pietre aventi dimensioni variabili, levigati o spaccati e disposti su filari sub-orizzontali (in sporadici casi si attesta la presenza di elementi laterizi di non certa datazione e attribuzione). La muratura presenta ancora in più punti, concentrati nella fascia inferiore, delle tracce di malta da rivestimento



- 1 Struttura in opus caementicium
- 2 Paramento in opus incertum
- 3 Primo strato di malta
- 4 Secondo strato di malta/intonaco

⁷⁷ Ponsero G., 1847, *Op cit.*, p. 16.

⁷⁸ *Ivi*. p. 20.

⁷⁹ Per un maggior approfondimento sulle tecniche edilizie romane si rimanda a: Adam J.P., L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche, Longanesi, Milano, 1994

Nell'intento di definire un quadro più ampio che non si limiti al solo caso di Susa, ma possa trovare dei parallelismi con altri contesti italiani, un contributo importante è offerto da Ermanno Ferrero, il quale riporta: «Per costruire questa cinta muraria sono stati impiegati frammenti di edifici, sculture, iscrizioni; tutto quello che si aveva a disposizione [...] Si è proceduto in questa stessa maniera in altri luoghi, nella costruzione rapida delle cinte fortificate delle città romane al III secolo; gli architetti della cinta fortificata di Roma, cominciate sotto Aureliano, verso il 272, non hanno agito in modo diverso». Pertanto sappiamo che anche a Roma, all'incirca negli stessi anni, vengono costruite le mura fortificate così come a Susa, anche se ovviamente con tecniche costruttive differenti perché differente è il contesto geografico di riferimento.

Limitatamente al territorio piemontese e valdostano, anche i centri di Ivrea, Vercelli ed Aosta sono dotati di mura romane di fortificazione. Il caso di Susa, però, risulta particolarmente "fortunato" in quanto la cinta fortificata è ancora oggi in larga parte conservata, mentre ad esempio a Vercelli sono state rinvenute esigue porzioni delle mura.

Un recente contributo di Chiara Zanforlini⁸⁰ conferma l'attribuzione delle mura di Susa al III secolo d.C., giustificata dalle urgenti motivazioni militari di difesa del passo del Monginevro dai barbari. Nello scritto l'autrice rimarca come la crisi economica e politica di quegli anni fu la motivazione principale che spinse i Romani ad utilizzare materiali di reimpiego.

Ad una prima e rapida osservazione dei paramenti murari salta subito all'occhio un vasto impiego di materiali lapidei, per lo più ciottoli, messi in opera senza essere stati sottoposti a lavorazioni particolari. Murature di questa tipologia sono attestate, secondo quanto affermato dalla Zanforlini⁸¹, anche ad *Augusta Taurinorum*, *Augusta Praetoria* e *Novaria*. Si riporta di seguito uno schema che riassume le tecniche costruttive impiegate nei diversi centri sopra citati.

	LUOGO	DATAZIONE	TECNICA COSTRUTTIVA		MATERIALI
1	Augusta Taurinorum Torino	metà del I sec. d.C.	N: PE: Pi:	opus caementicium opus testaceum opus vittatum	ciottoli laterizi frammenti lapidei
2	Augusta Praetoria Aosta	Età tardo repubblicana	N: PE:	opus caementicium opus quadratum	ciottoli frammenti conci di pietra
3	Novaria Novara	Età tardo repubblicana	PE: Pi:	opus testaceum opus vittatum	ciottoli laterizi
4	Segusium Susa	III sec. d.C.	N: PE: Pi:	opus caementicium opus tncertum opus vittatum	ciottoli conci di pietra materiale di reimpiego

nucleo

PE: paramento esterno Pi: paramento interno

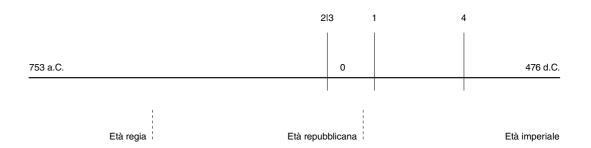


Fig. 68 schematizzazione delle tecniche costruttive, utilizzo dei materiali e datazione delle cinte murarie dei casi confrontati

⁸⁰ ZANFORLINI C., *Mura e porte delle città romane in Piemonte*, Società Friulana di Archeologia, 2014 81 *Ibidem*

4.2

L'analisi di planarità del tratto nord-occidentale del muro di cinta

Questa tipologia di analisi è stata condotta al fine di verificare se la porzione di muratura in concrezione oggetto di studio fosse fuori-piombo o interessata da fenomeni di spanciamento. Spesso infatti accade che in tali tipologie di paramenti murari la cortina esterna sia soggetta localmente a problemi di distacco, i quali a loro volta causano infiltrazioni d'acqua e più in generale fanno sì che il degrado progredisca rapidamente.

Dalla nuvola LiDAR è stato generato un modello *mesh* tridimensionale del tratto nord-occidentale del muro in concrezione; una volta ripulito dagli elementi di disturbo (vegetazione rampicante) è stato possibile, grazie alle potenzialità del software *3D-Reshaper*, effettuare una analisi di planarità della superficie, misurando la distanza tra la *mesh* e un piano verticale passante per il punto medio del muro. Come possiamo osservare il grafico rappresenta un range che varia da -40 a +60 cm e la maggior parte dei valori (56% + 39%) si attesta su una variazione dal piano verticale di 3.5 cm (vedi fig. 69).

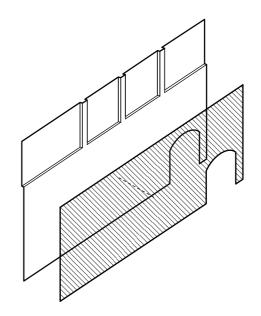
Allo stesso modo, come elemento di verifica, è stata realizzata una mappatura delle curve di livello, sulla base dello stesso modello tridimensionale sopra citato. Al fine di verificare quali elementi fossero in aggetto piuttosto che in depressione, per tali curve è stato scelto un *range* pari a 5 centimetri, tuttavia nell'elaborato grafico ottenuto si è scelto di quotare solo le curve intervallate da 10 centimetri.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti: il primo verifica la planarità mediante gradienti di colore, il secondo invece utilizza il segno grafico delle curve di livello sovrapposte direttamente all'ortofotoproiezione.

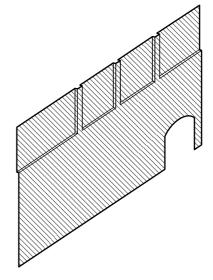
Dagli elaborati ottenuti si registrano spanciamenti di entità trascurabile, se

non del tutto nulli. La superficie appare pertanto quasi completamente piana.

Nonostante non abbia portato a degli esiti inaspettati, questa tipologia di analisi è comunque interessante, in quanto è uno strumento integrativo che consente di effettuare l'analisi di planarità laddove l'occhio umano non riuscirebbe a coglierla.



Analisi della deviazione della superficie dal piano verticale (si considera la fascia sottostante)



Analisi dei fuori piombo attraverso le curve di livello (su tutta la superficie del muro)

Fig. 69 Analisi di deviazione dal piano verticale del tratto di muro nord-occidentale. Dell'intero tratto si è considerata la fascia inferiore ed escluso quella superiore (compresa di paraste e setti murari) poiché giacciono su piani diversi. Si nota dal grafico come la maggior parte dei valori si attesti su una variazione di 3.5 cm. Data la natura del paramento in *opus incertum*, non appaiono dunque spanciamenti evidenti.

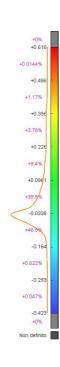
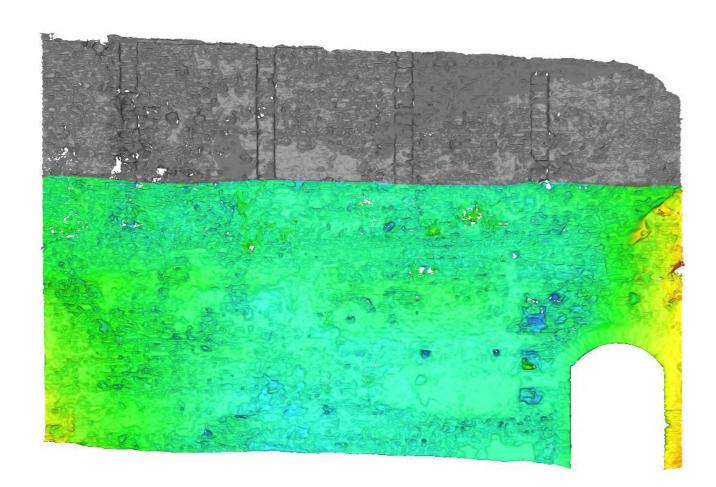
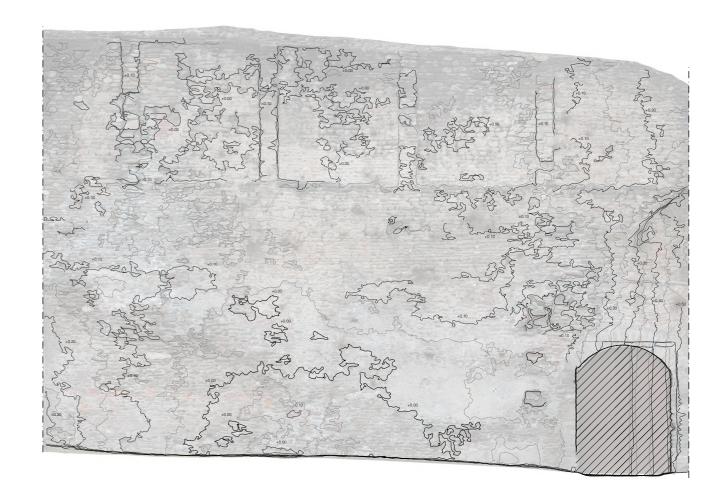


Fig. 70 Analisi dei fuori piombo del fronte interno del tratto nord-occidentale del muro di cinta. Si indicano sull'ortofotoproiezione le curve di livello con un passo di 5 cm, evidenziate quelle con passo 10 cm





4.3

L'analisi stratigrafica

L'analisi stratigrafica applicata agli edifici o, come la definisce la studiosa Anna Boato, "l'archeologia dell'elevato/ del sopravvissuto"82, trae le sue origini dalla geologia e dall'archeologia, utilizzandone il medesimo approccio scientifico ed analitico per studiare i manufatti e tentare così di ricostruirne la seguenza cronologica delle diverse fasi costruttive.

L'archeologo inglese Edward Harris, autore del saggio intitolato "Principi di stratigrafia archeologica" edito nel 1979, propone di applicare la disciplina degli scavi ai paramenti murari, dando vita ad una metodologia che ben presto si diffonde in modo rapido e capillare in tutta Europa.

Così come avviene per le discipline geologiche ed archeologiche, basate entrambe sul concetto di sedimentazione degli strati, anche un edificio è visto come «[...] il luogo e il prodotto di una sedimentazione» a cui applicare gli stessi principi, ovviamente senza operare azioni distruttive, ma limitandosi ad una lettura attenta e scrupolosa di ciò che è visibile.

Quando ci si approccia per la prima volta alla disciplina stratigrafica bisogna innanzitutto affinare la propria sensibilità visiva nell'osservare i manufatti e nel coglierne tutti i dettagli, anche quelli apparentemente insignificanti: un'architettura, di qualsiasi tipologia essa sia, è infatti una fonte materiale diretta che dobbiamo saper interrogare nel modo adeguato, per arrivare a comprenderne il significato e le relazioni che intercorrono tra le parti che la compongono. Nell'applicazione diretta della metodologia stratigrafica lo studio materico, per risultare attendibile, deve essere necessariamente accompagnato

da una solida ricerca documentaria/archivistica; tuttavia questi due momenti, come ribadisce Francesco Doglioni, necessitano di essere separati affinché le conoscenze derivanti dalla consultazione delle fonti non influenzino la lettura dei paramenti murari, che deve essere il più critica ed oggettiva possibile. «Si cerca [...] di far procedere separatamente lo studio del manufatto dallo studio delle fonti scritte, per non confondere tra loro dati di diversa natura e per acuire la sensibilità nella lettura diretta del manufatto. L'attenzione deve così concentrarsi soprattutto sui nessi costruttivi tra le parti e sulle modalità e tecniche che caratterizzavano ciascuna di esse, e dar luogo ad un autonomo percorso di approfondimento»⁸⁴. Bisogna comunque tenere a mente che in realtà la stratigrafia è una disciplina "aperta" a continue revisioni e aggiornamenti, la quale trova una definizione più corretta nel termine "ipotesi" piuttosto che in quello di "verità assoluta".

84 Doglioni F., 1997, Op. cit., p. 34.

⁸² Boato A., L'archeologia in architettura. Misurazioni, stratigrafie, datazioni, restauro, Marsilio, Venezia, 2008

⁸³ Doglioni F., *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, Lint Editoriale Associati, Trieste, 1997, p. 21.

4.3.1

La metodologia applicata al caso studio: il tratto nord-occidentale del muro di cinta

Nell'ambito del presente lavoro di tesi si è scelto di applicare la disciplina stratigrafica al tratto nord-occidentale della cinta muraria, per tentare di ripercorrere le differenti fasi costruttive e definire la cronologia relativa, pur con la consapevolezza della possibilità di una riuscita anche solo parziale dell'operazione. Le tecniche della geomatica per l'acquisizione dei dati si sono rivelate fondamentali, dal momento che la stratigrafia necessita di elaborati grafici di altissima qualità per poter leggere in modo accurato tutti gli elementi costruttivi. Quale supporto grafico per la mappatura delle unità stratigrafiche murarie è stata utilizzata l'ortofotoproiezione acquisita con le tecniche fotogrammetriche mediante il software *Agisoft Metashape*: il prospetto ottenuto, infatti, è dotato di elevata qualità e nitidezza e consente di leggere agevolmente la consistenza materica e i caratteri cromatici dei diversi materiali. Tuttavia, pur disponendo di un supporto grafico così accurato, non sono state poche le difficoltà incontrate in corso d'opera, a causa della natura stessa del paramento murario che, come detto precedentemente, è eterogenea e mista (vedi figg. 72, 73).

Il primo step è stato rappresentato dall'individuazione delle unità stratigrafiche murarie (USM), intese come le porzioni di muratura aventi le medesime caratteristiche e quindi imputabili ad un'unica azione costruttiva. Secondo la prassi operativa dell'analisi stratigrafica applicata agli elevati, le unità individuate sono state distinte in quattro categorie: positive, negative, di rivestimento ed elementi architettonici. Si parla di USM positive quando esse sono il risultato di un'azione costruttiva, di USM negative quando sono invece l'esito di asportazione di materiale (dovuta a crolli oppure ad operazioni distruttive).

Le unità stratigrafiche di rivestimento sono rappresentate dagli intonaci, dagli stucchi, e altri tipi di rivestimento. Infine vi sono gli elementi architettonici, come archi, paraste, mensole⁸⁵.

Sul prospetto sono state individuate 58 unità stratigrafiche positive, 37 unità stratigrafiche negative, 13 unità stratigrafiche di rivestimento e 11 elementi architettonici. Per quanto riguarda la codifica, per maggiore chiarezza ed immediatezza, si è scelto di indicare le USM positive anteponendo, al numero progressivo, la lettera "P" (P1, P2, P3...), la lettera "N"" nel caso di USM negative (N1, N2, N3...), la lettera "R" nel caso di unità stratigrafiche di rivestimento (R1, R2, R3...) e infine la sigla EA per gli elementi architettonici (EA1, EA2, EA3...).

Il perimetro che definisce la singola unità stratigrafica muraria (l'interfaccia) è rappresentato da una linea chiusa sottile per le USM positive, quelle di rivestimento e gli elementi architettonici. Nel caso delle USM negative, invece, si è scelto di distinguere l'interfaccia di taglio, definita da una linea chiusa di maggiore spessore, e la superficie negativa, contraddistinta da un retino a linee oblique parallele (nel caso, ad esempio, di una traccia lasciata nel muro da un elemento successivamente crollato).

