

dottorando
DOMENICO IOVANE

tutor

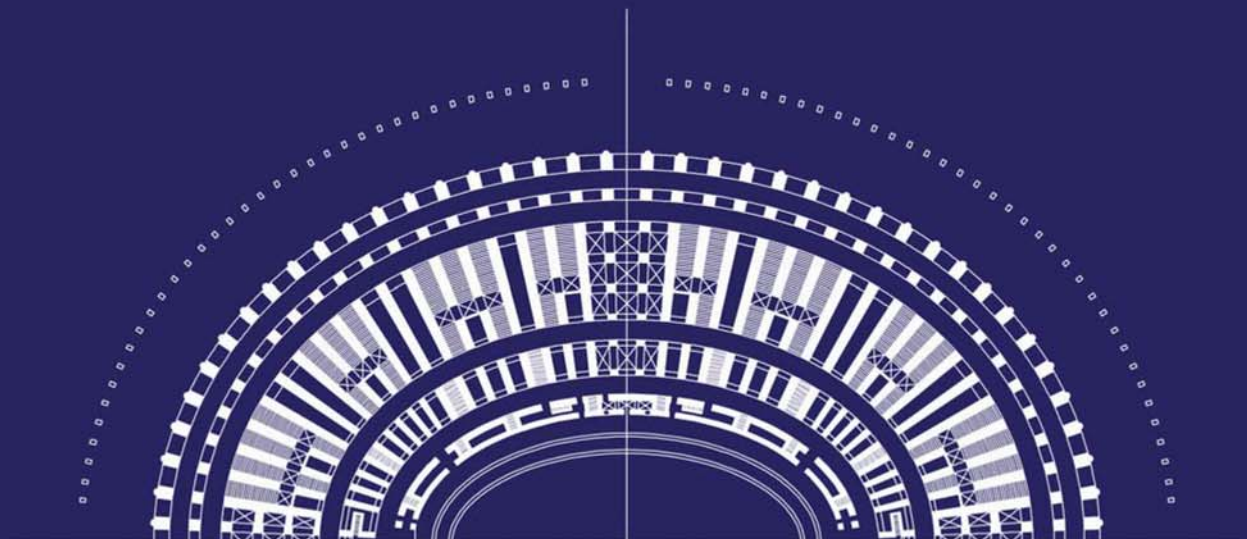
prof. arch. **MASSIMILIANO CAMPI**

METODOLOGIE INTEGRATE PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

IL RILIEVO DELL'ANFITEATRO CAMPANO

DI DI NAPOLI FEDERICO II UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II** UNIVERSITÀ

URA E DELL'AMBIENTE **DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE** DOTTORATO





Domenico Iovane si laurea in Architettura presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II con una tesi in Rilievo dell'Architettura dal titolo: *Tecniche di rilievo integrate per la conoscenza del patrimonio architettonico: il rilievo del Pio Monte della Misericordia*, relatori prof. arch. Antonella Di Luggo - prof. arch. Massimiliano Campi.

dottorando
DOMENICO IOVANE

METODOLOGIE INTEGRATE PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

Il ripercorrere il tempo a ritroso ci consente di riscoprire i tesori del passato, lavoro meticoloso e scientificamente portato a termine da quella disciplinata chiamata "archeologia".

L'archeologia è di per sé una scienza relativamente giovane ed in continua definizione dove lo studio, nel caso particolare, di edifici o monumenti può essere portato a compimento dalla relazione analisi-rilievo.

In particolar modo nel campo archeologico non ci sono strutture da rilevare, ma solo strutture da studiare che non possono essere capite senza il rilevamento.

A tal proposito possiamo parlare di "archeologia dell'architettura", dove vengono presi a riferimento la storia degli edifici, ricostruita con metodo archeologico a partire dall'analisi dei materiali impiegati e dalle tecniche messe in atto per porli in opera, nonché descrivere gli effetti del tempo sulle murature degli stessi.

Tra archeologi e architetti si instaura così un rapporto collaborativo che stabilisce una cultura comune nell'approccio agli insediamenti urbani.

DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

CHITETTURA E DELL'AMBIENTE DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE

Università degli Studi di Napoli Federico II

Dottorato di Ricerca
in **Rilievo e Rappresentazione**
dell'Architettura e dell'Ambiente ciclo XXV

Coordinatore
Riccardo Florio

Collegio dei docenti ICAR/17

Jean François Cabestan
Massimiliano Campi
Mara Capone
Raffaele Catuogno
Antonella di Luggo
Riccardo Florio
Francesco Maglioccola
Alessandra Pagliano

ciclo
XXV

In copertina
pianta dell'Anfiteatro Campano di Capua

dottorando
DOMENICO IOVANE

tutor

prof. arch. **MASSIMILIANO CAMPI**

**METODOLOGIE INTEGRATE PER LA
CONOSCENZA DEL PATRIMONIO
ARCHEOLOGICO
IL RILIEVO DELL'ANFITEATRO CAMPANO**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE

Università degli Studi di Napoli Federico II

Dottorato di Ricerca
in **Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente**
ciclo XXV

Coordinatore

Riccardo Florio

Collegio dei docenti ICAR/17

Jean François Cabestan
Massimiliano Campi
Mara Capone
Raffaele Catuogno
Antonella di Luggo
Riccardo Florio
Francesco Maglioccola
Alessandra Pagliano

Tutor

Massimiliano Campi

Ringraziamenti

Desidero ringraziare i proff. del collegio docenti ed in particolare il prof. Massimiliano Campi, per la grande disponibilità e cortesia dimostrata e per tutto l'aiuto fornito durante le varie fasi di stesura.

Un sentito ringraziamento a mio padre e mia sorella, che, con il loro incrollabile sostegno morale, mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.

Un ringraziamento al Museo Archeologico dell'Antica Capua, in particolare al dott. Francesco Sirano, per la sua disponibilità e cortesia dimostrata durante le fasi di rilevamento al sito.

Desidero inoltre ringraziare il geom. Gianni di Vico, per il supporto e l'apporto tecnico offertomi; Salvatore Santo amico nonchè cartolaio per la pazienza dimostrata nella fase di stampa del lavoro.