Il secondo step ha riguardato la definizione dei cosiddetti "rapporti stratigrafici", intesi come le correlazioni che intercorrono tra le differenti unità e che consentono di giungere alla cronologia relativa, ovvero «l'ordine temporale in cui esse [le unità] sono state eseguite» 86. Tali rapporti possono essere di svariata natura (USM che copre/ è coperta da, si appoggia/ gli si appoggia, taglia/è tagliata da, riempie/è riempita da, si lega a oppure è uguale a). Ne deriva che un'unità che si appoggia ad un'altra le sarà successiva, quindi posteriore, come ad esempio, nel prospetto oggetto di analisi, l'unità P32 posta superiormente all'unità P11. Un'unità che è tagliata da un'altra le sarà anteriore (ad esempio l'unità P1 è tagliata da N1, N7, N8, ...), mentre un'unità che si lega ad un'altra le sarà contemporanea (ad esempio P1 e P11). Come

137

⁸⁵ Doglioni F., 1997, *Op. cit.*

⁸⁶ Boato A., 2008, Op. cit., p. 56

scrive Francesco Doglioni «ogni strato ha rispetto ad un altro strato contiguo tre possibili rapporti stratigrafici, riconducibili in termini di cronologia relativa, alla anteriorità, posteriorità, contemporaneità.»⁸⁷ (per la consultazione dei rapporti stratigrafici di ogni singola USM si rimanda a pag. 209)

L'ultima operazione svolta, mirata a consentire una lettura più ordinata e ad avere un quadro complessivo del manufatto analizzato, ha riguardato la redazione di apposite schede di catalogazione per ciascuna USM, contenenti le informazioni riguardanti ciascuna unità stratigrafica e i rapporti di quest'ultima con le unità ad essa adiacenti.

L'individuazione delle unità stratigrafiche, come già accennato in precedenza, è stata più agevole in alcune porzioni del paramento, meno in altre. In molti casi si è giunti alla formulazione di ipotesi, senza la pretesa di arrivare a verità assolute, cercando di interpretare nel modo più corretto possibile le varie consistenze materiche.

Di seguito verranno descritte brevemente alcune delle principali unità stratigrafiche individuate (confrontare figg. 72, 73). Innanzitutto è bene ribadire che il tratto di muro analizzato si compone di due porzioni: la più estesa, quella di destra, arretrata rispetto alla parte di sinistra, in aggetto. Ciò che si evince immediatamente è la presenza, nella fascia superiore del muro, di una serie di elementi verticali identificati come paraste (EA4, EA5, EA6, EA7, EA8, EA9), intervallati dalle rispettive specchiature e posti al di sopra di una sorta di mensola marcapiano (EA11). Non è chiara la funzione di tali elementi, ma si ipotizza che i numerosi fori rintracciati nella fascia marcapiano (identificati come buche pontaie) possano essere stati i fori di alloggiamento di una struttura provvisionale poi demolita (un camminamento ligneo?).

Spostandosi nella porzione in basso a destra, in corrispondenza del portale di accesso, si notano chiaramente gli elementi architettonici, costituiti dai due piedritti (EA1, EA2) e dall'arco soprastante (EA3). Quest'ultimo è evidentemente

l'esito di un intervento successivo rispetto alla fase di costruzione del muro e lo si può percepire facilmente dalla colorazione più chiara e dalla stilatura dei giunti. Per quanto riguarda la muratura adiacente a sinistra, è stata individuata l'unità P1 nella porzione bassa del prospetto, in quanto caratterizzata da una pressoché uniforme colorazione e dimensione dei ciottoli, disposti in filari sub-orizzontali. Numerose porzioni dell'unità stratigrafica risultano essere coperte da uno strato di intonaco di color grigio scuro (R1, R5, R6, R7, R8), che insiste anche sulle unità collocate superiormente. Meno chiara risulta invece essere la natura dei numerosi frammenti di mattone rintracciabili nella porzione a sinistra. Si è scelto di indicare tali laterizi come unità positive (ad esempio P24, P25) poste a riempire un'interfaccia di taglio negativa (N16, N15), ipotizzando dunque che essi siano stati inseriti in un momento successivo all'epoca di costruzione del muro il quale, in linea generale, è costituito prevalentemente da ciottoli e pietrame e non presenta quasi mai dei mattoni.

Nel complesso i paramenti murari non presentano un tessitura specifica ma i ciottoli sono apparecchiati secondo filari sub-orizzontali con molte irregolarità, carattere tipico della muratura in opera mista. Una porzione più regolare, ad esempio, la individuiamo nell'unità P35, composta da ciottoli di dimensione omogenee e disposti su filari orizzontali (una piccola eccezione si può riscontrare in una fila di ciottoli inclinati a 45 gradi, che tuttavia non sono stati identificati come unità stratigrafica a sé stante).

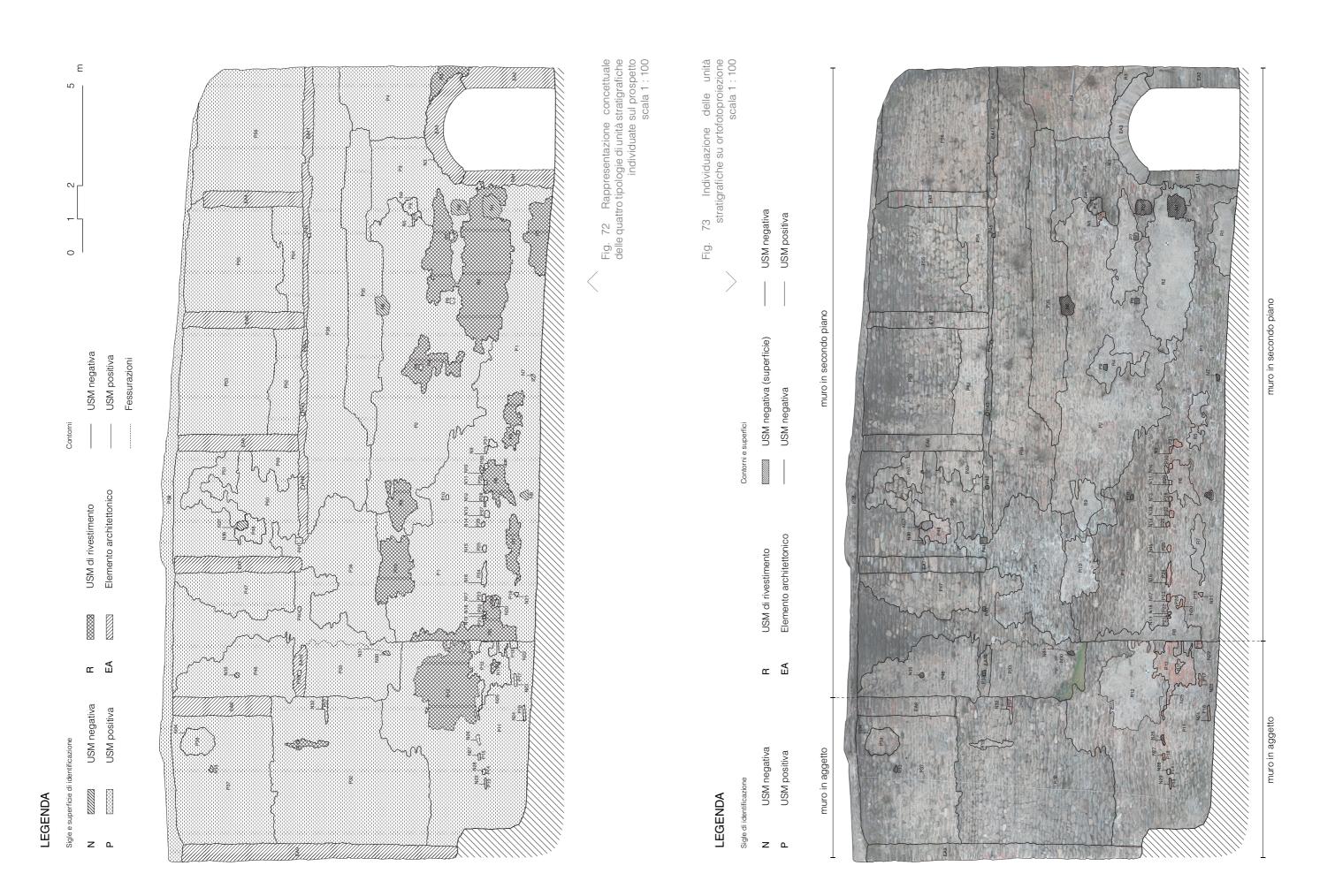
Per quanto riguarda le unità stratigrafica negative, si ritiene utile soffermarsi sulle USM N1 ed N2: identificate come superfici negative, esse rappresenterebbero la traccia di una muratura oggi scompara e identificabile nel progetto di Simeone Chiapusso del 1889 (si rimanda alla fig. 21 del primo capitolo).

139

Fig. 71 Frammento di intonaco rosato individuabile su più porzioni del paramento murario oggetto di analisi.

0 1 2 5 cm





4.3.2

Le schede di catalogazione delle unità stratigrafiche

Di seguito vengono riportate due schede di catalogazione di esempio delle singole unità stratigrafiche. Ciascuna scheda è stata redatta sulla base delle indicazioni fornite dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione della Soprintendenza Archeologica di Roma (ICCD).⁸⁸ Come verrà specificato, per alcune unità tra loro analoghe è stata omessa la scheda, per evitare la ripetizione delle stesse informazioni e avere una sovrabbondanza di informazioni.

Le schede sono strutturate secondo quattro riquadri. Nel primo in alto a sinistra troviamo indicate le codificazioni, le informazioni e la descrizione delle singole USM. Sulla destra, la stesse unità, sono state individuate graficamente mediante un retino (si segnala che per le interfacce di taglio è stata utilizzata una linea più spessa). La parte sottostante è dedicata ad illustrare, da una parte, la sequenza fisica, ovvero i rapporti stratigrafici che intercorro tra le diverse unità, nel riquadro adiacente, con la sequenza stratigrafica, sono definiti i rapporti temporali di posteriorità, contemporaneità e anteriorità.

Codificazione dell USM

P Unità stratigrafica Posi	tiva
----------------------------	------

N Unità stratigrafica Negativa

EA Elemento Architettonico

R Unità stratigrafica di Rivestimento

88 Per le norme specifiche di redazione della scheda si rimanda al seguente sito: http://www.iccd.beniculturali.it/it/ricercanormative/103/documentazione-per-indagini-stratigrafiche

	ce unità	P1				
Tipole	ogia	Unità stratiç	grafica positiva	-	1	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	{ }	30%	
Com	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	P3	The state of the s	3
cor Gli forr	apparecch elementi s	iatura presso i differenziar zza. Presenza	sub-orizzontali, ché irregolare. no per colore, a sporadica di			R2 R1
	si lega a P10, P11, EA1		uguale a			posteriore a
a a	si appoggia a		gli si appoggia P2, P33, P34		afica	
uenza fisica	si appoggia a			8, R9, R10	za stratigrafica	contemporaneo a P10, P11, EA1
Sequenza fisica			P2, P33, P34	N8, N9, N10, I15, N16,	Sequenza stratigrafica	

Codic	e unità	P2		333	3/2	
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		1 5 7	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	5	علط	
Comp	blesso	della cinta t	occidentale fortificata della a, fronte interno	P2 }	P36	P35
piet	rame, con	presenza (di abbondante			1/1/2//
	ta di allettar	mento		~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	\$ \$ \frac{1}{2} \f	FI PI
	ta di allettar	mento	uguale a	20 P/P	3 2	Now P1
mal		mento			afica	posteriore a P1
mal	si lega a	mento	uguale a gli si appoggia	0	a stratigrafica	posteriore a
	si lega a si appoggia a P1	mento	uguale a gli si appoggia P34, P35, P36 coperto da		Sequenza stratigrafica	posteriore a P1

Fig. 74 Scheda stratigrafica di esempio (Unità Stratigrafiche P1, P2)

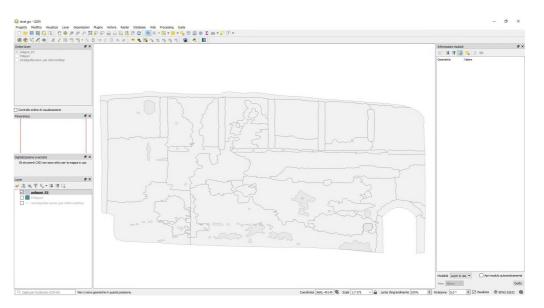
4.4

Trasposizione dei dati stratigrafici su tecnologia GIS

Le informazioni ottenute per ogni unità stratigrafica sono state trasferite in ambiente GIS (Geographic Information System), ovvero un sistema informativo che permette la gestione dei dati spaziali e non. L'analisi stratigrafica degli elevati utilizza le piattaforme GIS come strumento metodologico per archiviare, comparare e rappresentare le unità stratigrafiche⁸⁹. In questo senso le tecnologie GIS risultano essere uno strumento molto utile poiché permetto la gestione delle unità stratigrafiche all'interno un *database* descrittivo, consentendo di esportare le relazione topologiche derivanti dalla vettorializzazione e dalla georeferenziazione degli elementi fisici.⁹⁰ In pratica l'operazione di mappatura, propria dell'analisi stratigrafica, può essere implementata in un ambiente GIS con il vantaggio di collegare gli elementi grafici (vettori o immagini raster) ad un archivio digitale di informazioni (*database*).

Nel presente caso studio, è stato tentato un primo approccio metodologico, cercando di agganciare ad ogni singola USM il *database* di informazioni, quali le relazioni stratigrafiche tra le varie USM e i relativi rapporti cronologici (anteriorità, contemporaneità, posteriorità). La prima operazione per il trasferimento dei dati in ambito GIS ha previsto la vettorializzazione delle singole unità in ambiente CAD sotto forma di poliline chiuse. Queste ultime, esportate in formato "dxf", sono state importate sul software QGis. A questo punto si è proceduto con la conversione delle polilinee in vettori e dunque in poligoni attraverso il comando "da linee a poligoni" (fig. 75).

Fig. 75 Visualizzazione delle polilinee importate e trasformate in poligoni sul software Qgis



La fase successiva ha previsto l'identificazione di ogni unità stratigrafica attraverso l'assegnazione del codice al corrispondente poligono. Per questo motivo nella tabella attributi del vettore è stata generata una colonna dove poter specificare il codice di identificazione.

I passaggi fino ad ora spiegati, attraverso una semplice interrogazione, permettono di visualizzare le singole unità e la distinzione della tipologia di appartenenza (fig.76, 77).

L'intento finale di questo lavoro consiste nella possibilità di interrogare le singole unità stratigrafiche, al fine di poterne visualizzare le informazioni derivanti dal *database*. Questo servirebbe, non solo a individuare i rapporti che intercorrono tra unità, ma anche a stabilirne la relazione temporale. Per mettere a punto questa operazione, il software offre la possibilità di unire al singolo vettore che si vuole tematizzare, una "tabella attributi". All'interno di quest'ultima sono indicate la codificazione, le relazioni stratigrafiche e la sequenza cronologica dell'unità interrogata (nel nostro caso la USM EA11). Si riportano di seguito delle schermate di interrogazione delle unità.

⁸⁹ Beltramo S., Donadio E., Spano A., Stratigraphic Analyses, Historical Evidences and 3D Documentation Tools: Deepening Built Heritage. New researches for historical building sites in Staffarda, IGI Global, 2018, p.2.

⁹⁰ Ibidem.

Fig. 76 Tematizzazione delle singole unità stratigrafiche

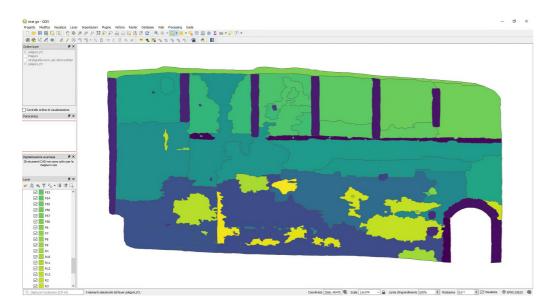


Fig. 77 Tematizzazione delle unità stratigrafiche secondo la tipologia di appartenenza

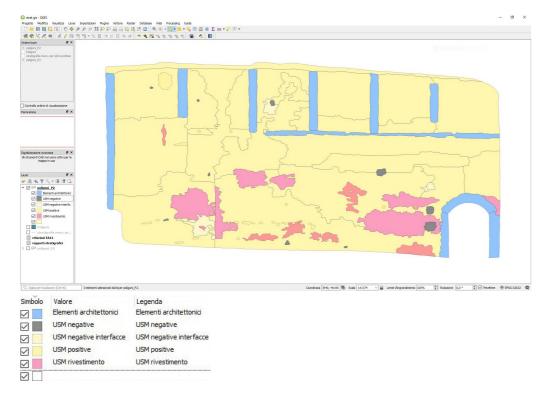
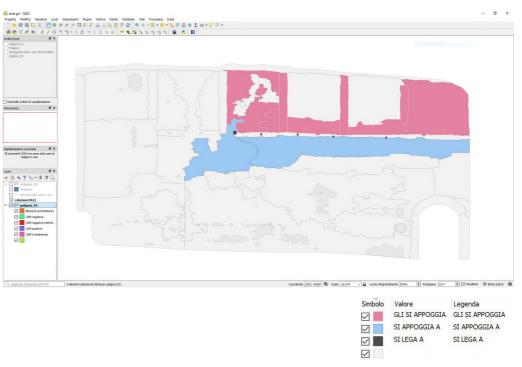


Fig. 78 Interrogazione dell'unità stratigrafica EA11 con visualizzazione dei suoi rapporti con le unità ad essa connesse.



Uno dei vantaggi di questa tecnologia è la facilità di gestione dei dati che consentono una visualizzazione immediata delle singole unità stratigrafiche e dei rapporti che intercorrono tra le une e le altre. In questo senso, attraverso delle tematizzazioni ed delle semplici interrogazioni, è possibile gestire dati di diversa natura, visualizzando le informazioni contenute nelle schede, con il vantaggio di poterle osservare all'interno del loro contesto architettonico.

Conclusioni

Alla luce del lavoro svolto, le tecniche di rilievo utilizzate sono risultate particolarmente efficaci per l'analisi dei manufatti oggetto di studio, fornendone informazioni importanti relative ai caratteri morfologici e contribuendo, allo stesso tempo, a proseguire l'attività di monitoraggio di tali beni.

Le operazioni di *data fusion* hanno permesso di ottenere un modello tridimensionale dal quale è stato possibile effettuare analisi alle diverse scale. A partire da questo modello sono state avviate delle analisi sul costruito, estrapolando gli elaborati più tradizionali (piante, prospetti e sezioni) o lavorando direttamente sullo stesso.

La possibilità di incrociare tra loro i dati e di poterli aggiornare nel tempo fanno di queste tecniche uno strumento che permette di indagare i manufatti architettonici sotto molteplici punti di vista.

E' comunque bene sottolineare come anche la ricerca delle fonti e dei documenti iconografici di varia natura abbiano costituito un momento di non minore importanza che ha affiancato la parte del rilievo metrico, permettendo di individuare meglio i nodi problematici e le questioni aperte, al fine di documentarli e analizzarli nel migliore dei modi.

Il ricorso alle più aggiornate tecniche della Geomatica ha permesso di analizzare sia la roccia coppellata, che è stata rilevata e restituita graficamente con un elevato grado di dettaglio, sia l'adiacente tratto di cinta fortificata.

L'analisi comparata degli elaborati 2D e 3D e la raccolta dei dati morfologici e dimensionali delle coppelle, unitamente allo studio delle sezioni e della direzione di scorrimento dei liquidi, hanno permesso di giungere ad una conoscenza "rinnovata" di un manufatto che era già stato oggetto di precedenti lavori, ma che tuttavia non era mai stato interessato da un'attività di rilievo mirato.

Per quanto riguarda il tratto di cinta fortificata, è stato studiato quello nordoccidentale, in particolare il fronte in affaccio sul cortile del Castello. Su di esso è stata condotta dapprima un'analisi dei fuori piombo, attraverso la quale è stato possibile verificare la planarità del muro.

In un secondo momento si è passati all'analisi stratigrafica, per la quale le

metodologie di rilievo adottate si sono rivelate di grande supporto, avendo esse restituito elaborati grafici bidimensionali e tridimensionali di elevatissima qualità.

In fase conclusiva si è deciso di digitalizzare le informazioni delle singole unità mediante l'utilizzo della tecnologia GIS, in modo tale da facilitarne la gestione e garantirne una visualizzazione immediata.

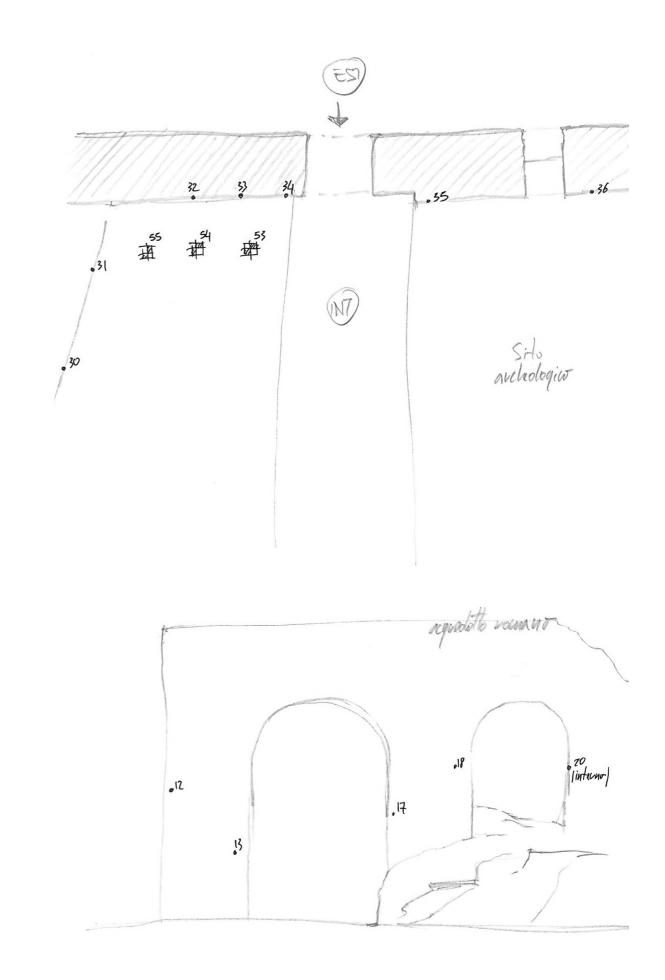
Questo tipo di indagine ha portato da un lato alla definizione di una cronologia relativa, dall'altro, attraverso la tecnologia GIS, alla definizione di un archivio digitale, che potrebbe prestarsi ad eventuali aggiornamenti in futuro.

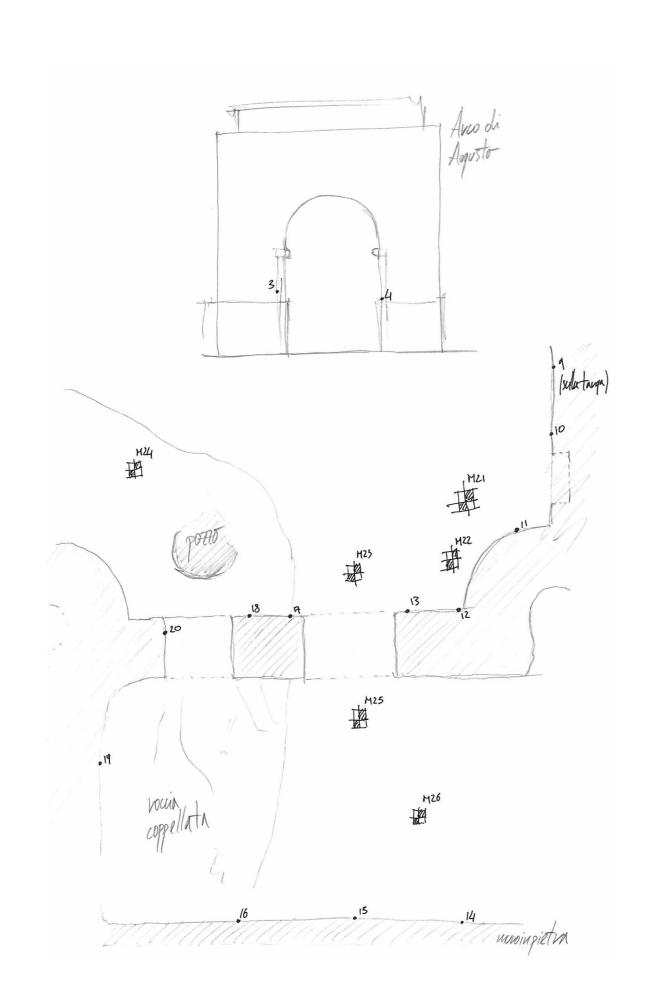
In conclusione, nonostante i risultati ottenuti non siano da ritenersi definitivi, e meriterebbero di essere approfonditi anche avvalendosi di indagini più specifiche, ai fini del processo di conoscenza del manufatto, e più in generale per la sua conservazione e monitoraggio nel tempo, le tecniche di rilievo metrico si pongono come uno strumento di fondamentale importanza, capaci di far interagire diverse discipline e sempre aperte agli sviluppi tecnologici.

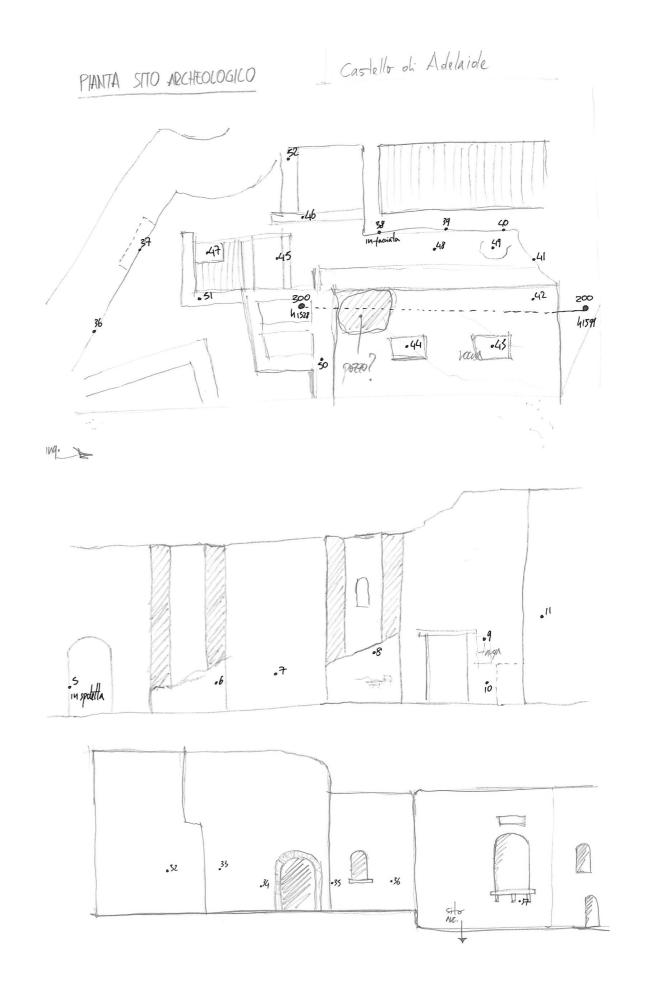
Appendice A

gli eidotipi





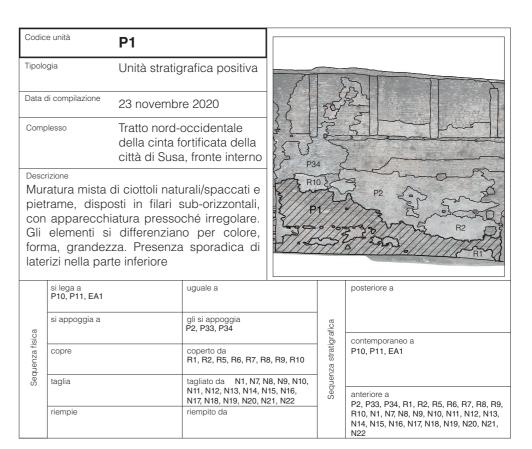




Appendice B

Le schede delle unità stratigrafiche

P



Codio	ce unità	P2		3	1	
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		5	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020		الم	
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno	P2 }	P36	P35
	trame, con		rali/spaccati e		~~	1/153/1/20 CONTE
	Ita di allettan		ar abbondante	20 37 P2	3 8	PI PI
			uguale a			posteriore a P1
mal	lta di allettan			°0 37 P	rafica	posteriore a P1
mal	si lega a		uguale a gli si appoggia	°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°°	a stratigrafica	posteriore a
	si lega a si appoggia a P1		uguale a gli si appoggia P34, P35, P36 coperto da	°0 37 P;	Sequenza stratigrafica	posteriore a P1

Codice	e unità	P3				
Tipolog	gia	Unità stratiç	grafica positiva			P35
Data d	di compilazione	23 novemb	re 2020			
Comp	elesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		P2	N5 P6 P3
di di	imensione v	ariahile disno	osti su filari	2011	17/1	27/8.3//8
	imensione v -orizzontali	ariabile dispo	osti su filari	F	72	N2 SEAT
		variabile dispo	osti su filari	F	<i>[]</i>	posteriore a EA1
sub-	-orizzontali	variabile dispo		F		posteriore a EA1
sub-	si lega a P2, P4, P7	variabile dispo	uguale a gli si appoggia	F		posteriore a
	si lega a P2, P4, P7 si appoggia a EA1	variabile dispo	uguale a gli si appoggia P35 coperto da	F	Sequenza stratigrafica	posteriore a EA1 contemporaneo a

Codice	e unità	P4			D	36
Tipolog	gia	Unità stratiç	grafica positiva		P.	511111111
Data di	li compilazione	23 novemb	re 2020	P35	1	
Compl	lesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			P4
. VIGIC	alura III CIO	tton avente u	ına colorazione	1//	///	
rosa	ita, con pre		oondante malta	N3	EA3	R3
rosa di all	ita, con pre	senza di abb	oondante malta	1 1 V	EA3	posteriore a
rosa di all	ita, con pre llettamento i	senza di abb	pondante malta feriore	1 1 V		posteriore a
rosa di all	si lega a	senza di abb	oondante malta feriore uguale a gli si appoggia	1 1 V		
rosa di all	si lega a P3 si appoggia a	senza di abb	uguale a gli si appoggia P35, P36 coperto da	1 1 V	Sequenza stratigrafica	posteriore a contemporaneo a

Codic	ce unità	P5					
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva				
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	P2	P2	P2	P2
Comp	plesso	della cinta t	occidentale fortificata della a, fronte interno		N5	N5	N4
	rizione nponamento	in laterizi			R2	R2	R2
	si lega a		uguale a			posteriore a N5	
Ø	si appoggia a		gli si appoggia		afica	afica	afica
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaned	contemporaneo a
Seque	taglia		tagliato da		equenz?	SZU BO Anteriore a	anteriore a
	riempie N5		riempito da				

Codio	ce unità	P6				
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva			
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	P2		N4
Comp	plesso	della cinta t	occidentale fortificata della a, fronte interno		N5	100
Tan	nponamento	in ciottoli			R2	P3
	si lega a		uguale a			posteriore a N4
æ	si appoggia a		gli si appoggia		afica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Seal	taglia		tagliato da		dnenz	
					8	anteriore a

Codic	e unità	P7			P2		P3	521
Tipolo	ogia	Unità stratigrafica positiva						
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020	763		R2		
Comp	blesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno				5	
Buc	ca pontaia (c	circa 21 x 13.5	o cm)	~	ک	7		
						R2		
	si lega a P3		uguale a			R2 posteriore a		
ica	si lega a P3 si appoggia a		uguale a gli si appoggia	•	rafica	posteriore a		
uenza fisica	P3				za stratigrafica			
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia	•	Sequenza stratigrafica	posteriore a		

Codice unità	P8			
Tipologia	Unità st	ratigrafica positiva		AND STATES
Data di compi	lazione 23 nove	embre 2020	2	
Complesso	della ci	ord-occidentale nta fortificata della Susa, fronte interno		P.
Juda poi	ntaia (circa 17.8	X 10.0 0111)		~
si lena	а	ugusle a		nosterior
si lega P2		uguale a		posteriore
P2 si appo	a oggia a	uguale a gli si appoggia coperto da	a stratigrafica	posteriore a
P2 si appo		gli si appoggia	Sequenza stratigrafica	contempor

				1		
Codio	e unità	P9				
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		1	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020		5	
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno			R4 R4
Desc	rizione					
Вис	a pontala (c	circa 16.8 x 1	1.2 Cm)			P2
	si lega a P2		uguale a		100000	posteriore a
æ	si appoggia a		gli si appoggia		fica	
Sequenza fisica	copre		coperto da R4		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P2
Sedi	taglia		tagliato da		Sequenz	anteriore a
	riempie		riempito da		,	R4

Codio	ce unità	P10		P.	2	
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		_	P2
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		Y	P10
Buc	ca pontala (c	circa 14.5 x 9.	.s cm)			P1
	si lega a P1		uguale a	ı		posteriore a
	si appoggia a				4	
ca	si appoggia a		gli si appoggia		afica	
enza fisica	copre		gli si appoggia coperto da		a stratigrafica	contemporaneo a P1
Sequenzafisica					Sequenza stratigrafica	