A mia madre

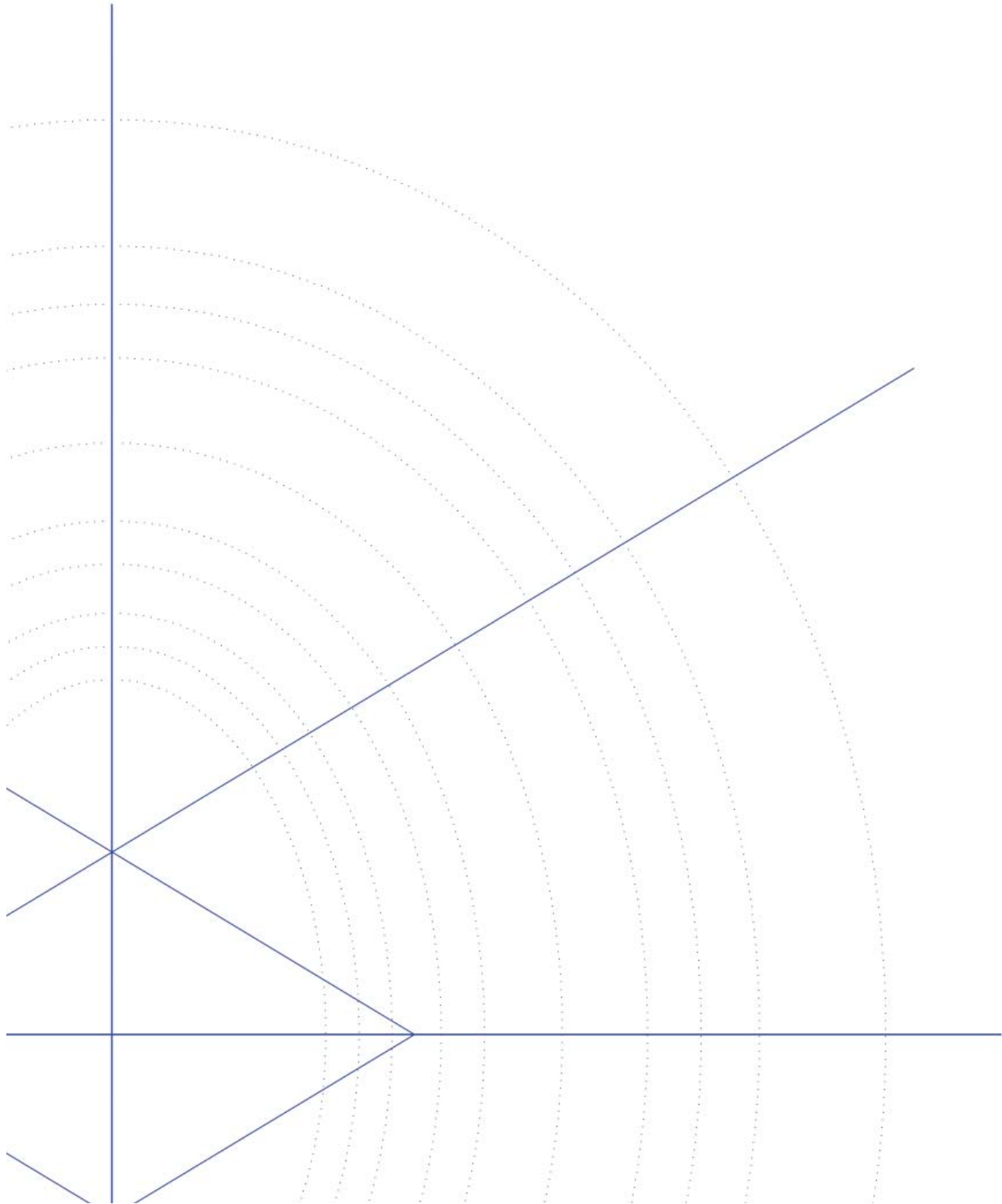
Indice

Premessa	p. 11
PARTE PRIMA	
LE ORINI DELL'ANFITEATRO	
CAPITOLO PRIMO	
La genesi dell'anfiteatro	
1.1. L'evoluzione dell'architettura teatrale	21
1.2. La nascita dell'anfiteatro	23
1.3. I primi anfiteatri	25
CAPITOLO SECONDO	
Le attività dell'anfi teatro	
2.1. Il gladiatore	29
2.2. I ludi Gladiatori	35
2.3. Le Venationes	35
2.4. Le naumachie	36
2.5. La diffusione dei primi anfi teatri	37
CAPITOLO TERZO	
Le tipologie degli anfi teatri	
3.1. Gli anfiteatri a struttura piena	43
3.2. Anfiteatri a cavea scavata o sopportata da argini continui	45
3.3. Anfiteatri a cavea sopportati da argini suddivisi in compartimenti	47

INDICE

3.4.	Anfiteatri dotati di struttura a cassoni	49
3.5.	Anfiteatri a struttura cava	51
3.6.	Edifici a struttura mista	52
CAPITOLO QUARTO		
	Le parti dell'anfiteatro	55
PARTE SECONDA		
L'ANFITEATRO CAMPANO DI SANTA MARIA CAPUA VETERE		
CAPITOLO QUINTO		
	L'area archeologica	
5.1	Il sito archeologico e le strutture di supporto	63
5.2	L'anfi teatro Repubblicano "Capua I" e l'anfiteatro Imperiale Capua II	66
PARTE TERZA		
METODOLOGIE DI RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE		
CAPITOLO SESTO		
	Il rilevamento per i siti archeologici nel tempo	
6.1	Gli strumenti per il rilievo nel mondo romano	73
6.2	Applicativi per la georeferenziazione nel rilievo attuale	77
6.3	TIN (triangulated irregular networks)	84
PARTE QUARTA		
IL RILIEVO ARCHEOLOGICO DELL'ANFITEATRO CAMPANO		
CAPITOLO SETTIMO		
	Le metodologie integrate di rilievo	
7.1	Aspetti generali del rilevamento	89
7.2	Scelta del metodo di rilevamento	90
7.3	Le fasi di lavoro	91
7.4	Gli strumenti e le metodologie di rilevamento	92
7.5	Rilevamento Satellitare	93
7.6	Strumentazione e Metodologie di Rilievo	95
7.7	La teoria fotogrammetrica	96
7.8	Il rilievo fotogrammetrico	99
7.9	Il rilievo laser scanner	102
CAPITOLO OTTAVO		
	Elaborazione dei dati	
8.1	Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo satellitare	107
8.2	Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo fotogrammetrico	110
8.3	Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo scanner laser	113

APPENDICE	
ELABORATI GRAFICI	119
ELABORATI NUMERICI	125
CONCLUSIONI	139
Bibliografia	143



Premessa

Il ripercorrere il tempo a ritroso ci consente di riscoprire i tesori del passato, lavoro meticoloso e scientificamente portato a termine da quella disciplinata chiamata “archeologia”.

Obiettivo cardine di tale disciplina è consentire lo studio, attraverso il passato, delle civiltà e delle culture relazionate all’ambiente circostante, dove si collocano anche tutti quegli elementi costituenti la forma della urbs, ovvero strade, edifici, monumenti e così via.

L’archeologia è di per sè una scienza relativamente giovane ed in continua definizione dove lo studio, nel caso particolare, di edifici o monumenti può essere portato a compimento dalla relazione analisi-rilievo.

In particolar modo nel campo archeologico non ci sono strutture da rilevare, ma solo strutture da studiare che non possono essere capite senza il rilevamento.

Il rilevamento non viene così più inteso come una semplice misurazione di un edificio o di un contesto urbano; al contrario esso, condotto rigorosamente e scientificamente, porta alla comprensione profonda e totale dell’opera.

A tal proposito possiamo parlare di “archeologia dell’architettura”, dove vengono presi a riferimento la storia degli edifici, ricostruita con metodo archeologico a partire dall’analisi dei materiali impiegati e dalle tecniche messe in atto per porli in opera, nonché descrivere gli effetti del tempo sulle murature degli stessi.

Tra archeologi e architetti si instaura così un rapporto collaborativo che stabilisce una cultura comune nell’approccio agli insediamenti urbani.