Codice unità	P11					
Tipologia	Unità	stratigrafica pos	sitiva		P3	2
Data di comp	pilazione 23 nov	vembre 2020	EA9	OMP.		STITING O
Complesso	della	nord-occidental cinta fortificata c li Susa, fronte in	della	77777	7///	
Descrizione			T.			R12 V
e pietrar	a mista di ciotto me, disposti in f	filari			1//	P12 P12
e pietrar sub-oriz pressoc	me, disposti in f zontali, con app hé irregolare. G ziano per colore	filari parecchiatura Ali elementi si				P12
e pietrar sub-oriz pressoc differenz	me, disposti in f zontali, con app hé irregolare. G ziano per colore za.	filari parecchiatura Ali elementi si				posteriore a
e pietrar sub-oriz pressoc differenz grandez	me, disposti in f zontali, con app hé irregolare. G ziano per colore za.	ilari parecchiatura Ali elementi si e, forma,	ia		afica	posteriore a
e pietrar sub-oriz pressoc differenz grandez	me, disposti in f zontali, con app hé irregolare. G ziano per colore zza.	iilari parecchiatura iili elementi si e, forma, uguale a	ia		a stratigrafica	posteriore a contemporaneo a P1
e pietrar sub-oriz pressoc differenz grandez si leg P1 si app	me, disposti in fizontali, con apphé irregolare. Ciziano per colore tza.	ilari parecchiatura Gli elementi si e, forma, uguale a gli si appoggi P32, P33, EA coperto da R12 tagliato da	ia	N27,	Sequenza stratigrafica	contemporaneo a

Codic	ce unità	P12				
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		P3	2
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	EA9		and of
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			B12 &
					- The c	129 NZ8
					- The c	
	si lega a		uguale a		- The c	13 P14 P15 N25 P117
oa	si lega a		uguale a gli si appoggia		P	PIS N25 PISN R4 PIYN23 PISN posteriore a N25
enza fisica					P	PIS N25 PIS N25 PITN23 PIBN posteriore a
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		- The c	PIS N25 PISN R4 PIYN23 PISN posteriore a N25

Codio	e unità	P13*				{
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva		P3	2
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	E		
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno			B12 &G
	rizione mento in late	rizio di tampo	onamento		P1:	P11 N28 N27 N28 P12 P12 P13 P14 P17 P18
	si lega a		uguale a			posteriore a N29
ca	si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Sed	taglia		tagliato da		Sequen	anteriore a
	riempie N29		riempito da		-	
*Per le	unità strationafich	e P14 P15 P16 P	17 P18 P19 P20 P2	1 P22 P23 F	224 P2F	5. P26. P27. P28. P29. P30 e P31 non è stata

Per le unità stratigrafiche P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30 e P31 non è stata compilata la relativa scheda in quanto sono tutte analoghe all'USM P13.

codice unità	P32				P37	
ologia	Unità stratigr	rafica positiva	EAS	1777	MAMM	1/1/
ata di compilazione	e 23 novembre	e 2020				3
Complesso		occidentale ortificata della , fronte interno			P32	
ietrame, dis	ta di ciottoli natui sposti in filari si	ub-orizzontali,				3
	chiatura pressoc si differenziano ezza.				P11	3
Gli elementi	si differenziano ezza.				P11 posteriore a P11	3
Gli elementi forma, grande si lega a P33	si differenziano ezza.	per colore,		rafica	posteriore a P11	3
Gli elementi forma, grande si lega a P33	si differenziano	uguale a gli si appoggia		a stratigrafica	posteriore a	3
Gli elementi forma, grande si lega a P33 si appoggia a P11	si differenziano	uguale a gli si appoggia P37, EA8, EA9 coperto da		Sequenza stratigrafica	posteriore a P11 contemporaneo a	3

Codice unità	P33	
Tipologia	Unità stratigrafica positiva	P38 P33
Data di compilazione	23 novembre 2020	P37 N35
Complesso	Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno	P46
pietrame, dispo colorazione si porzione super all'azione del	ciottoli naturali/spaccati e osti in filari sub-orizzontali. La cura degli elementi nella iore è probabilmente dovuta dilavamento e al degrado	N32 P32

11110	11016.		
	si lega a P32, P34, P39, P40, P46, P47, EA10	uguale a	
sica	si appoggia a P1, P11	gli si appoggia EA7, P58	
Sequenza fisica	copre	coperto da	
Sec	taglia	tagliato da N30, N31	
	riempie	riempito da	

E Ca	posteriore a P1, P11
Jequel Iza suatigi ai ba	contemporaneo a P32, P34, P39, P40, P46, P47, EA10
000	anteriore a EA7, N30, N31, P58

Codic	e unità	P34			5	
Tipolo	ogia	Unità stratig	grafica positiva	P46	1	P47 EA7 N35
Data o	di compilazione	23 novembr	re 2020	P33	OF	940 P41 EA
Comp	olesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	SN31		P34
piet	rame, dispo	osti in filari s	urali/spaccati e sub-orizzontali,	13//		
piet con Gli	rame, dispo apparecch	osti in filari s iatura presso ono contrado		3	P1	R10 R1
piet con Gli	rame, dispo apparecch elementi so	osti in filari s iatura presso ono contrado	sub-orizzontali, ché irregolare.		P1	Frank R
piet con Gli colc	rame, dispo apparecch elementi so prazione azz	osti in filari s iatura presso ono contrado	sub-orizzontali, ché irregolare. distinti da una	13		posteriore a P1
piet con Gli colc	apparecch apparecch elementi so prazione azz	osti in filari s iatura presso ono contrado	sub-orizzontali, ché irregolare. distinti da una uguale a gli si appoggia			posteriore a
piet con Gli	si lega a P33, P36, P41	osti in filari s iatura presso ono contrado	sub-orizzontali, ché irregolare. distinti da una uguale a gli si appoggia P50, EA7, EA11 coperto da		Sequenza stratigrafica	posteriore a P1 contemporaneo a

01: -	14 3			1		
Codic	e unità	P35			~~	
Tipolo	gia	Unità stratio	grafica positiva			P36
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	1//		////p/35///////////////////////////////
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	P2	L'and	b Early by
Mur piet app diffe	rame, dispo arecchiatura erenziano pe	osti in filari c a regolare. (er colore, forn	urali/spaccati e orizzontali, con Gli elementi si na, grandezza. ttoli inclinati di	Set of Se	A F	R2 P1
	si lega a		uguale a			posteriore a P2, P3, P4
ca	si appoggia a P2, P3, P4		gli si appoggia P36		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		za stratigrafica	contemporaneo a
Sed	taglia		tagliato da N6		Sequenza	anteriore a
	riempie		riempito da			P36, N6

Codic	e unità	P36				
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica positiva			
Data o	di compilazione	23 novemb	re 2020		2	P55
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	P34 //		P52 P54 P56 EA11
piet sop son	rame, dispo rattutto nella	sti maniera m a porzione si nenti di dimer	urali/spaccati e nolto irregolare, nistra in cui ci nsioni maggiori		P2	P3 P4
	si lega a P34		uguale a			posteriore a P2, P35, P4
ica	si appoggia a P2, P35, P4		gli si appoggia EA11		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P34
Sed	taglia		tagliato da		Sequen	anteriore a
	riempie		riempito da			EA11

Codice unità	P37				
Tipologia	Unità strati	igrafica positiva	-		
Data di compilazio	one 23 novemb	ore 2020		1	P58
Complesso	della cinta	l-occidentale fortificata della sa, fronte interno			N98 P38
pietrame, d		turali/spaccati e orizzontali, con Gli elementi si	EA9		Nissa L
	o per colore, for				P32 }
					P32 posteriore a P32
si lega a EA8, EA9 si appoggi	o per colore, for	ma, grandezza.		afica	posteriore a P32
si lega a EA8, EA9 si appoggi	o per colore, for	ma, grandezza. uguale a gli si appoggia		ca stratigrafica	posteriore a
differenzian	o per colore, for	uguale a gli si appoggia P58		Sequenza stratigrafica	posteriore a P32 contemporaneo a

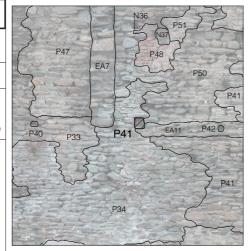
Codic	ce unità	P38						
Tipolo	ogia	Unità stratig	rafica positiva					
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020			P58		
Comp	plesso		occidentale ortificata della a, fronte interno				N33 &	P38
	ratura di	tamponament	to in ciottoli				No.	N34
	oosti in mar		e. Presenza di	EA9		~~~	P32	\{\begin{align*} \text{\left} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\
	oosti in mar	niera irregolare	e. Presenza di	EA9		posteriore a N34	P32	
abb	posti in mar pondante ma	niera irregolare	e. Presenza di lento.	EA9	afica	1	P32	
abb	oosti in mar oondante ma	niera irregolare	e. Presenza di nento. uguale a	EA9	a stratigrafica	1		
	si lega a	niera irregolare	e. Presenza di nento. uguale a gli si appoggia	EA9	Sequenza stratigrafica	N34		

Codic	ce unità	P39		N35		
Tipolo	ogia	Unità stratig	grafica positiva	NSS	1	P46
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020	The same of the sa	1	F40
Comp	plesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	P32	7	P39 (2) EA10
Desc	rizione					
Duc	a pontaia (p	orobabile sede	e ai	The second second	1	
allo		di una trave po olaio, forse un).		P57		P33
allo	tenere un so	olaio, forse un		P57		P33 posteriore a
allo sos can	tenere un sonminamento	olaio, forse un		P57	Irafica	posteriore a
allo sos can	tenere un so nminamento si lega a EA10	olaio, forse un	uguale a	P57	za stratigrafica	
allo	si lega a EA10 Si appoggia a	olaio, forse un	uguale a gli si appoggia	P57	Sequenza stratigrafica	posteriore a contemporaneo a

Codic	e unità	P40		{	7	N36 P51
Tipolo	gia	Unità stratig	grafica positiva		P47	(N3) P48
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020	3		EA7 P50 C
Comp	lesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	Ø P40	P33	P41 EA11 P42 O
Descr	izione			1	?	
allog	ggiamento d	robabile sede i una trave po laio, forse un	osta a			P34
	si lega a P33		uguale a			posteriore a
ca	si appoggia a		gli si appoggia		afica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P33
Sec	taglia		tagliato da		Sequer	anteriore a
	riempie		riempito da			

Codice unità	P41
Tipologia	Unità stratigrafica positiva
Data di compilazione	23 novembre 2020
Complesso	Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno
Descrizione	
	orobabile sede di di una trave posta a plaio, forse un

camminamento).



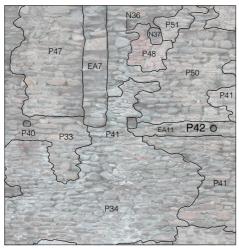
	si lega a P34	uguale a	
sica	si appoggia a	gli si appoggia	
Sequenza fisica	copre	coperto da	
Sec	taglia	tagliato da	
	riempie	riempito da	

	posteriore a
afica	
Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P34
Sed	anteriore a

P42
Unità stratigrafica positiva
23 novembre 2020
Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno

Descrizione

Buca pontaia (probabile sede di alloggiamento di una trave posta a sostenere un solaio, forse un camminamento).



	si lega a EA11	uguale a		posteriore a
g	si appoggia a	gli si appoggia	stratigrafica	
fisica			ţi	contemporaneo a
Sequenza	copre	coperto da		EA11
Sec	taglia	tagliato da	le le	
			Sequenza	anteriore a
	riempie	riempito da		

Codice	unità	P43			P5	8	
Tipologi	ia	Unità stratig	rafica positiva				
Data di	compilazione	23 novembre	e 2020				
Comple	esso		occidentale ortificata della , fronte interno	EA6		P53	EA
Descriz	rione					Service of the servic	See .
allog	giamento c	probabile sede di una trave po plaio, forse un).			P430	P52 EA11 P36 P44	2
	si lega a EA11		uguale a			posteriore a	
	si appoggia a		gli si appoggia		afica		
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a EA11	
Sedn	taglia		tagliato da		Sequenza	anteriore a	
-	riempie		riempito da		- "		

Codic	e unità	P44			P5	8		
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva				10	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020					
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	EA6		P53		EA5
Desc	rizione					Tiene I	10	
allo sos	ggiamento d	orobabile sed di una trave p blaio, forse un).	osta a		P43 O	P52		
				图	1400	P36	P44	T
	si lega a EA11		uguale a			posteriore a		
ø	si appoggia a		gli si appoggia		afica			
.9	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a EA11		
enza fis	1				anza			
Sequenza fisica	taglia		tagliato da		edne	anteriore a		

Codice unità	P45		P5	8			B., _
Tipologia	Unità stratigr	rafica positiva			40 000		Z
Data di compilazio	ne 23 novembre	e 2020			6.50		
Complesso		occidentale ortificata della , fronte interno	EA5		P55		EA
	and the contract and the contract of the contr		all the same of	1	1 465	4500	7.
sostenere u	nto di una trave po n solaio, forse un ento).	sta a			P54	P45	
	n solaio, forse un ento).	uguale a		P		P45	E
sostenere u camminame si lega a EA11 si appoggia	n solaio, forse un ento).				posteriore a	P45	
sostenere u camminame si lega a EA11 si appoggia	n solaio, forse un ento).	uguale a			36	P45	E
sostenere u camminame si lega a EA11 si appoggia	n solaio, forse un ento).	uguale a gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posteriore a contemporaneo a	P45	E

Codio	ce unità	P46				P58
Tipolo	ogia	Unità stratig	grafica positiva		2	7500
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020			
Com	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno	EA8	M35	P33 {
pie			rali/spaccati e di abbondante	1///	P46	
pie	trame, con	presenza d		1///	P46	Aio
pie	trame, con	presenza d nento.		1///		posteriore a P32
piet mal	trame, con lta di allettan	presenza d nento.	di abbondante	1///	D E	posteriore a P32
piet mal	trame, con lta di allettan si lega a P33, EA8, EA10 si appoggia a	presenza d nento.	di abbondante uguale a gli si appoggia	1///	D E	posteriore a
pie	si lega a P33, EA8, EA10 si appoggia a	presenza o nento.	uguale a gli si appoggia P58	1///		posteriore a P32 contemporaneo a

Codic	e unità	P47		# = 07 =		P58
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica positiva		7	
Data o	di compilazione	23 novemb	re 2020			
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	EA8	N35	P33 EA7
Desc	rizione					3///841/
Mur	atura in d	ciottoli natur	ali/spaccati e		P46	> \/////
piet	rame, dispo	sti in filari sub	o-orizzontali. La			
			elementi nella	P47		
			ilmente dovuta	1		\(\frac{1}{2} \) \(\frac{1} \) \(\frac{1} \) \(\frac{1}{2} \) \(\frac{1}{2}
all'a	zione del (dilavamento	e al degrado	~		
l	ogico.				DE	A10
	si lega a P33, EA7		uguale a			posteriore a
	si appoggia a		gli si appoggia		m m	
a a			P58		stratigrafica	
fisio	copre		coperto da		atigr	contemporaneo a P33. EA7
Sequenza fisica	Copie		Coperto da		a stra	F33, EA7
nbeg	taglia		tagliato da		zuər	
0)	Lagila		ag.ato da		Sequenza	anteriore a
	riempie		riempito da		1	P58
			pito da			

Codio	ce unità	P48				P58
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica positiva			
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			35
Com	plesso	della cinta t	occidentale ortificata della a, fronte interno	EA7	N36	P51 EA6
	rizione ratura di tam	nponamento i	n laterizi.	P3.	P41 }	P49 P49 P36
	si lega a		uguale a			
						posteriore a N36
a	si appoggia a		gli si appoggia		afica	N36
ienza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		a stratigrafica	
Sequenza fisica					Sequenza stratigrafica	N36

	ce unità	P49					P58
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica positiv	va			5
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020				(25)
Comp	plesso		occidentale ortificata del a, fronte inter	200	EA7	N36	P51
piet		ciottoli natur n abbondan		e di		5~	P50 7 P49
					P3	P41 \ 4	EA11 0P42
	si lega a EA6, P50		uguale a		P3		posteriore a EA11
ca			uguale a		P3	4 5	posteriore a EA11
ienza fisica	EA6, P50 si appoggia a				Pg	4 5	posteriore a
Sequenza fisica	EA6, P50 si appoggia a EA11		gli si appoggia		P3		posteriore a EA11

Codice	e unità	P50				P58
Tipolog	gia	Unità strati	grafica positiva	T	////	11/15 (11/1/18)
Data di	li compilazione	23 novemb	re 2020			Mr and
Compl	lesso	della cinta	occidentale fortificata della a, fronte interno	EA7	N36	P51
		ciottoli natu mensioni mo	rali/spaccati e olto diverse. Si		P	48 \$ 1950
pietr nota	ame di di la presen	mensioni mo	olto diverse. Si emento lapideo	P3	P41 S	
pietr nota aven	ame di di la presen	mensioni mo za di un ele ghezza L pari	olto diverse. Si emento lapideo	P3	P41 S	P49 PA11 OP42
pietr nota aven	ame di dii la presen. nte una lung	mensioni mo za di un ele ghezza L pari	olto diverse. Si emento lapideo a 70 cm.	Pa	P41 9	P49 Page 1 Page
pietr nota aven	ame di dii la presen nte una lung si lega a P49, P51, EA6, I si appoggia a	mensioni mo za di un ele ghezza L pari	olto diverse. Si emento lapideo a 70 cm.	P3	P41 9	P49 PA11 OP42 Posteriore a
pietr nota aven	rame di dii la presen nte una lung si lega a P49, P51, EA6, I si appoggia a P34, EA11	mensioni mo za di un ele ghezza L pari	olto diverse. Si emento lapideo a 70 cm. uguale a gli si appoggia P58	P3	P41 S	posteriore a P34, EA11 contemporaneo a

Codic	e unità	P51				P58
Tipolo	gia	Unità stratio	grafica positiva			The state of the s
Data o	di compilazione	23 novembr	re 2020			3/50
Comp	olesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	EA7	N36	P51 EA6
Mur	rizione atura in c rame, con tamento.	iottoli natur abbondan		P3	F41\}	48 P50 P49 P36
	si lega a EA6, P50		uguale a			posteriore a
ica	si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a EA6, P50
Sec	taglia		tagliato da N36, N37		Sequer	anteriore a N36, N37
	riempie		riempito da			1000, 1007

e unità	P52			P5	3	
ogia	Unità stratig	grafica positiva				
di compilazione	23 novembr	re 2020				
olesso	della cinta f	ortificata della	EA6		P53	:A5
rame di din ondante m	nensioni molt nalta di alle	o diverse, con ettamento che		P43 O	P52 EA11 P36 P44	
si lega a EA5, EA6, P53		uguale a			posteriore a EA11	
si appoggia a EA11		gli si appoggia		afica		
copre		coperto da		za stratigr	contemporaneo a EA5, EA6, P53	
taglia		tagliato da		sequen	anteriore a	
riempie		riempito da				
	ogia di compilazione di compilazione rizione atura in orame di din condante m pre in gran pre in gr	pgia Unità stratig di compilazione 23 novembri colesso Tratto nord- della cinta fi città di Susa rizione atura in ciottoli natur rame di dimensioni molt condante malta di alle pre in gran parte gli elem si lega a EA5, EA6, P53 si appoggia a EA11 copre taglia	Unità stratigrafica positiva di compilazione 23 novembre 2020 Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno rizione atura in ciottoli naturali/spaccati e rame di dimensioni molto diverse, con ondante malta di allettamento che pre in gran parte gli elementi. si lega a EA5, EA6, P53 si appoggia a EA11 copre coperto da taglia tagliato da	pgia Unità stratigrafica positiva di compilazione 23 novembre 2020 Diesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno rizione atura in ciottoli naturali/spaccati e rame di dimensioni molto diverse, con condante malta di allettamento che pre in gran parte gli elementi. si lega a EA5, EA6, P53 si appoggia a EA11 copre coperto da taglia tagliato da	pgia Unità stratigrafica positiva di compilazione 23 novembre 2020 Diesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno rizione atura in ciottoli naturali/spaccati e rame di dimensioni molto diverse, con condante malta di allettamento che pre in gran parte gli elementi. Si lega a EA5, EA6, P53 Si appoggia a EA11 Copre Coperto da taglia tagliato da	psi Unità stratigrafica positiva di compilazione 23 novembre 2020 clesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno rizione attura in ciottoli naturali/spaccati e rame di dimensioni molto diverse, con condante malta di allettamento che pre in gran parte gli elementi. psi lega a EA5, EA6, P53 si appoggia a EA11 copre copre coperto da taglia tagliato da psi si appoggia a tagliato da positeriore a EA11 contemporaneo a EA5, EA6, P53 anteriore a anteriore a anteriore a

Counc	ce unità	P53			P5	8	
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica positiva				11/1
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020				
Com	plesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	EA6		P53	EA
piet cold	trame, dispo orazione so	sti in filari sub	ali/spaccati e o-orizzontali. La elementi nella			P52	
all'a		•	ilmente dovuta e al degrado		P43 O	EATI	P44
all'a	azione del	•	ilmente dovuta		P43 O	EA11	P44
all'a	azione del logico.	•	ilmente dovuta e al degrado			P36 posteriore a	P44
all'a biol	azione del logico. si lega a EA5, EA6, P52	•	ilmente dovuta e al degrado uguale a gli si appoggia		stratigrafica	EA11 P36	P44
all'a	azione del logico. si lega a EA5, EA6, P52 si appoggia a	•	ilmente dovuta e al degrado uguale a gli si appoggia P58			posteriore a contemporaneo a	P44

dice unità	P54		_ PE	58	
ipologia	Unità stratiç	grafica positiva		-0	4 d
Data di compilazione	23 novemb	re 2020			
omplesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno	EA5		
trame di dir	mensioni molt	rali/spaccati e to diverse, con ettamento che		1	M
pietrame di dir abbondante n icopre in gran	mensioni molt nalta di alle	to diverse, con ettamento che nenti.			236 posterio
etrame di dir obondante n copre in gran	mensioni molt nalta di alle	to diverse, con ettamento che nenti.		<i>S</i>	
si lega a P55, EA4, EA5 si appoggia a	mensioni molt nalta di alle	to diverse, con ettamento che nenti.			posterior EA11
si lega a P55, EA4, EA5	mensioni molt nalta di alle	to diverse, con ettamento che nenti.			posteriore
si lega a P55, EA4, EA5 si appoggia a EA11	mensioni molt nalta di alle	uguale a gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posterior EA11

				1		
Codic	e unità	P55		P5	58	
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica positiva			P56
Data	di compilazione	23 novembr	re 2020		///	
Comp	olesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	EA5		P85
Mur piet cold por all'a biol	rame, dispo orazione so zione superi azione del ogico. Si n	sti in filari sub cura degli ore è probab dilavamento	rali/spaccati e p-orizzontali. La elementi nella ilmente dovuta e al degrado enza di ciottoli di 45 gradi.			P54 P54 P45
	si lega a EA4, EA5, P54, F	P56	uguale a			posteriore a
g	si appoggia a		gli si appoggia P58		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		iza stratigrafica	contemporaneo a EA4, EA5, P54, P56
Sec	taglia		tagliato da		Sequenza	anteriore a
	riempie		riempito da			P58

23 novemb Tratto nord- della cinta città di Sus	grafica positiva re 2020 coccidentale fortificata della a, fronte interno	P58		
Tratto nord- della cinta città di Sus	occidentale fortificata della	EA4		
della cinta città di Sus	fortificata della	EA4		
-			///	P56
ne, disposti in filari s rizzati da una co . La colorazione scura orzione superiore e s babilmente dovuta	ub-orizzontali e lorazione rosa a degli elementi ul fianco destro all'azione del		P36	EA11
ega a 5, EA4	uguale a			posteriore a EA11
ppoggia a 11	gli si appoggia		afica	
ore	coperto da		a stratigr	contemporaneo a P55, EA4
lia	tagliato da		sedneuz	anteriore a
npie	riempito da			
neggis, pp111	a in ciottoli natu e, disposti in filari s izzati da una co La colorazione scura orzione superiore e s pabilmente dovuta ento e al degrado bi ga a EA4 poggia a I	a in ciottoli naturali/spaccati e e, disposti in filari sub-orizzontali e izzati da una colorazione rosa La colorazione scura degli elementi orzione superiore e sul fianco destro pabilmente dovuta all'azione del ento e al degrado biologico. ga a EA4 poggia a gli si appoggia coperto da a tagliato da	a in ciottoli naturali/spaccati e e, disposti in filari sub-orizzontali e izzati da una colorazione rosa La colorazione scura degli elementi przione superiore e sul fianco destro pabilmente dovuta all'azione del ento e al degrado biologico. ga a EA4 gli si appoggia a gli si appoggia tagliato da	a in ciottoli naturali/spaccati e e, disposti in filari sub-orizzontali e izzati da una colorazione rosa La colorazione scura degli elementi przione superiore e sul fianco destro pabilmente dovuta all'azione del ento e al degrado biologico. ga a EA4 poggia a gli si appoggia gli si appoggia a tagliato da tagliato da

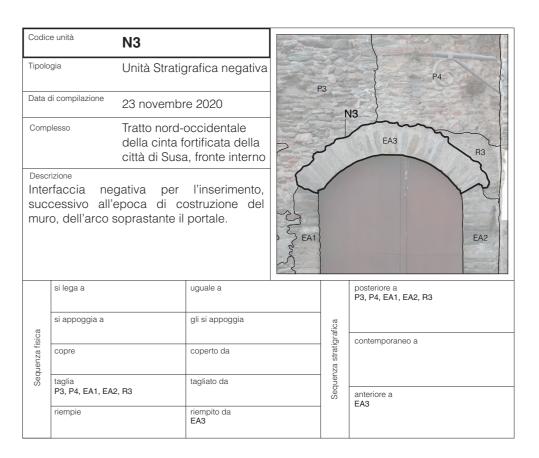
Codice unità	P57			TS.M.	
Tipologia	Unità stratiç	grafica positiva	{	}	
Data di compilazione	23 novemb	re 2020	1	}	
Complesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		113	P32
Descrizione Tamponament	o in laterizi.			}	
si lega a		uguale a			posteriore a N32
si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
copre taglia		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
taglia		tagliato da		Sednenz	anteriore a
riempie N32		riempito da			

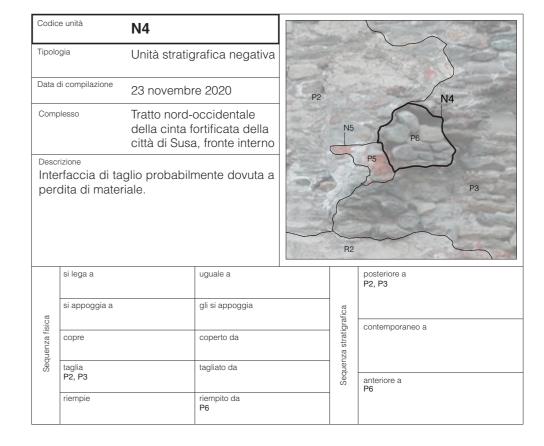
Codio	ce unità	P58		958	1111			
Tipolo	ogia	Unità strat	igrafica positiva					
Data	di compilazione	23 novemb	ore 2020				200	
Com	plesso	della cinta	d-occidentale fortificata della sa, fronte interno	EA6		P53		EAS
			ısura della parte	The second	CHE T A	~		
son	nmitale del r	nuro di cinta	L.		P43 O	P52 EA11 P36	O P44	-
son	nmitale dei r	nuro di cinta	uguale a		P43 O	EA11		2
						P36 posteriore a P37, P33, P50, P53, I		
	si lega a		uguale a			P36 posteriore a		
Sequenza fisica	si lega a si appoggia a P37, P33, P50, I		uguale a gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	P36 posteriore a P37, P33, P50, P53, I		

N

Codice	e unità	N1		~	3	P3
Tipolog	gia	Unità stratiç	grafica negativa	73/		
Data di	li compilazione	23 novemb	re 2020	~~	~~	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
Compl	lesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		R	2 NY F
	crollo di		nente derivante ento ad esso			P2 (
	norsato	un eleme	mo ao esso			R1
amn	0.00	un eleme	uguale a			posteriore a P1, R2
amn	norsato	un eleme			afica	posteriore a
amn	morsato si lega a	un eleme	uguale a		a stratigrafica	posteriore a
amm	si lega a	un eleme	uguale a gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posteriore a P1, R2

Codic	e unità	N2		~	3	P3
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativ	1		FA3
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020		~	~~~~
Comp	olesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		R	2 NI F
	eriale.	iuio uovula	a perdita d			P2
						R1
	si lega a		uguale a			posteriore a P3
ca	si lega a		uguale a gli si appoggia		afica	posteriore a P3
uenza fisica					za stratigrafica	posteriore a
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posteriore a P3





Codice unità	N5				5
Tipologia	^a Unità stratigrafica negativ				
Data di compilazione	23 novembr	re 2020	P2		
Complesso		occidentale ortificata della a, fronte interno		N5	PE
perdita di mate		mente dovuta a		R2	
si lega a		uguale a			posteriore a P2, P3
si appoggia a		uguale a gli si appoggia		afica	
				uenza stratigrafica	

riempito da P5

Codice	e unità	N6		3/4		EA11
Tipolo	gia	Unità stratio	grafica negativa			
Data di compilazione 23 nover		23 novembr	re 2020		400	P35
Comp	lesso		occidentale ortificata della a, fronte interno			N6
Trac	izione ocia nel m eriale.	nuro dovuta	a perdita di			P2
	si lega a		uguale a			posteriore a P2, P35
ca	si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Sedi	taglia P2, P35		tagliato da			anteriore a
	riempie		riempito da			

Codic	ce unità	N7			R9			~
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica nega	tiva	A		P2 C	P10 R4 ~
Data (di compilazione	23 novemb	re 2020		P10	7		5
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata de a, fronte inte	lla	P28 P29	EA2	N9 P31	3
	ccia nel n	iaio aovata	a porana	٠ ا	△ N8		~ 250 6 5	
	teriale.	idio dovata	a porana			00	~ 23 23	N7 Ø
		idro dovata	uguale a		_		posteriore a P1	
mat	teriale.	idro dovata			_	afica		
mat	si lega a	idro dovata	uguale a			ca stratigrafica		
	si lega a	idro dovata	uguale a gli si appoggia			Sequenza stratigrafica	P1	

Codic	e unità	N8			R9 \$		
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica negativ	а	5		P2
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020		P10 D		3
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	- 1 1	N12 - N P28 P29 P29 P29	\$P30	AB TO THE STATE OF
Trac	rizione ccia nel m eriale.	nuro dovuta	a perdita c	ik	S N8		R5 P1
	si lega a		uguale a				posteriore a P1
a a	si appoggia a		gli si appoggia			rafica	
Sequenza fisica	copre	coperto da tagliato da				Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Sedi	taglia P1			da		Sequenz	anteriore a
	riempie		riempito da				

Codice	e unità	N9*		R9		
Tipolo	gia	Unità stratig	grafica negativa	T		P2 P10 R4
Data c	li compilazione	23 novemb	re 2020	P10	>	
Comp	lesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	N12 P28 P29	EA2 N11 N10	N9 To See The
	rfaccia di ta dita di mater		mente dovuta a	N8 €	9000	57.85 P1
	si lega a		uguale a			posteriore a P1,R6
ca	si appoggia a		gli si appoggia		afica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Sed	taglia P1, R6		tagliato da		Sequen	anteriore a
	riempie		riempito da		1	P31

Per le unità stratigrafiche N10, N11, N12, N13, N14, N15, N16, N17, N18, N19, N20, N21, N22, N23, N24, N27, N28 e N29 non è stata compilata la relativa scheda in quanto vengono considerate analoghe all'USM N9.

	ce unità	N25				
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativa		P3	2
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	EA		
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			S PRIS (C)
Inte	rizione erfaccia di ta dita di mate		mente dovuta a		-	P11 N25 N26 P12 N26 P12 N26 P12 N25 P18,N27 N26 P19,N22 P18,N27 N26 P19,N22 P18,N22 P1
					Section.	Marcarda estados
	si lega a		uguale a	154		posteriore a P11, R12
ca	si lega a		uguale a gli si appoggia	54	afica	P11, R12
enzafisica					a stratigrafica	
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	P11, R12

Codic	e unità	N26		3	J	
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativa			
Data (di compilazione	23 novemb	re 2020			1
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno			21
Trac	rizione ccia nel mui aterizi.	ro dovuta alla	disgregazione		N29 P13	
	si lega a		uguale a			
ca	si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	
Sedi	taglia P11		tagliato da		Sequenz	
	riempie		riempito da			