L'archeologia ci permette, attraverso una fase mentale, di ripercorre il tempo trascorso mediante un'operazione sostenuta da una serie di teorie, metodologie e procedure; queste divengono elementi fondamentali non solo da un punto di vista professionale, ma elemento etico della stessa disciplina.

Il sol pensiero di partecipare ad una campagna di scavi, essere all'interno di un sito o toccare con mano un manufatto porta la mente a proiettarci indietro nel tempo e divenire parte integrante dello scenario che si viene a creare nel nosto immaginario.

Di solito quando usiamo nel gergo comune la parola "archeologico" la mente ci porta a pensare ad un qualcosa che appartiene ad un passato lontano. Non esiste un fascia temporale entro la quale l'archeologia si rispecchia, ma possiamo affermare che tutte le epoche che investono una stessa civiltà in ogni età, di ieri e di oggi, sono oggetto di studio da parte di questa disciplina.

In archeologia di solito ci si ritrova a confrontarsi con reperti, sottoforma di manufatti ovvero opere realizzate dall'uomo oppure ambiti territoriali risultanza del connubio uomo-natura che divengono documenti fondamentali di studio. I manufatti alcune volte si configurano in monumenti ma per la maggior parte ci si confronta con semplici reperti che diventano documenti ritrovati di studio; di fatto in archeologia i documenti non si ritrovano nelle biblioteche o presso gli archivi ma presso i siti archeologici o meglio tutto intorno ciò che ci circonda.

Il campo di azione o meglio l'ambito di studio si base su diverse metodologie conoscitive del manufatto, non esiste una metodologia per ogni singola cultura, orientale, classica o per quella medievale, ma asseconda degli ambiti si utilizzerà un metodo rispetto ad un altro.

In particolar modo il metodo della stratificazione basato sulle tecniche del processo delle stratificazioni, studia i depositi spaziali di cui la componente "tempo" ha consentito una sequenza stratigrafica e quindi una sovrapposizione di componenti materiali ed immateriali di cui ne deve essere ricostruita la sequenza. Pertanto la formazione ritrovata viene scomposta nell'ordine inverso restituendo una sequenza che dovrà essere ricostruita. " [...] Se la pittura e la scultura si giudicano prevalentemente a vista, l'architettura, prima fra le arti del disegno, si giudica e si comprende anche con l'ausilio del disegno.

Se il disegno di rilievo, quindi, è da un lato lettura prediagnostica, mezzo di analisi e di controllo, efficacissima indagine non distruttiva, dall'altro è un poderoso strumento di comprensione storico-critica".

Ripercorrendo a ritroso gli studi effettuati da artisti del primo Umanesimo che affidarono alle varie tecniche di rappresentazione la mansione di trarre dalle architetture del passato i canoni formali, stilistici ed organici ed al tempo stesso gli elementi di un nuovo linguaggio: è il caso di Donatello e Brunelleschi che fecero scavare in molti luoghi per vedere e riscontrare le parti degli edifici e le loro qualità, studiando mediante la pratica del disegno la città di Roma attraverso i resti della città antica. Non da meno fu l'operato di Leon Battista Alberti, che come diremo oggi in modo scientifico, sempre in Roma, effettuò misurazioni attraverso il rilievo strumentale e successiva rappresentazione grafica nei confronti del paesaggio antico.

Il disegno archeologico si è mosso sempre di pari passo, sin dalle sue origini, con le indagini topografiche o meglio di rilievo, pertanto le fasi di scavo sono da annoverare alle fasi di rilievo e contestualmente alla loro rappresentazione grafica; infine non bisogna dimenticare l'apporto delle tecnologie digitali che hanno fatto compiere al rilievo topografico ed a quello delle strutture notevoli passi in avanti sia nell'ambito della loro rappresentazione, mediante il disegno, nonchè alla lettura stratigrafica dei contesti, sia orizzontali che verticali. Il disegno che riproduce la realtà attraverso la parafrasi grafica che ha come fine quello di rendere possibile la comparazione e quindi possiamo parlare di pratica del confronto. Pertanto il rilevatore è a tutti gli effetti un ricercatore, a cui è affidato il compito di analizzare scrupolosamente il contesto archeologico sul quale sta operando attraverso pratiche condivise nella costruzione del dato e nella sua interpretazione.

Il rilevatore deve avere una conoscenza approfondita delle caratteristiche dei manufatti e saperla applicare nei contesti più disparati. Lo sviluppo dell'analisi stratigrafica delle architetture ci permette di parlare di archeologia dell'architettura e di considerarla ormai a tutti gli effetti come una nuova disciplina e un nuovo campo di applicazione del rilievo in funzione tanto della conoscenza storica quanto di ogni progetto di restauro. E bene quindi che il rilievo sia un campo di intervento che, ancora oggi viene sminuito erroneamente in alcuni casi, sottovalutando le sue potenzialità, non solo sul piano della ricerca ma anche su quello della comunicazione.

Il rilievo archeologico si diversifica per alcuni casi da qualsiasi altro tipo di rilievo per alcune componenti dovute alla varietà degli oggetti presenti in loco e alla conseguente rappresentazione grafica, motivo per il quale il rilievo archeologico ha un atteggiamento metodologico particolare che intende indagare qualcosa di nascosto.

Fondamentalmente le procedure di rilevamento nell'ambito archeologico, fatta eccezione per alcuni casi particolari, non si discostano da quelle in uso per i manufatti architettonici recenti.

Le metodologie di lavoro negli ultimi anni sono state profondamente aggiornate dalle nuove tecnologie, anche se la pratica tradizionale del rilievo diretto ha ancora un ruolo importante in tale ambito vengono utilizzate sul campo strumentazioni sofisticate e veloci. L'informatizzazione dei dati acquisiti con il rilievo è divenuta inoltre un'esigenza irrinunciabile.

In ogni modo occorre sempre tenere presente che il rilievo non è una fotografia della realtà ma è il frutto di una interpretazione che seleziona alcuni elementi significativi in mezzo agli innumerevoli segni che compongono la visione del manufatto. Ne consegue che il rilievo archeologico non può essere separato da quello delle tecniche edilizie e delle culture materiali del mondo antico.

Con il passar del tempo si è dato spazio affinché si siano potute implementare le conoscenze tecniche nell'ambito di questo settore, ancora in continua evoluzione, consentendo a questi il divenire un vero e proprio studio, ovvero uno strumento di conoscenza per l'architettura e anche forma di espressione privilegiata, attraverso cui comunicare dati e osservazioni.

Necessita documentare non solo ciò che rimane testimonianza di un reperto o manufatto archeologico ma anche e soprattutto di ciò che si asporta, consapevoli del fatto che ogni scavo archeologico distrugge una documentazione accumulatasi nel tempo.

Ne consegue la necessità di effettuare rilievi quanto più dettagliati possibili, avendo per le diverse rappresentazioni grafiche diverse scale metriche, a seconda se ci si ritrova al cospetto di manufatti architettonici, di stratigrafie orizzontali e verticali non ultimo la rappresentazione di reperti ceramici e frammenti di decorazioni architettoniche.