Codic	e unità	N30			1	La tat	1	
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativ	/a	P33	N	131 / (
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020					P34
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interr	Maria Control of the Control		N30		>
	eriale.	.c.c dovata	a perdita				(-549,000
mai	eriale.					P11		
maı	si lega a		uguale a			P11 posteriore a P33		
			uguale a gli si appoggia		ifica	posteriore a		
	si lega a				stratigrafica	posteriore a	a	
Sequenza fisica	si lega a si appoggia a		gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posteriore a P33	o a	

Codic	e unità	N32			
Tipolo	ogia	Unità stratio	grafica negativa	<i>\{\}</i>	
Data	di compilazione	ione 23 novembre 2020			
Comp	olesso		occidentale ortificata della a, fronte interno	R	
Inte	rfaccia di ta dita di mate		mente dovuta a		
	si lega a		uguale a		
ca	si appoggia a		gli si appoggia		
enza fisica	copre		coperto da		

tagliato da

riempito da P57

taglia P32

riempie

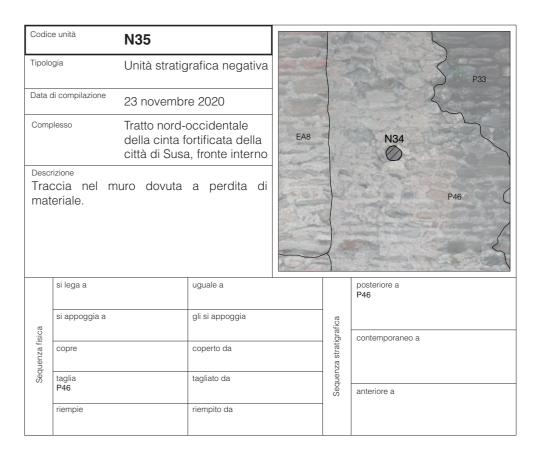
Codic	e unità	N33				
Tipolo	ogia	Unità stratigrafica negativa				
Data	di compilazione	23 novembre 2020				P58
Complesso		Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno				N33 P38
11 a						
	eriale.	iaro dovaia	a perdita di	EA9		P32 }
			uguale a	EA9		
mat	eriale.			EA9	afica	P32 Aposteriore a P37
mat	si lega a		uguale a	EA9	a stratigrafica	P32 }
	si lega a si appoggia a		uguale a gli si appoggia	EA9	Sequenza stratigrafica	P32 Aposteriore a P37

posteriore a

anteriore a P57

contemporaneo a

				1			
Codic	e unità	N34					
Tipolo	gia	Unità stratio	grafica negativa				
Data	di compilazione	23 novembre 2020 Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno				P58	
Comp	olesso					N33 P38	
Desci	rizione					P37	
Inte	rfaccia di ta	glio probabilr	mente dovuta a			N34	
per	dita di mater	iale.		EA9		EA8	
						P32 A	
	si lega a		uguale a			posteriore a P37	
ica	si appoggia a		gli si appoggia		rafica		
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a	
Seq	taglia P37		tagliato da		Sequen	anteriore a	
	riempie		riempito da P38			P38	



Jour	e unità	N36				P58
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativa			5
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			22
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	EA7	N3	36 P51 EAR
	erfaccia di ta dita di mate		mente dovuta a		5	L P50
				Pe	P41 S	EA11 OP42 P36
	si lega a		uguale a	Po	F	EA11 OP42
ca	si lega a		uguale a gli si appoggia	Po	14 5	posteriore a P50, P51
enzafisica				Pe	14 5	EA11 OP42 P36 posteriore a
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia	Po	F	posteriore a P50, P51

Codic	ce unità	N37				P58
Tipolo	ogia	Unità stratiç	grafica negativa	1		5
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			22)
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno	EA7	N36	N37 P51 EAR
	teriale.		a perdita di	P3.	P41 4	P50 P49 EA11 OP42 P36
	si lega a		uguale a			posteriore a
	3					P50
ca	si appoggia a		gli si appoggia		rafica	
uenza fisica			gli si appoggia		ra stratigrafica	contemporaneo a
Sequenza fisica	si appoggia a				Sequenza stratigrafica	

EA

Codice unità	EA1		_ \ \	12	EA3
Tipologia	Elemento a	rchitettonico	3	4	
Data di compilazion	23 novemb	re 2020	R3		
Complesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		N1	EAT
portale					
si lega a P1		uguale a EA2			posteriore a
	^				
si appoggia	a	gli si appoggia P3		afica	
I	a			a stratigrafica	contemporaneo a P1, EA2
lisica	а	P3		Sequenza stratigrafica	

Codic	ce unità	EA2				EA3	
Tipolo	ogia	Elemento a	rchitettonico			R3	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020				10
Com	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			FAD	200
	aritto destro tale	o di sostegr	no all'arco del				The state of the s
				24 S (2 S (2))	F. Commence		
	si lega a		uguale a EA1		posteriore a		
oa Oa	si lega a			afica		<u> </u>	
ıenza fisica			EĂ1	a stratigrafica	posteriore a contemporaneo a EA1		
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia	Sequenza stratigrafica	contemporaneo a		

	e unità	EA3					
Tipolo	ogia	Elemento a	rchitettonico		23	P4	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			13	
Comp	olesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		<i>\$</i>	EA3	
Desc	rizione			[///		\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	
				ا کے ا			
				EA1		EA2	2
	si lega a		uguale a	EA1		posteriore a N3	2
ca	si lega a si appoggia a		uguale a gli si appoggia	EA1	rafica	posteriore a N3	2
uenza fisica				EA1	ra stratigrafica	posteriore a	2
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia	EA1	Sequenza stratigrafica	posteriore a N3	2

Codic	e unità	EA4		W-67-		
Tipolo	ogia	Elemento ai	rchitettonico			
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	30 4		
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		P55	EA4 P56
		enza di lateri	ttoli, pietrame zi).		P54	P36
	si lega a P54, P55, P56		uguale a			posteriore a EA11
æ	si appoggia a EA11		gli si appoggia		afica	
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P54, P55, P56
Sedn	taglia		tagliato da		zuenbe	anteriore a
	riempie		riempito da		S	amonoro d

Codice	e unità	EA5			04	P58
Tipolog	gia	Elemento a	rchitettonico			
Data d	di compilazione	23 novembr	re 2020			
Comp	elesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		P53	P54
					PROPERTY OF	
					P52	P55 EA11
	si lega a P52, P53, P54, F	P55	uguale a		P52	EA11
, Ja		P55	uguale a gli si appoggia P58	~	P44	P36 P36 posteriore a EA11
enza fisica	P52, P53, P54, F si appoggia a	P55	gli si appoggia	~	P44	P36 posteriore a
Sequenza fisica	P52, P53, P54, F si appoggia a EA11	P55	gli si appoggia P58		Sequenza stratigrafica	posteriore a EA11 contemporaneo a

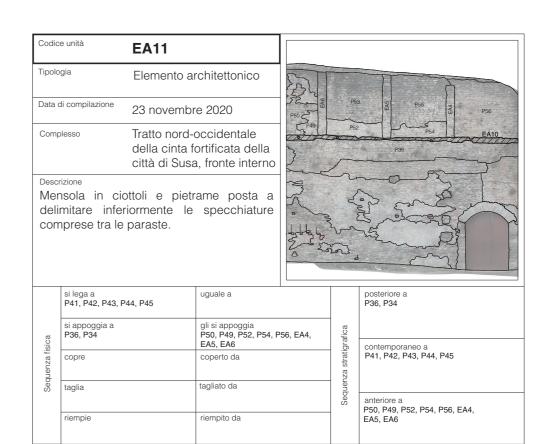
Codic	ce unità	EA6				P58
Tipolo	ogia	Elemento a	rchitettonico			
Data (di compilazione	23 novemb	ore 2020	5	5	
Comp	plesso	della cinta	-occidentale fortificata della a, fronte interno	52	P5	EA6
Par		uita da cio senza di later	ottoli, pietrame izi).	P50	5	
Par	asta costit		•	P50	3	P49 P52
Par	asta costit	senza di later	•		5	P52
Para (spo	asta costit oradica pres	senza di later	izi).		afica	P52 EA11 P43 O posteriore a EA11
Para (spo	asta costitoradica pressi lega a P49, P50, P51, I si appoggia a	senza di later	uguale a gli si appoggia		:a stratigrafica	P52 EA11 P43 O posteriore a
Par	asta costitoradica pressi lega a P49, P50, P51, I si appoggia a EA11	senza di later	uguale a gli si appoggia P58		Sequenza stratigrafica	P52 EA11 P43 O posteriore a EA11 contemporaneo a

Tipologia Elemento architettonico Data di compilazione 23 novembre 2020 Complesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno Descrizione Parasta costituita da ciottoli, pietrame (sporadica presenza di laterizi).	ALL TOP OF
Data di compilazione 23 novembre 2020 Complesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno Descrizione Parasta costituita da ciottoli, pietrame (sporadica presenza di laterizi).	
23 novembre 2020 Complesso Tratto nord-occidentale della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno Descrizione Parasta costituita da ciottoli, pietrame (sporadica presenza di laterizi).	
della cinta fortificata della città di Susa, fronte interno Descrizione Parasta costituita da ciottoli, pietrame (sporadica presenza di laterizi).	P50
Parasta costituita da ciottoli, pietrame (sporadica presenza di laterizi).	N36 N37
(sporadica presenza di laterizi).) P48
	5
P40 🗅 P4	P34 P41
si lega a P33, P47, P50 uguale a posteriore a P34	
si appoggia a gli si appoggia p58	
si appoggia a P34 P58 copre coperto da contemporaneo a P33, P47, P50 taglia tagliato da anteriore a	υa
taglia tagliato da anteriore a	
riempie riempito da P58	

Tinalas					10000		
Tipolog	gia	Elemento ar	rchitettonico		N	P58	
Data d	i compilazione	23 novembr	re 2020		238		P33
Compl	lesso		occidentale ortificata della a, fronte interno			EA8	N35
(spo	oradica pres	enza di lateri	ZI).	~~	2	P32	P46
	si lega a P46, P37		uguale a			posteriore a	
a	si appoggia a P32		gli si appoggia P58		afica		
Sequenza fisica	copre		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P46, P37	
Sedn	taglia		tagliato da		Sequenz	anteriore a	
	riempie		riempito da			P58	

Codice unità	EA9			P58 N34	
Tipologia	Elemento	architettonico		P38	EA8
Data di comp	oilazione 23 novemb	ore 2020		P37	
Complesso	della cinta	d-occidentale fortificata della sa, fronte interno		\$ P47	
	costituita da ci ca presenza di late			P47	R12
si lega P37, I		uguale a		posteriore a P11	
D11	oggia a	gli si appoggia P58	afica		
copre taglia		coperto da	Sequenza stratigrafica	contemporaneo a P37, P32	
⊋		tagliato da	dnenz		
o taglia			Ğ.	anteriore a P58	

Codic	ce unità	EA10		N35		
Tipolo	ogia	Elemento a	rchitettonico	N35	1	P46
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020			P40
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno	P32	VIII	F39 (EA10)
			oli e pietrame,	N32	1	
	npresa tra le		nte la muratura	P57		P33
		e paraste.	nte la muratura	P57		P33 posteriore a
con	npresa tra le	e paraste.		P57	afica	
con	npresa tra le	e paraste.	uguale a	P57	a stratigrafica	
	si lega a P33, P46, P32, I si appoggia a	e paraste.	uguale a gli si appoggia	P57	Sequenza stratigrafica	posteriore a contemporaneo a



R

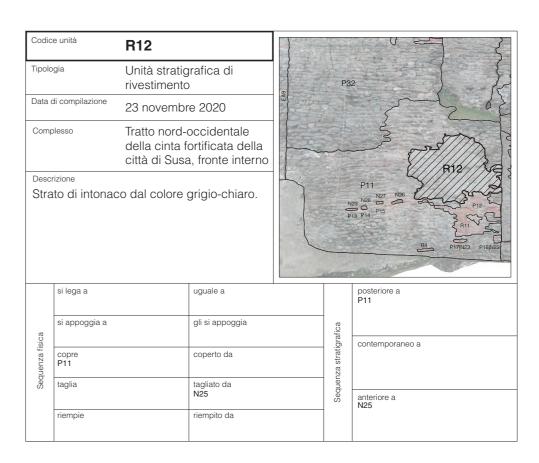
			1		
Codice unità	R1		~	3	
Tipologia	Unità stration		3	3	
Data di compilazione	23 novemb	re 2020	~~	~	my
Complesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		R	2
Descrizione Strato di intona	co dal colore	grigio-chiaro.		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
si lega a		uguale a			posteriore a P1
si appoggia a		gli si appoggia		afica	
copre P1 taglia	copre P1			Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
taglia		tagliato da		dneu	
				Se	anteriore a

riempito da

riempie

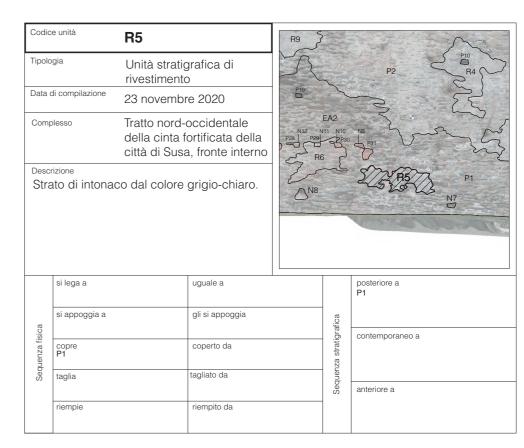
Codio	ce unità	R2				-P6 P5
Tipolo	ogia	Unità stration		R4 P2		ELITATION TO STATE OF THE STATE
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	5	177	THE
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			R2
Stra	ato di intonad	co dal colore	grigio-chiaro.		21	R1
Stra		co dal colore				
Stra	ato di intonac	co dal colore	grigio-chiaro.			posteriore a P1, P2, P3, EA1, N1
		co dal colore				posteriore a P1, P2, P3, EA1, N1
	si lega a		uguale a			posteriore a
Sequenza fisica	si lega a si appoggia a		uguale a gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	posteriore a P1, P2, P3, EA1, N1

Codic	ce unità	R11					
Tipolo	ogia	Unità stration		6	P3	32	
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	EA9			
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno			\$ 12 8/2 8/2 8	
Stra	ato di intona	co dal colore	grigio-chiaro.		-	P11 P12 N28 N27 N28 P12 P13 P14 P17 P12 P17 P12 P17 P17 P12 P17 P17	
	si lega a		uguale a			posteriore a P12	
ca	si appoggia a		gli si appoggia		rafica		
Sequenza fisica	copre CP12		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a	
Seq	taglia		tagliato da		Sequen;	anteriore a	
	riempie		riempito da		-		



Codice unità	R3	_				
Tipologia	Unità stration		N3	Р	4	
Data di compilazione	23 novemb	re 2020	nh			
Complesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		EA3	H3	
			2		EA2	
si lega a		uguale a			posteriore a P4	
si appoggia a		gli si appoggia		afica		
copre P4 taglia		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a	
taglia		tagliato da N3		Sednen	anteriore a	
riempie		riempito da			N3	

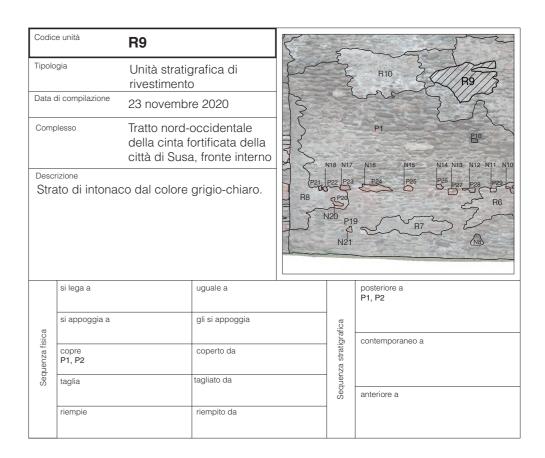
Codic	e unità R4			R9	>		2
Tipolo	Unità stratigrafic rivestimento a di compilazione 23 novembre 20			5		P2	2045
Data			bre 2020	P10	7		72
Comp	plesso	della cinta	d-occidentale I fortificata della sa, fronte interno	P28 P29	EA2	Ng P31	-25
Stra	erizione ato di intona	co dal colore	e grigio-chiaro.	N8 △N8		2-57 R5	P1 N7 N7
Stra		co dal colore	e grigio-chiaro.	ON8		2-57.00)	P1 N7 N7
Stra		co dal colore	e grigio-chiaro.	∑ N8		posteriore a P2, P9	P1 N7
	ato di intona	co dal colore		N8	rafica	P2, P9	
	si lega a	co dal colore	uguale a	N8	za stratigrafica		
Sednenza fisica	si lega a si appoggia a	co dal colore	uguale a gli si appoggia	N8	Sequenza stratigrafica	P2, P9	



Codio	ce unità	R6		R9	5	
Tipolo	ogia	Unità stratigrafica di rivestimento		5		P2 R4
Data	di compilazione	23 novemb	23 novembre 2020		7	- 52
Com	plesso	della cinta	occidentale fortificata della a, fronte interno	P28 P29	EA2	
Stra	ato di intona	co dal colore	grigio-chiaro.	△N8		4-57-85 P1
Stra		co dal colore		∑N8		5-57:05 \ N7
Stra	ato di intonac	co dal colore	grigio-chiaro.	△N8		5-53-05 N7
		co dal colore		△N8		posteriore a P1
	si lega a	co dal colore	uguale a	△N8		posteriore a
Sednenza fisica	si lega a si appoggia a	co dal colore	uguale a gli si appoggia	△N8	Sequenza stratigrafica	posteriore a P1

Codic	ce unità	R7			<	
Tipolo	ogia	Unità stration			- { }	R10
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	3		
Comp	plesso	della cinta f	occidentale ortificata della a, fronte interno		N18 N17	P1
	rizione ato di intona:	co dal colore	grigio-chiaro.	R8 P21	1 P22 P23 1 P20 N20 P1 N21	
	si lega a		uguale a			posteriore a P1
Œ	si appoggia a		gli si appoggia		afica	
Sequenza fisica	copre P1		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a
Sec	taglia		tagliato da		Sequer	anteriore a
	riempie		riempito da			

Codic	e unità	R8			<u> </u>		
Tipolo	gia	Unità stration rivestimento	nità stratigrafica di vestimento		-	R10 R9	
Data o	Data di compilazione 23 novemb		re 2020			man 3 M	
Comp	olesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		V18 N17	P1 P10 P10 N16 N16 N16 N15 N16 N17 N10	
Stra	to di intonad	co dal colore	grigio-chiaro.	F18	P22 P23 P20 N20 P1	R6	
	si lega a		uguale a			posteriore a P1	
a	si appoggia a		gli si appoggia		afica		
Sequenza fisica	copre P1		coperto da		Sequenza stratigrafica	contemporaneo a	
Sed	taglia	tagliato da N18, N19, N20			Sednenz	anteriore a N18, N19, N20	
	riempie		riempito da			NIO, NIS, NZU	



Codia	e unità				The Park Street		
Codic	e unita	R10			577	77777 FF	
Tipolo	rivestimento				-E/	R10	25
Data	di compilazione	23 novemb	re 2020	3			7
Comp	plesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		N18 N17	P1	N14
Desc	rizione			7	P22 P23		Pag
				R8	V20	. ~~~	
					N20 P1 N21	~ H	7~~
	si lega a		uguale a		P1	posteriore a P1, P34	7
sica	si lega a si appoggia a		uguale a gli si appoggia		N21	posteriore a P1, P34	7
uenza fisica					N21	posteriore a	7 7
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		P1	posteriore a P1, P34	a

Coulci	e unità	R13			TO N	
Tipolo	gia	Unità stration		}	}	
Data c	li compilazione	23 novemb	re 2020	(R	13	unio S
Comp	lesso	della cinta f	occidentale fortificata della a, fronte interno		3	P3
Stra	ito di intona	co dal colore	grigio-chiaro.	\(\lambda\)	3	
					Y	
	si lega a		uguale a			posteriore a P32
ica	si lega a si appoggia a		uguale a gli si appoggia		rafica	P32
uenza fisica					za stratigrafica	
Sequenza fisica	si appoggia a		gli si appoggia		Sequenza stratigrafica	P32

I rapporti stratigrafici tra le unità

USM	TIPO DI RELAZIONE	CON	RAPPORTO TEMPORALE
P1	SI LEGA A	P10	CONTEMPORANEITA'
P1	SI LEGA A	P11	CONTEMPORANEITA'
P1	SI LEGA A	EA1	CONTEMPORANEITA'
P1	GLI SI APPOGGIA	P2	ANTERIORITA'
P1	GLI SI APPOGGIA	P33	ANTERIORITA'
P1	GLI SI APPOGGIA	P34	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R1	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R2	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R5	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R6	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R7	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R8	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R9	ANTERIORITA'
P1	COPERTO DA	R10	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N1	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N7	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N8	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N9	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N10	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N11	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N12	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N13	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N14	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N15	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N16	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N17	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N18	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N19	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N20	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N21	ANTERIORITA'
P1	TAGLIATO DA	N22	ANTERIORITA'
P2	SI APPOGGIA A	P1	POSTERIORITA'
P2	GLI SI APPOGGIA	P34	ANTERIORITA'
P2	GLI SI APPOGGIA	P35	ANTERIORITA'
P2	GLI SI APPOGGIA	P36	ANTERIORITA'
P2	COPERTO DA	R2	ANTERIORITA'
P2	COPERTO DA	R4	ANTERIORITA'
P2	COPERTO DA	R9	ANTERIORITA'
P2	TAGLIATO DA	N4	ANTERIORITA'
P2	TAGLIATO DA	N5	ANTERIORITA'
P2	TAGLIATO DA	N6	ANTERIORITA'
P3	SI LEGA A	P2	CONTEMPORANEITA'
P3	SI LEGA A	P4	CONTEMPORANEITA'
P3	SI LEGA A	P7	CONTEMPORANEITA'
P3	SI APPOGGIA A	EA1	POSTERIORITA'
P3	GLI SI APPOGGIA	P35	ANTERIORITA'
P3	COPERTO DA	R2	ANTERIORITA'
P3	TAGLIATO DA	N2	ANTERIORITA'
P3	TAGLIATO DA	N3	ANTERIORITA'
P3	TAGLIATO DA	N4	ANTERIORITA'
P3	TAGLIATO DA	N5	ANTERIORITA'
P4	SI LEGA A	P3	CONTEMPORANEITA'
P4	GLI SI APPOGGIA	P35	ANTERIORITA'
P4	GLI SI APPOGGIA	P36	ANTERIORITA'

P4	COPERTO DA	R3	ANTERIORITA'	P33	SI LEGA A	P47	CONTEMPORANEITA'
P4	TAGLIATO DA	N3	ANTERIORITA'	P33	SI LEGA A	EA10	CONTEMPORANEITA'
P5	RIEMPIE	N5	POSTERIORITA'	P33	SI APPOGGIA A	P1	POSTERIORITA'
P6	RIEMPIE	N4	POSTERIORITA'	P33	SI APPOGGIA A	P11	POSTERIORITA'
P7	SI LEGA A	P3	CONTEMPORANEITA'	P33	GLI SI APPOGGIA	EA7	ANTERIORITA'
P7	COPERTO DA	R2	ANTERIORITA'	P33	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
P8	SI LEGA A	P2	CONTEMPORANEITA'	P33	TAGLIATO DA	N30	ANTERIORITA'
P9	SI LEGA A	P2	CONTEMPORANEITA'	P33	TAGLIATO DA	N31	ANTERIORITA'
P9	COPERTO DA	R4	ANTERIORITA'	P34	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
P10	SI LEGA A	P1	CONTEMPORANEITA'	P34	SI LEGA A	P36	CONTEMPORANEITA'
P11	SI LEGA A	P1	CONTEMPORANEITA'	P34	SI LEGA A	P41	CONTEMPORANEITA'
P11	GLI SI APPOGGIA	P32	ANTERIORITA'	P34	SI APPOGGIA A	P1	POSTERIORITA'
P11	GLI SI APPOGGIA	P33	ANTERIORITA'	P34	GLI SI APPOGGIA	P50	ANTERIORITA'
P11	GLI SI APPOGGIA	EA9	ANTERIORITA'	P34	GLI SI APPOGGIA	EA7	ANTERIORITA'
P11	COPERTO DA	R12	ANTERIORITA'	P34	GLI SI APPOGGIA	EA11	ANTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N22	ANTERIORITA'	P34	COPERTO DA	R10	ANTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N23	ANTERIORITA'	P35	SI APPOGGIA A	P2	POSTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N24	ANTERIORITA'	P35	SI APPOGGIA A	P3	POSTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N25	ANTERIORITA'	P35	SI APPOGGIA A	P4	POSTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N26	ANTERIORITA'	P35	GLI SI APPOGGIA	P36	ANTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N27	ANTERIORITA'	P35	TAGLIATO DA	N6	ANTERIORITA'
P11	TAGLIATO DA	N28	ANTERIORITA'	P36	SI LEGA A	P34	CONTEMPORANEITA'
P11	TAGLIATO DA	N29	ANTERIORITA'	P36	SI APPOGGIA A	P2	POSTERIORITA'
P12	RIEMPIE	N25	POSTERIORITA'	P36	SI APPOGGIA A	P4	POSTERIORITA'
P12	COPERTO DA	R11	ANTERIORITA'	P36	SI APPOGGIA A	P35	POSTERIORITA'
P13	RIEMPIE	N29	POSTERIORITA'	P36	GLI SI APPOGGIA	EA11	ANTERIORITA'
P14	RIEMPIE	N28	POSTERIORITA'	P37	SI LEGA A	EA8	CONTEMPORANEITA'
P15	RIEMPIE	N27	POSTERIORITA'	P37	SI LEGA A	EA9	CONTEMPORANEITA'
P16	RIEMPIE	N24	POSTERIORITA'	P37	SI APPOGGIA A	P32	POSTERIORITA'
P17	RIEMPIE	N23	POSTERIORITA'	P37	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
P18	RIEMPIE	N22	POSTERIORITA'	P37	TAGLIATO DA	N33	ANTERIORITA'
P19	RIEMPIE	N21	POSTERIORITA'	P37	TAGLIATO DA	N34	ANTERIORITA'
P20	RIEMPIE	N20	POSTERIORITA'	P38	RIEMPIE	N34	POSTERIORITA'
P21	RIEMPIE	N18	POSTERIORITA'	P39	SI LEGA A	EA10	CONTEMPORANEITA'
P22	RIEMPIE	N19	POSTERIORITA'	P40	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
P23	RIEMPIE	N17	POSTERIORITA'	P41	SI LEGA A	P34	CONTEMPORANEITA'
P24	RIEMPIE	N16	POSTERIORITA'	P42	SI LEGA A	EA11	CONTEMPORANEITA'
P25	RIEMPIE	N15	POSTERIORITA'	P43	SI LEGA A	EA11	CONTEMPORANEITA'
P26	RIEMPIE	N14	POSTERIORITA'	P44	SI LEGA A	EA11	CONTEMPORANEITA'
P27	RIEMPIE	N13	POSTERIORITA'	P45	SI LEGA A	EA11	CONTEMPORANEITA'
P28	RIEMPIE	N12	POSTERIORITA'	P46	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
P29	RIEMPIE	N11	POSTERIORITA'	P46	SI LEGA A	EA8	CONTEMPORANEITA'
P30	RIEMPIE	N10	POSTERIORITA'	P46	SI LEGA A	EA10	CONTEMPORANEITA'
P31	RIEMPIE	N9	POSTERIORITA'	P46	SI APPOGGIA A	P32	POSTERIORITA'
P32	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'	P46	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
P32	SI APPOGGIA A	P11	POSTERIORITA'	P46	TAGLIATO DA	N35	ANTERIORITA'
P32	GLI SI APPOGGIA	P37	ANTERIORITA'	P47	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
P32	GLI SI APPOGGIA	EA8	ANTERIORITA'	P47	SI LEGA A	EA7	CONTEMPORANEITA'
P32	GLI SI APPOGGIA	EA9	ANTERIORITA'	P47	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
P32	COPERTO DA	R13	ANTERIORITA'	P48	RIEMPIE	N36	POSTERIORITA'
P32	TAGLIATO DA	N32	ANTERIORITA'	P49	SI LEGA A	EA6	CONTEMPORANEITA'
P33	SI LEGA A	P32	CONTEMPORANEITA'	P49	SI LEGA A	P50	CONTEMPORANEITA'
P33	SI LEGA A	P34	CONTEMPORANEITA'	P49	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'
P33	SI LEGA A	P39	CONTEMPORANEITA'	P50	SI LEGA A	P49	CONTEMPORANEITA'
P33	SI LEGA A	P40	CONTEMPORANEITA'	P50	SI LEGA A	P51	CONTEMPORANEITA'
P33	SI LEGA A	P46	CONTEMPORANEITA'	P50	SI LEGA A	EA7	CONTEMPORANEITA'

P50	SI LEGA A	EA6	CONTEMPORANEITA'	N9	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P50	SI APPOGGIA A	P34	POSTERIORITA'	N9	RIEMPITO DA	P31	POSTERIORITA'
P50	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'	N10	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P50	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'	N10	TAGLIA	R6	POSTERIORITA'
P50	TAGLIATO DA	N36	ANTERIORITA'	N10	RIEMPITO DA	P30	ANTERIORITA'
P50	TAGLIATO DA	N37	ANTERIORITA'	N11	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P51	SI LEGA A	EA6	CONTEMPORANEITA'	N11	TAGLIA	R6	POSTERIORITA'
P51	SI LEGA A	P50	CONTEMPORANEITA'	N11	RIEMPITO DA	P29	ANTERIORITA'
P51	TAGLIATO DA	N36	ANTERIORITA'	N12	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P51	TAGLIATO DA	N37	ANTERIORITA'	N12	RIEMPITO DA	P28	ANTERIORITA'
P52	SI LEGA A	EA5	CONTEMPORANEITA'	N13	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P52	SI LEGA A	EA6	CONTEMPORANEITA'	N13	RIEMPITO DA	P27	ANTERIORITA'
P52	SI LEGA A	P53	CONTEMPORANEITA'	N14	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P52	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'	N14	RIEMPITO DA	P26	ANTERIORITA'
P53	SI LEGA A	EA5	CONTEMPORANEITA'	N15	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P53	SI LEGA A	EA6	CONTEMPORANEITA'	N15	RIEMPITO DA	P25	ANTERIORITA'
P53	SI LEGA A	P52	CONTEMPORANEITA'	N16	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P53	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'	N16	RIEMPITO DA	P24	ANTERIORITA'
P54	SI LEGA A	P55	CONTEMPORANEITA'	N17	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P54	SI LEGA A	EA4	CONTEMPORANEITA'	N17	TAGLIA	R8	POSTERIORITA'
P54	SI LEGA A	EA5	CONTEMPORANEITA'	N17	RIEMPITO DA	P23	ANTERIORITA'
P54	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'	N18	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P55	SI LEGA A	EA4	CONTEMPORANEITA'	N18	TAGLIA	R8	POSTERIORITA'
P55	SI LEGA A	EA5	CONTEMPORANEITA'	N18	RIEMPITO DA	P21	ANTERIORITA'
P55	SI LEGA A	P54	CONTEMPORANEITA'	N19	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P55	SI LEGA A	P56	CONTEMPORANEITA'	N19	TAGLIA	R8	POSTERIORITA'
P55	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'	N19	RIEMPITO DA	P22	ANTERIORITA'
P56	SI LEGA A	P55	CONTEMPORANEITA'	N20	TAGLIA	R8	POSTERIORITA'
P56	SI LEGA A	EA4	CONTEMPORANEITA'	N20	RIEMPITO DA	P20	ANTERIORITA'
P56	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'	N21	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'
P57	RIEMPIE	N32	POSTERIORITA'	N21	RIEMPITO DA	P19	ANTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P37	POSTERIORITA'	N22	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P33	POSTERIORITA'	N22	RIEMPITO DA	P18	ANTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P50	POSTERIORITA'	N23	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P53	POSTERIORITA'	N23	RIEMPITO DA	P17	ANTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P55	POSTERIORITA'	N24	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
P58	SI APPOGGIA A	P56	POSTERIORITA'	N24	RIEMPITO DA	P16	ANTERIORITA'
N1	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'	N25	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
N1	TAGLIA	R2	POSTERIORITA'	N25	TAGLIA	R12	POSTERIORITA'
N2	TAGLIA	P3	POSTERIORITA'	N25	RIEMPITO DA	P12	ANTERIORITA'
N3	TAGLIA	P3	POSTERIORITA'	N26	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
N3	TAGLIA	P4	POSTERIORITA'	N27	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
N3	TAGLIA	EA1	POSTERIORITA'	N27	RIEMPITO DA	P15	ANTERIORITA'
N3	TAGLIA	EA2	POSTERIORITA'	N28	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
N3	TAGLIA	R3	POSTERIORITA'	N28	RIEMPITO DA	P14	ANTERIORITA'
N3	RIEMPITO DA	EA3	ANTERIORITA'	N29	TAGLIA	P11	POSTERIORITA'
N4	TAGLIA	P2	POSTERIORITA'	N29	RIEMPITO DA	P13	ANTERIORITA'
N4	TAGLIA	P3	POSTERIORITA'	N30	TAGLIA	P33	POSTERIORITA'
N4	RIEMPITO DA	P6	ANTERIORITA'	N31	FESSURAZIONE		
N5	TAGLIA	P2	POSTERIORITA'	N32	TAGLIA	P32	POSTERIORITA'
N5	TAGLIA	P3	POSTERIORITA'	N32	RIEMPITO DA	P57	ANTERIORITA'
N5	RIEMPITO DA	P5	ANTERIORITA'	N33	TAGLIA	P37	POSTERIORITA'
N6	TAGLIA	P2	POSTERIORITA'	N34	TAGLIA	P37	POSTERIORITA'
N6	TAGLIA	P35	POSTERIORITA'	N34	RIEMPITO DA	P38	ANTERIORITA'
N7	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'	N35	TAGLIA	P46	POSTERIORITA'
N8	TAGLIA	P1	POSTERIORITA'	N36	TAGLIA	P50	POSTERIORITA'