Diverso è invece l'approccio mirato alla migliore conoscenza del monumento in quanto diverso è lo stato di conservazione in cui ci perviene al momento del rilievo. Gli scavi risalenti agli anni 50' quan-

do non si avevano conoscenze come ai giorni nostri, portavano alla stesura di grafici eseguiti con tecniche spesso pittoriche, che rendevano piacevole la lettura ma risultavano essere meno performanti da un punto di vista tecnico-conoscitivo così come si riscontra oggi con le innumerevoli tecniche innovative. I lavori presentavano la redazione di piante e scarse sezioni dove risultava poco attendibile il grado effettivo di conservazione del manufatto e soprattutto la stima del grado di conservazione nel tempo del manufatto che si stava studiando. Ne consegue l'importanza di reperire documenti quali diari di scavo, schizzi, fotografie per testimoniare lo stato dei luoghi. Per i monumenti che sono stati sempre in luce, ovvero di cui non si è provveduti ad ulteriori fasi di scavo, oltre alla fase di documentazione e redazione per interventi di manutenzione e restauro, il rilievo ha il compito di redigere delle carte tematiche, di stratificazioni che unite allo studio dei documenti di archivio conducono alle conoscenze delle vicende dell'edificio.

A tal riguardo si riporta quanto segue“ [...] ... ogni studioso di monumenti antichi ... dovrebbe essere in grado di realizzare da sè rilievi precisi: questo fatto costringendolo ad una grande familiarità con il monumento, comporta una serie di osservazioni ed incertezze, indubbiamente più completa di quanto non si verifichi utilizzando rilievi , anche completissimi, realizzati da altri....”

Da parte di università, soprintendenze, e strutture varie operano nel settore del rilievo archeologico professionisti di vario tipo, che hanno maturato esperienze in tale settore e che da queste dovrebbero aver appreso la capacità di affrontare i temi tecnici e metodologici, tuttavia senza avere ricevuto una formazione specifica al riguardo.

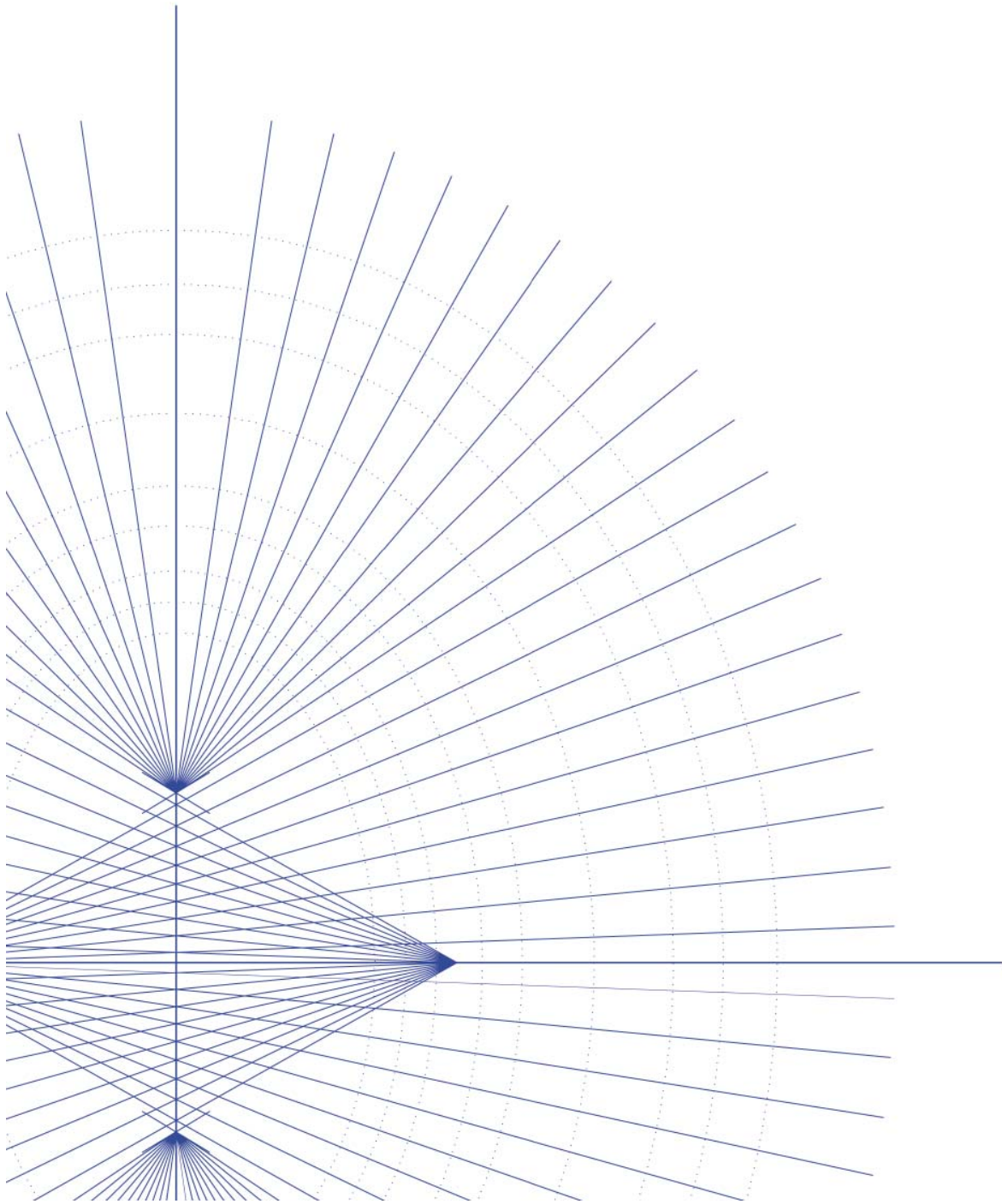
La contraddizione è resa evidente dalla mancanza di regole e di codici riconoscibili e accettati dalla comunità scientifica, regole preposte alla realizzazione di codici da usare nella rappresentazione. La discussione si è orientata solo di recente verso l'analisi stratigrafica dei manufatti architettonici, espressioni tra le più complesse della cultura materiale.

Prodotto del rilievo archeologico è la sua rappresentazione grafica,

infatti quest'ultima non è solo un'analisi critica dell'oggetto da rilevare ma diviene una sua illustrazione, o meglio è la base filologica e scientificamente consolidata dell'illustrazione archeologica: il luogo dove la ricerca si intreccia alla buona divulgazione, dove arte e letteratura esprimono descrizione di uomini, monumenti e paesaggi senza rinunciare alla storia, dove si esercita al meglio la capacità celebrativa dell'archeologia.

PARTE PRIMA

LE ORIGINI DELL'ANFITEATRO



La genesi dell'Anfiteatro

1.1. L'evoluzione dell'architettura teatrale

Con lo sviluppo e le innovazioni delle tecniche costruttive, grazie anche alla crescita economica, in alcune parti d'Italia si diffuse la progettazione di teatri e anfiteatri.

Dal 116 a.C., cominciano a realizzarsi le pareti in opus caementicium, sostituendo l'opus incertum con l'opus quasi reticulatum.