Nac	TACLIA	DE1	DOSTEDIODITA
N36 N36	TAGLIA RIEMPITA DA	P51 P48	POSTERIORITA' ANTERIORITA'
N37	TAGLIA	P50	POSTERIORITA'
N37	TAGLIA	P51	POSTERIORITA'
	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R1			
R2	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R2	COPRE	P2	POSTERIORITA'
R2	COPRE	P3	POSTERIORITA'
R2	COPRE	EA1	POSTERIORITA'
R2	COPRE	N1	POSTERIORITA'
R3	COPRE	P4	POSTERIORITA'
R3	TAGLIATO DA	N3	ANTERIORITA'
R4	COPRE	P2	POSTERIORITA'
R4	COPRE	P9	POSTERIORITA'
R5	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R6	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R6	TAGLIA	N10	ANTERIORITA'
R6	TAGLIA	N11	ANTERIORITA'
R7	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R8	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R9	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R9	COPRE	P2	POSTERIORITA'
R10	COPRE	P1	POSTERIORITA'
R10	COPRE	P34	POSTERIORITA'
R11	COPRE	P12	POSTERIORITA'
R12	COPRE TAGLIATO DA	P11 N25	POSTERIORITA' ANTERIORITA'
R12 R13	COPRE	P32	POSTERIORITA'
EA1	SI LEGA A	P1	CONTEMPORANEITA'
EA1	UGUALE A	EA2	CONTEMPORANEITA'
EA1	GLI SI APPOGGIA	P3	ANTERIORITA'
EA1	TAGLIATO DA	N3	ANTERIORITA'
EA2	UGUALE A	EA1	CONTEMPORANEITA'
EA2	COPERTO DA	R3	ANTERIORITA'
EA2	TAGLIATO DA	N3	ANTERIORITA'
EA3	RIEMPIE	N3	POSTERIORITA'
EA4	SI LEGA A	P54	CONTEMPORANEITA'
EA4	SI LEGA A	P55	CONTEMPORANEITA'
EA4	SI LEGA A	P56	CONTEMPORANEITA'
EA4	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'
EA5	SI LEGA A	P52	CONTEMPORANEITA'
EA5	SI LEGA A	P53	CONTEMPORANEITA'
EA5	SI LEGA A	P54	CONTEMPORANEITA'
EA5	SI LEGA A	P55	CONTEMPORANEITA'
EA5	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'
EA5	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
EA6	SI LEGA A	P49	CONTEMPORANEITA'
EA6	SI LEGA A	P50	CONTEMPORANEITA'
EA6	SI LEGA A	P51	CONTEMPORANEITA'
EA6	SI LEGA A	P52	CONTEMPORANEITA'
EA6	SI LEGA A	P53	CONTEMPORANEITA'
EA6	SI APPOGGIA A	EA11	POSTERIORITA'
EA6	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
EA7	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
EA7	SI LEGA A	P47	CONTEMPORANEITA'
EA7	SI LEGA A	P50	CONTEMPORANEITA'

EA7	SI APPOGGIA A	P34	POSTERIORITA'
EA7	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
EA8	SI LEGA A	P37	CONTEMPORANEITA'
EA8	SI LEGA A	P46	CONTEMPORANEITA'
EA8	SI APPOGGIA A	P32	POSTERIORITA'
EA8	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
EA9	SI LEGA A	P37	CONTEMPORANEITA'
EA9	SI LEGA A	P32	CONTEMPORANEITA'
EA9	SI APPOGGIA A	P11	POSTERIORITA'
EA9	GLI SI APPOGGIA	P58	ANTERIORITA'
EA10	SI LEGA A	P32	CONTEMPORANEITA'
EA10	SI LEGA A	P33	CONTEMPORANEITA'
EA10	SI LEGA A	P39	CONTEMPORANEITA'
EA10	SI LEGA A	P46	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI LEGA A	P41	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI LEGA A	P42	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI LEGA A	P43	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI LEGA A	P44	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI LEGA A	P45	CONTEMPORANEITA'
EA11	SI APPOGGIA A	P34	POSTERIORITA'
EA11	SI APPOGGIA A	P36	POSTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	P49	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	P50	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	P52	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	P54	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	P56	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	EA4	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	EA5	ANTERIORITA'
EA11	GLI SI APPOGGIA	EA6	ANTERIORITA'

Bibliografia

Geomatica

Bornaz L., *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente del Territorio e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino. 2006

RINAUDO F., *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in SACERDOTE F., Tucci G. (a cura di), *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Allinea Editrice, Firenze, 2007

AICARDI I., BOCCARDO P., CHIABRANDO F., DONADIO E., LINGUA A., MASCHIO P., NOARDO F., SPANÒ A., *Modelli 3d multi sensore per l'acropoli segusina*, in «Segusium», 2009, Anno LII

CHIABRANDO F., SPANO' A., Points Clouds generation using TLS and dense-matching techniques. A test on approachable accuracies of different tools, in «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», Vol. II, 2013

Terzago M., Rilevo e scansione laser e valutazioni statiche delle rovine dell'acquedotto romano di Susa, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, rel. Spanò A., Invernizzi S., a.a. 2014

AICARDI I., BOCCARDO P., CHIABRANDO F., DONADIO E., LINGUA A., MASCHIO P., NOARDO F., SPANÒ A., *Rilievo metrico 3D multiscala per l'indagine e la rappresentazione architettonica e ambientale dell'area archeologica di Susa*, atti 18^a Conferenza Nazionale ASITA, 14 - 16 ottobre 2014, Firenze

Carnino G., Susa antica: aggiornamento cartografico da tecniche di rilievo innovative ed implementazione dati in ambiente GIS, Tesi di Laurea, Politecnico

di Torino, Facoltà di Architettura, rel. Antonia Teresa Spanò, a.a. 2014/2015

Spanò A., Fotogrammetria digitale e scansione 3D per il rilievo dei Beni Culturali, Politecnico di Torino, a.a. 2016/2017

CHIABRANDO F., DONADIO E., SPANÒ A., *Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili*, in «SCAVI AD AQUILEIA III. Aquileia, l'insula tra Foro e porto fluviale Lo scavo dell'Università degli Studi di Trieste 1. La strada», Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2017

Bonfanti C., Atelier di Restauro -Strumenti avanzati per il rilievo e la rappresentazione, dispense del corso, Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018

ABBATE E., CALANTROPIO E., SAMMARTANO G., SPANÒ A., Fotogrammetria digitale & progetti di presa, dispense del corso, Politecnico di Torino, a.a. 2019/2020

CALANTROPIO E., SAMMARTANO G., SPANÒ A., Digital Photogrammetry SfM and image matching. EXE: Metashape SW, Politecnico di Torino, a.a. 2019/2020

Spanò A., Fotogrammetria digitale e scansione 3D. Documentazione del Patrimonio, Politecnico di Torino, a.a. 2019/2020

Perri S., Spanò N., Ortofoto e modelli 3D ad alta risoluzione per la valutazione del degrado di murature affrescate. Il Cappellone della basilica di San Nicola di Tolentino, in «L'esperienza interdisciplinare della task force del Politecnico di Torino per il terremoto del Centro Italia (2016 - 2017). Sviluppi e prospettive», Atti e Rassegna Tecnica dell Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, LXXIII-3, 2019

Ricerca storica

Ponsero G., Sunto sovra la mura di cinta della città di Susa in cui si trovano nel settembre 1846 due marmi fregiati d'iscrizione, Tip. Spirito Cravotto, Susa, 1847

Torelli L., *Manuale topografico archeologico dell'Italia*, Vol. I, Tipografia Grimaldo e C., Venezia, 1875

Desjardins E. E. A., *Géographie historique et administrative, La conquete*, vol.2, Paris, 1878

Dotto De Dauli C., L'Italia. Dai primordi all'evo antico, Tipografia e litografia Democratica di Antonio Danesi, Forlì, 1879

TARAMELLI A., Susa: note archeologiche segusine: notizie dagli scavi: luglio 1898, Atti della R. Accademia dei Lincei. Memorie della Classe di scienze morali, storiche e filologiche, 1898, Serie 5, Annata 295, vol. VI

Ferrero E., L'Arco di Augusto a Susa, Bocca Frères Editori, Torino, 1901

Capello C. F., Scoperta di rocce cuppelliformi nell'agro segusino, in «Atti della SPABA», 1 - 4, 1949

DE LAET S., Portorium. Etude sur l'organisation douanière chez les Romaines, Bruges, 1949

PRIEUR J., La province romaine des Alpes Cottiennes, Imprimerie Gauthier, Villeurbanne, 1968

Brecciaroli Taborelli L., *Tombe romane del periodo medio-imperiale a Susa* (Segusio), in «Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte», 5, Torino, 1986

Petit J. P., Puits et fosses rituels en Gaule après l'exemple de Bliesbruck (Moselle), Groupe d'étude pour le développement et l'aménagement du site archéologique de Bliesbruck, 1988

Mercando L., *La città, le mura, le porte,* in Mercando L. (a cura di), *La Porta del Paradiso. Un restauro a Susa*, Stamperia Artistica Nazionale, Trofarello, 1993

Scalva G., Gli archi dell'acquedotto e le mura: la sistemazione della passeggiata archeologica, in Mercando L. (a cura di), La Porta del Paradiso. Un restauro a Susa, Stamperia Artistica Nazionale, Trofarello, 1993

GROS P. (a cura di), *Vitruvio, De Architectura*, VIII, VI, 1., trad. it Corso A., Romano E., Torino, Einaudi, 1997

Brecciaroli Taborelli L., Forme e tempi dell'urbanizzazione nella Cisalpina: Il secolo a.C. - I secolo d.C., Atti delle giornate di studio, Torino 4-6 maggio 2006, All'Insegna del Giglio, Firenze, 2007

CIMAROSTI E., Aggiornamenti epigrafici alla "Carta Archeologica della Valle di Susa", in «Rivista di Studi Liguri», LXXII - LXXIII, 2009

Dezzani L., Patria L., *Dalla Segusio romana alla villa Secusie medioevale: forme urbane, strade e risorse ambientali*, in «Segusium», 2009, Vol. 48

DEZZANI L. e PATRIA L., Territorio, strade e città fortificate: tarda antichità e medioevo a cavallo delle Alpi, in «Segusium», 2010, Vol. 49

CIMAROSTI E., Le iscrizioni di età romana sul versante italiano delle "alpes cottiae", in Sylloge Epigraphica Barcinonensis», Annexos I, Universitat de Barcelona, 2012

Cortinovis F., Costantino. Da tetrarca e pontefice massimo a cosmocrate e vescovo universale, Tesi di laurea, Università Ca' Foscari di Venezia, rel. Cresci Marrone G., a.a. 2012-2013

Guadagnucci A., *Le comunità alpine al tempo dell'impero romano*, in «Naturalmente divisi. Storia e autonomia delle antiche comunità alpine», Atti del convegno di studi, Breno, Palazzo della Cultura, 29 settembre 2012, (a cura di) Giarelli L., Incontri per lo Studio delle Tradizioni Alpine, Valcamonica, 2013

MARCONI G., La figura di Costantino nell'ordo Panegyricorum e la nascita del potere costantiniano, Enciclopedia costantiniana sulla figura e immagine dell'imperatore del cosiddetto "Editto di Milano" 313, 2013

Barello F., Ferrero L., Uggé S., *Evidenze archeologiche in Valle di Susa:* acquisizioni, bilanci, prospettive di ricerca, in «Segusium», Anno L, 2013, vol. 52

Zanforlini C., *Mura e porte delle città romane in Piemonte*, intervento in «Seguendo le tracce degli Antichi», 8 maggio 2014

ARCA' A., BOREL RUBAT F., Rocce e tavole a coppelle nella regione alpina, contesti archeologici e ambientali, in «Bulletin d'études prehistoriques et archeologiques alpines», Aosta, 201

Barello F., Del Vecchio P., Panero E., Vota D., L'arco di Susa e i monumenti della propaganda imperiale in età augustea, in «Segusium. Società di Ricerche e Studi Valsusini», Anno LII, Susa, 2015

Roda S., *Il territorio valsusino nel quadro della romanizzazione*, in «Terra di Confine. Percorsi tra storia e arte nelle valli di Susa», I, Susa 2017

LETTA C., La dinastia cozia e la politica romana, in Del Vecchio P., Vota D., «Storia delle valli di Susa. Preistoria, età romana, medioevo fino al Trecento», Il Graffio, Borgone di Susa, 2018

CARANZANO S., L'arco di Augusto di Susa. Architettura, urbanistica e segni visuali nella propaganda augustea, in «Atti e rassegna tecnica della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino», anno 152 - LXXXIII, n. 1, Torino, aprile 2019

DEZZANI L., MAGGI E., Porta Piemonte a Susa: le vicende urbane dal XVII al XIX secolo, in «Segusium», 2020, Vol. 58

Patriucco G., Spanò A., Un progetto di ricostruzione virtuale del "triangolo fortificato" di Susa, in «Segusium», 2020, Vol. 58

Analisi del costruito

ADAM J.P., L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche, Longanesi, Milano, 1994

Doglioni F., Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura, Lint Editoriale Associati, Trieste, 1997

Boato A., L'archeologia in architettura. Misurazioni, stratigrafie, datazioni, restauro, Marsilio, Venezia, 2008

Brogiolo G. P., Cagnana A., *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*, All'Insegna del Giglio, Firenze, 2012

Zanforlini C., Mura e porte delle città romane in Piemonte, 2014

Beltramo S., Donadio E., Spanò A., Stratigraphic Analyses, Historical Evidences and 3D Documentation Tools: Deepening Built Heritage. New researches for historical building sites in Staffarda, IGI Global, 2019



RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento va alla Professoressa Nannina Spanò, per la sua disponibilità ed esperienza. Nonostante le difficoltà di questo memorabile periodo storico, ha saputo indirizzarmi al completamento di questa tesi.

Ringrazio il Professore Cesare Tocci che ha saputo trasmettermi dei preziosi consigli.

Al Lab di Geomatica del DAD e in particolare a Giacomo Patrucco, Giulia Sammartano e Lorenzo Teppati Losè, per le svariate consulenze, la loro competenza e la loro passione.

A mia madre e mio padre che sono sempre presenti e hanno speso molti sacrifici, si meritano qualche soddisfazione.

A mia sorella, geograficamente lontana ma presente più della mia stessa ombra, è sempre un supporto.

A Beatrice. Non è un poema Dantesco ma se lo meriterebbe! La ringrazio per la pazienza, il sostegno e l'innata solerzia. Sempre presente, ha saputo ispirarmi ed aiutarmi.

A Matteo, Francesco, Francesca dello studio CafassoLanoRonco per le loro competenze e il loro aiuto nella mia graduale crescita professionale.

A Linus, Fabio, Piova e Jack, amici sempre vicini.

Infine, ma non in ordine di importanza, a mia nonna che mi guarda da lassù. Ti saresti commossa e saresti stata orgogliosa!