Questa è una tecnica edilizia romana tramite cui si realizza il paramento di un muro in opera cementizia. Inizialmente consistette in una variante dell'opera incerta più evoluta, nella quale le pietre che formavano il paramento del muro venivano preparate prima della messa in opera a forma irregolarmente piramidale a base quadrata e disposte quindi con la base in vista, mentre la punta affondava nel cementizio. La disposizione veniva a creare un irregolare reticolo diagonale sulla superficie della parete ("opera quasi reticolata").

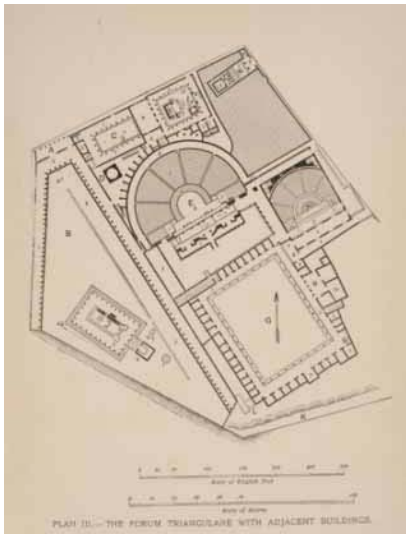
La città di Roma dovette attendere 55 anni prima di Cristo per avere un teatro stabile costruito in pietra; ciò riflette non solo un innegabile ritardo tecnologico rispetto alle regioni più attive e ricche, quali la Campania, ma furono principalmente le condizioni eccezionali e specifiche di mercato, nonché problematiche relative all'Urbs che per lungo tempo ostacolarono lo sviluppo di questi specifici edifici. *Il theatrum et proscaenium ad Apollinis*¹ si trova nei pressi del tempio di Apollo in Circo, a est del Circus Flaminius. Un edificio relativamente piccolo, una zona attrezzata con semplici panche di legno, probabilmente rimovibili. Al contrario, nel 154 a.C., il censore



1.1 - E. Du Perac, *Vestigia del teatro edificato da Augusto*, Roma, 2012.

1.2 - L. Rossini, *Avanzi del teatro di Marcello*, Roma, 2012.

1.3 - Teatro di Marcello.



1.3 - Pompei, Pianta del complesso dei teatri, 1889.
 1.4 - Sarno, teatro ellenistico, particolare dei sedili della *proedria* (la prima fila riservata alle autorità) in blocchi di tufo. (I sec. a.C.).

C. Cassio Longino volle realizzare, sul pendio del Palatino, la costruzione di un vero *theatrum lapideum*, incontrando l'opposizione di *optimates*; Scipione Nasica successivamente fece distruggere il monumento e vietare l'installazione di panchine o *subsellia* entro un miglio intorno a Roma.

Questa reazione è da attribuirsi ad una finalità prettamente a sfondo politico, attribuendo ad essi casi pericolosi di agitazione democratica.

In Campania, al contrario, la prosperità economica, lo sviluppo di tecniche costruttive e la vitalità delle tradizioni urbane in spazi aperti, divennero motivo trainante per cui si spiega la comparsa di nuovi edifici, ancora sconosciuti al resto d'Italia.

A Pompei, Capua, Sarno, furono costruiti spesso teatri di pietra.

Le parti salienti che costituiscono il teatro sono:

- la *cavea*, in genere addossata ad una collina per sfruttarne il pendio naturale nella quale sono disposte le gradinate, suddivise in settori, con i sedili di legno;
- la scena (*skené*), costruzione a pianta allungata, disposta perpendicolarmente all'asse della *cavea*, inizialmente semplice e in legno; ben presto ci si rese conto che offriva molte possibilità se utilizzata come sfondo scenico. Divenne quindi sempre più complessa e abbellita da colonne, nicchie e frontoni, successivamente fu costruita in pietra e con maggiori ornamenti, un disegno che è ancora ispirato ai teatri dell'Asia Minore. A differenza del teatro greco, quello romano si differenziava per alcune modifiche essenziali. Le gradinate semicircolari della *cavea* poggiano ora su archi e volte in muratura, e sono collegate alla scena con loggiati laterali. Questo permette alla costruzione dell'edificio, finalmente autonomo, una collocazione più flessibile e dotarsi di una facciata esterna di tipo monumentale. La loro struttura era semplice e solida e la soluzione adottata è stata in grado di trarre il meglio dal campo che minimizza l'importanza della muratura.

Il teatro di Teanum² rappresenta il più antico esempio di utilizzo di una struttura rivoluzionaria per l'epoca.

La struttura, in opera incerta e quasi reticolata, appartiene ad un complesso architettonico articolato su tre terrazze delle quali la superiore sorretta da ambienti voltati alti circa 10 metri. In virtù della tecnica edilizia ed in considerazione di una serie di caratteristiche architettoniche, l'edificio di Teano è considerato tra i più antichi teatri in piano, se non il primo, con la *cavea* completamente sorretta da un sistema voltato. L'aspetto esterno e la sua configurazione topografica lo identificano come un teatro greco, la cui struttura è del tutto indipendente dal pendio della collina.



La struttura dell'edificio era così vuota, a differenza di quella degli altri esempi di teatri, da creare di fatto una struttura sottostante, nascosta e funzionale per consentire il deflusso e l'afflusso degli spettatori. Questo teatro, con ottantacinque metri di diametro totali, era di dimensioni maggiori di quello di Pompei.

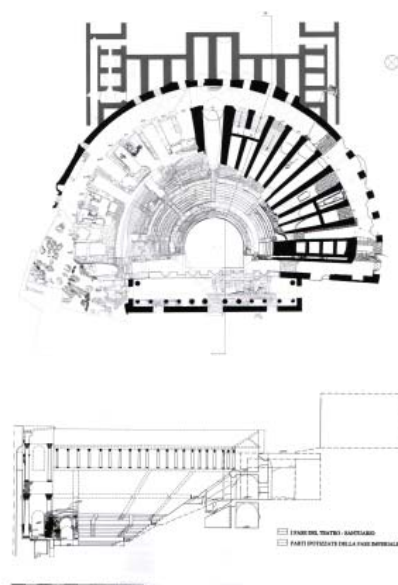
L'ingegnoso principio applicato al teatro di Teanum riflette un'innovazione tecnica-costruttiva utilizzata per la futura costruzione di teatri.

Esso rappresenta una pietra miliare in termini di cambiamento della struttura di tutti gli edifici destinati a tale uso.

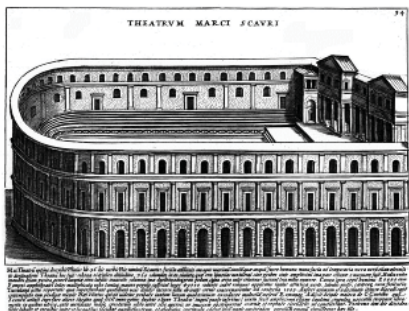
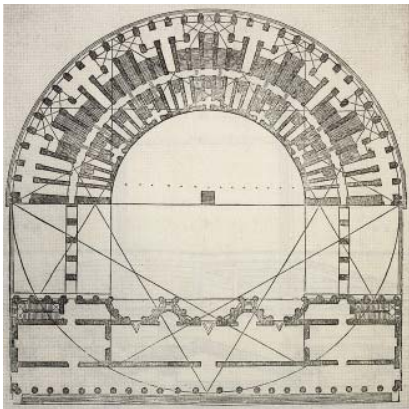
È importante sottolineare il dinamismo dell'architettura campana che si è manifestata in tale direzione, alla comparsa di un tipo di costruzione dal disegno completamente nuovo: tutto ciò rappresenta il punto di inizio per la futura progettazione e successiva realizzazione dell'anfiteatro.

1.2. La nascita dell'anfiteatro

Prendendo a riferimento i testi classici dell'architettura in nessuno di questi vi è una descrizione puntuale e geometrica di questo tipo di architettura. Nel quinto libro del *De architectura* di Di Lucio Vitruvio Pollione (libro V, capo VI, verso I) viene descritta l'architettura del teatro ed i principi che ne regolano l'impianto geometrico. Alla base della forma canonica del teatro romano, distinto da quello greco, secondo quanto riportato da Vitruvio, vi sono quattro triangoli equilateri che a distanze uguali, toccano la circonferenza dividendola in dodici parti uguali. Preso il triangolo il cui lato è più vicino alla scena ed una sua parallela passante per il centro della circonferenza, questa determina la divisione tra l'area del palcoscenico e



1.4, 1.5 - Teano: teatro di Sidicinum.
1.6 - Teano: teatro di Sidicinum: rilievo e costruzione del santuario.
1.7 - Teano: teatro di Sidicinum rilievo: sezione con fasi edilizie ed ipotesi costruttive.



1.8 - Vitruvio, Trattato di architettura, tratto da: Daniele Barbaro, I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio, Venezia 1556.

1.9 - Ricostruzione ideale di G. Lauro (1637).

l'area dell'orchestra.

Da un punto di vista letterale se il già noto termine theatrum significa, luogo da cui volgere lo sguardo su di uno spazio ove si verifica un evento, il termine amphitheatrum, ottenuto con l'aggiunta dell'avverbio greco amphì, indica letteralmente non un doppio teatro – come all'occorrenza sembra potesse divenire il dispositivo ligneo di Scauro – ma un luogo da cui assistere a un evento trovandosi indifferentemente da una parte o dall'altra di esso, vale a dire tutt'intorno allo spazio dell'accadimento.

Munera e venationes, duelli tra gladiatori e cacce ad animali feroci, furono manifestazioni ereditate dagli Etruschi e dai Campani che i Romani nei primi tempi della loro storia predilessero quali ludi per onorare i defunti. Spettacoli cruenti e tumultuosi che necessitavano di ampi spazi allungati per gli inseguimenti ma chiusi e circoscritti per definire l'orizzonte di una perfetta visione destinati e offerti all'intera comunità. Fu quasi ovvio che essi avessero luogo nello spazio pubblico per eccellenza, vale a dire in un foro. Il primo munus di cui si abbia notizia avvenne nel 264 a.C. nel Foro Boario e impegnò tuttavia un numero esiguo di combattenti, richiamando – si presume – un numero proporzionalmente limitato di spettatori.

Grazie a Tito Livio sappiamo che munera e venationes proseguirono per i decenni rimanenti del III secolo a.C. e per tutto il II secolo successivo, ed è lecito affermare, in base ad alcuni passi di Cicerone, che, aumentando via via il numero dei partecipanti e la consistenza del pubblico, tutti abbiano avuto luogo nel più ampio e importante Foro Romano: qui si montarono tribune con gradinate temporanee in legno tutt'intorno a un'area ricavata nella platea, sotto la quale – a conferma delle testimonianze letterarie – si è scoperta una rete di gallerie e di pozzetti di servizio in cui si conservavano e da cui si manovravano le macchine necessarie al sollevamento e alla dislocazione dei materiali per gli allestimenti. Non è finora stato possibile (e forse non lo sarà nemmeno in futuro) comprovare, in base a evidenze archeologiche o a testimonianze documentarie attendibili, quale fosse il disegno delle gradinate – propriamente *spectacula* – lignee e smontabili; tuttavia alcune ipotesi recenti concordano sul fatto che esso corrisponderebbe ad un poligono allungato inscritto in una ellissi o in un ovato intorno a uno spazio di ugual forma, cosparso di terra e di sabbia pressate. L'anfiteatro è quindi un edificio di forma ellittica usato per spettacoli pubblici. Nell'antichità classica veniva usato per le munera, ovvero giochi gladiatori, e per le venationes, ovvero gli scontri tra gladiatori e animali.

Entro la fine del secolo prima di Cristo, le munera e le venationes avevano raggiunto un ruolo importante nelle regioni più prospere d'Italia, in parti-

colare in Campania.

Nelle città di Capua e Pozzuoli, dove fu fiorente tale sviluppo, ne consegue la costruzione di tali edifici a scapito della polis antica di Napoli.

La lunga tradizione dei combattimenti, il progresso tecnico ed economico, ha permesso di raccogliere le condizioni per la creazione di un tipo di edificio che non ha avuto equivalenti nel mondo ellenico.

Tale edificio doveva soddisfare un quadro adeguato per entrambi le esigenze, ovvero, essere attrattore economico ma soprattutto essere elemento di intrattenimento per il popolo, infine avere una caratteristica fondamentale, permettere che lo spettatore potesse assistere ad un evento trovandosi indifferentemente da una parte o dall'altra di esso.

I primi anfiteatri sarebbero stati costruiti a Capua, Cuma e Liternum alla fine del II secolo a.C.: pertanto questi sono antecedenti all'anfiteatro di Pompei, a lungo considerato il primo esempio più noto.

1.3. I primi anfiteatri

Gli anfiteatri di Capua, Liternum e Cuma sono da considerarsi le prime costruzioni in assoluto nell'ambito di questa architettura. Di questi non esistono studi approfonditi sulle loro caratteristiche architettoniche ne tantomeno sulle loro caratteristiche geometrico-costruttive.

L'anfiteatro di Capua.

La città di Capua antica oggi Santa Maria Capua Vetere costa di due anfiteatri, che per ragioni puramente di studio indicheremo come:

Capua I: anfiteatro di età repubblicana

Capua II: anfiteatro di età imperiale.

La datazione per l'anfiteatro Capua I è da attribuirsi all'età tardorepubblicana compresa in un periodo compreso tra il 130-120 a.C, pertanto assimilabile all'età Graccana³.

L'anfiteatro, secondo l'asse maggiore rispetta l'orientato nord-sud, con una leggera deviazione di 7° ad est; l'asse maggiore misura 124.58 metri, quello minore 91.40 metri; dell'intero complesso solo una parte è stata riportata in vista, dopo le operazioni di scavo effettuate negli anni 2000, mentre la restante parte si trova sotto l'attuale strada di accesso al sito archeologico.

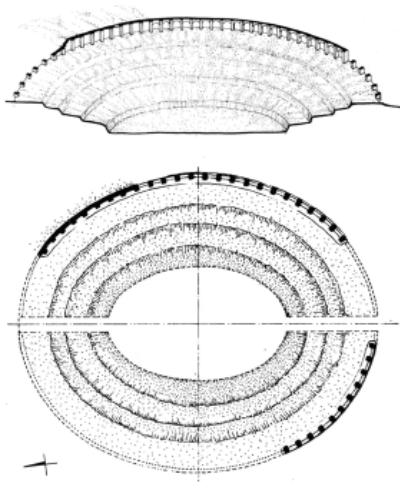
1.10, 1.11 - Santa Maria Capua Vetere: anfiteatro di età repubblicana.





L'anfiteatro di Liternum.

Dell'anfiteatro extraurbano pertinente alla colonia di Liternum resta in vista parte della cavea con le gradinate, databile alla fine del II a.C. con successivi rifacimenti di età imperiale. La cavea dell'anfiteatro è adossata in parte alla collina e in parte al terrapieno sostenuto da muri che formano di fatto un terrapieno artificiale.



L'anfiteatro di Cuma.

La campagna di scavi del 1979 ha portato alla luce buona parte dell'anfiteatro di Cuma.

La struttura fu realizzata sfruttando in parte la naturale pendenza della collina di Monte Grillo. L'anfiteatro, secondo l'asse maggiore rispetta l'orientato nord/est-sud/ovest, con l'ingresso principale posto sul versante settentrionale, accanto al quale è conservato un ambiente voltato a botte, probabilmente di servizio. L'ingresso meridionale lascia vedere il corridoio rettilineo, voltato a botte. Un altro ingresso era collocato forse sul lato orientale delle mura perimetrali. Si conserva quasi per intero la fila di archi su pilastri della summa cavea e sono visibili alcuni blocchi in tufo per l'alloggiamento del velarium, poi obliterati dalla costruzione del nuovo settore.

La parte interna del monumento è ora occupata da colture disposte in terrazzamenti che ha sposato la forma generale della cavea primitiva, tracciando una vasta depressione ellittica di circa 90 metri di lunghezza, il cui fondo è un campo approssimativamente ovale che indica ancora la posizione dell'arena. La cavea doveva essere scavata nel terreno e sostenuta da struttura sottostante in muratura. Lo stato del monumento impedisce di descrivere l'esatto aspetto delle gradinate, di cui sono state tuttavia rinvenute in un settore, le basi in muratura. Solo i muri perimetrali del monumento sono parzialmente visibili. Nella parte superiore della cavea era una galleria anulare, la cui facciata può ancora essere rintracciata in buona parte.

La parte nord-orientale della facciata, completamente cieca, era costituita da un muro al quale era demandata la sola funzione di contenimento, su questo lato del campo. Il terreno naturale in origine era in realtà più alto di tre metri sopra il livello della galleria. La parete di fronte è in buona parte crollata, ma le poche vestigia che ancora esistono lo descrivono costituito in opus incertum. Rimane praticamente l'opus caementicium corrispondente alle pareti interne composto da tufo giallo molto friabile e malta di calce e sabbia.

1.12 - Liternum: resti dell'anfiteatro.

1.13 - Cuma: pianta e sezione dell'anfiteatro
tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988

La campagna di scavi del 1990 ha consentito di assegnare la presunta data di fondazione di questo anfiteatro, essa è presumibilmente fissata tra la fine del II secolo e l'inizio del I secolo a.C..

L'edificio venne ampliato e restaurato nel II secolo d.C. con l'aggiunta di una nuova galleria, utilizzata in età tardo antica come area sepolcrale.

Lo studio di questi primi esempi di anfiteatri per aspetto e dimensioni, è mirato a descrivere in un arco temporale compreso tra la fine del II secolo e l'inizio del I secolo a.C., l'evoluzione architettonica dell'anfiteatro.

Note

¹ A causa della natura paludosa del terreno, molto vicino al fiume, le fondazioni furono rafforzate con l'inserimento di pali di rovere sopra i quali venne gettata un'estesa piattaforma in calcestruzzo, dove poggiano i primi due filari di fondazione delle murature. Anche l'alternanza dei materiali per i blocchi di cui si compongono i pilastri risponde alle necessità statiche: le arcate interne del deambulatorio, i muri radiali dei cunei e il primo tratto dei fornicati erano in blocchi di tufo per i primi dieci metri di lunghezza, poi in opera cementizia con paramento in reticolato, con inserti in travertino per le imposte e le chiavi d'arco; le pareti degli ambulacri interni sono invece in muratura; le volte tutte in calcestruzzo. La stanza in fondo all'ingresso centrale ha conservato un tratto degli stucchi decorativi sulla volta.

² Cfr. F. Sirano, *Il teatro di Teanum Sidicinum. Dall'Antichità alla Madonna delle Grotte*, Lavieri editore, Cava de' Tirreni (SA), 2011.

³ Cfr. V. Smpaolo, *Il quartiere degli anfiteatri. L'espansione di Capua fuori le mura occidentali*. in Atti dell'incontro internazionale di studio "Il Mediterraneo e la Storia", Luciano editore, Napoli, 2012.

CAPITOLO SECONDO

Le attività dell'anfiteatro

2.1. Il gladiatore

Il ritrovamento, in Etruria, di abbondanti pitture tombali (datate tra il 450 a.C. e 530 d.C.) e di vari oggetti riconducibili ad alcuni giochi, esclude l'ipotesi di un'origine etrusca del gladiatore. Tuttavia, la presenza di giochi gladiatori fu rinvenuta anche cinquanta anni più tardi nel sud Italia, come raffigurato in alcune pitture tombali rinvenute a Paestum. Ciò che avviene in questa zona non avviene nella restante parte della Campania, pertanto questo lascia pensare che la loro comparsa sia avvenuta, nel resto della regione, almeno dal quarto secolo a.C..

La figura del gladiatore sarebbe stata adottata successivamente in Etruria, e da qui inviato a Roma.

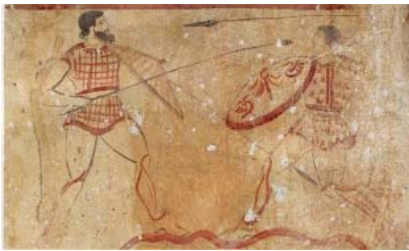
Il primo combattimento gladiatorio in Roma di cui si ha testimonianza, ebbe luogo quando tre coppie di gladiatori lottarono fino alla morte durante il funerale di Giunio Bruto nel 264 a. C.

I giochi gladiatori (chiamati munera poiché costituivano in origine una sorta di "tributo" versato agli antenati defunti) gradualmente persero la loro connessione esclusiva con i funerali di cittadini individuali e divennero una parte importante degli spettacoli pubblici finanziati dai politici e dagli imperatori.

I gladiatori erano prevalentemente individui non liberi (criminali condannati, prigionieri di guerra, schiavi); alcuni di essi erano volontari, (per la maggior parte liberti o uomini liberi delle classi più basse) che sceglievano

2.1 - Mosaico pavimentale dalla tenuta Borghese di Teranovra (Roma, via Casilina), Roma Museo Borghese..
2.2 - Pompei: Tomba di Vestorio Prisco, Porta Vesuvio.
Giochi gladiatori





2.3, 2.4, 2.5 - Paestum: una serie di affreschi, raffiguranti lotte tra gladiatori, dipinti sulle tombe lucane rinvenuti a Paestum.

di assumere lo stato sociale di uno schiavo per il compenso economico o per la fama e l'eccitazione. Chiunque diventasse gladiatore era automaticamente infamis per la legge, e per definizione un cittadino non rispettabile. In realtà anche un esiguo numero di esponenti delle classi più elevate si confrontava nell'arena (benchè questo fosse esplicitamente proibito dalla legge), ma costoro non vivevano con gli altri gladiatori e costituivano una particolare forma esotica di intrattenimento (così come le donne, estremamente rare per la verità, che combattevano nell'arena).

Alcuni gladiatori non combattevano più di due o tre volte l'anno; i migliori tra essi divenivano veri e propri eroi popolari e, in quanto tali, i loro nomi apparivano spesso nei graffiti: il carnefice dell'arena diventava il carnefice dei cuori: *decus puellarum*, *susprium puellarum*. Grazie a questa popolarità e ricchezza, lo schiavo, il cittadino decaduto, il condannato per delitti comuni eguagliava i pantomimi e gli aurighi di moda. I combattenti più abili infatti potevano vincere una notevole somma di denaro e ricevevano la spada di legno (*rudis*) che simboleggiava la libertà acquisita. I gladiatori liberati potevano continuare a combattere per denaro, ma più di frequente divenivano istruttori nelle scuole gladiatorie o guardie del corpo mercenarie per il compenso economico.

Il gladiatore campano e lucano

Le prime gare dei gladiatori, date nel corso del IV secolo a.C. in Campania e Lucania, in un contesto funerario, sono attestate da fonti rare tra le quali dobbiamo citare da un lato, alcune tombe di Paestum, Albanella, Altavilla e di Capua, e dall'altro alcuni vasi decorati.

Lo storico Tito Livio attribuisce i primi giochi ai Campani nel 310 a.C., in occasione di una vittoria contro i Sanniti, ottenuta grazie all'aiuto romano; d'altronde una delle scuole gladiatorie più celebri dell'antichità aveva sede proprio a Capua¹.

Secondo Servio e Tertulliano, i combattimenti erano sempre svolti nelle vicinanze di tombe. In alcune pitture tombali, la tomba è raffigurata semplicemente come un pilastro o evidenziata da una colonna, ma queste rappresentazioni rendono difficile la descrizione dello spazio reale in cui i gladiatori combattevano².

Il gladiatore etrusco

In Etruria la figura del gladiatore ha il predominio in un arco di tempo compreso tra la metà del IV secolo a.C. e all'inizio del III secolo a.C.. Le uniche fonti di informazione che possono aiutarci nel descrivere lo spazio



2.6 - Tarquinia: particolare della Tomba degli Auguri (VI secolo a.C.) raffigurato uno strano personaggio mascherato denominato Phersu.

in cui avvenivano i combattimenti, sono le poche rappresentazioni pittoriche riportate sulle urne cinerarie o sui sarcofagi.

Di notevole importanza è la rappresentazione riportata sull'urna cineraria, conosciuta come "urn alla Lase", esposta presso il museo di Perugia. Nella rappresentazione gli avversari apparivano dietro una staccionata in legno che era stata probabilmente utilizzata per isolare l'area del combattimento dagli spettatori, o almeno per delinearne lo spazio.

Queste leggere barriere rimovibili, che erano simili a quelli che sono ancora oggi utilizzate per il controllo della folla, non potevano servire a identificare il terreno su cui i gladiatori si stavano esibendo. Si deve presumere che dietro di loro, gli spettatori sono stati distribuiti in tutta la zona del combattimento e probabilmente erano in piedi.

Alcune informazioni tecniche sulle costruzioni in legno sono fornite, in modo dettagliato, presso la tomba del *Corneto* (antico nome di Tarquinia), del V secolo a.C..

I giochi rappresentati sulle pareti non sono gladiatori: sono raffigurati spettacoli equestri che si svolgevano prima dell'introduzione del gladiatore; le informazioni fornite da questa tomba non hanno alcun rapporto con l'impostazione monumentale, in cui sarebbero avvenuti i primi combattimenti dei gladiatori in Etruria³.

Risulta invece di notevole importanza la raffigurazione delle tribune per il pubblico.

Queste scene evocano lo svolgimento di giochi come spettacoli, con spet-

tatori seduti su panche di legno sostenute da apposita struttura.

Il pubblico si trovava in una posizione più alta rispetto al piano dove si stavano svolgendo i combattimenti; detta posizione consentiva la delimitazione dai giochi, ma al contempo permetteva che il pubblico potesse dominare la scena. Inoltre era possibile vedere subito sopra il pubblico una struttura paragonabile a quella del *velarium*.

In ogni caso, questa tomba ci offre una rappresentazione accurata di questi monumenti di legno, anche se molto poco conosciuti. In questo tipo di raffigurazione già si distinguono le principali aree complementari, che ritroveremo negli edifici di intrattenimento pubblico nei tempi a venire:

- un'area destinata ai giochi che si trova al piano terra in posizione centrale.
- Una serie di sedute per il pubblico disposte sui lati dell'area destinata ai giochi.

Analoghe rappresentazioni sono state rinvenute su vasi scoperti nel Sud Italia, la cui datazione è compresa tra il IV secolo a.C. e la metà del III secolo a.C., ad imitazione dei teatri esistenti nelle città della Magna Grecia. E. Frézouls ha dimostrato che questo tipo di struttura, progettata per questo uso particolare, ha avuto poca influenza sull'architettura del teatro romano e quindi può essere considerata come precursore dell'anfiteatro⁴.

Il gladiatore romano

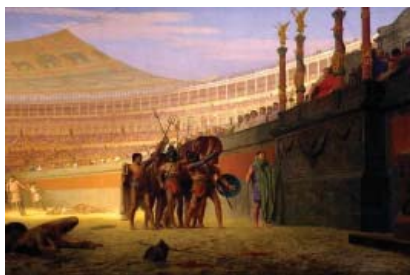
*"Ave Caesar, morituri te salutan."*⁵

I gladiatori romani, il cui nome deriva dall'antica spada romana "*gladius*", erano per la maggior parte prigionieri di guerra, schiavi o condannati a morte. Agli spettacoli, tuttavia, partecipavano anche uomini liberi attratti dalle ricompense e dalla gloria, ma chiunque scegliesse di diventare gladiatore, automaticamente veniva considerato "*infamis*" per la legge.

Si suppone che gli spettacoli gladiatori abbiano origine da lontane cerimonie funebri celebrate con il sacrificio umano per calmare l'ira degli Dei infernali e l'inquietudine dei morti. I lottatori seguivano un duro addestramento nelle scuole fondate da Nerone e da Cesare, nelle quali venivano sottoposti a torture e ad un ordine imposto con l'uso reiterato delle punizioni corporali, con il fuoco e la frusta. La disciplina era dura, con regole ferree e con pene severe, in modo da far diventare i gladiatori romani delle vere e proprie macchine da combattimento.

Al termine del periodo di addestramento tutti i gladiatori venivano raggruppati in "compagnie" di proprietà esclusiva dell'imperatore. Le sfide iniziavano con una parata dove i gladiatori entravano in scena su carri o a piedi, seguiti da un gruppo di suonatori; giunti sotto la tribuna dell'impe-

2.7 - L'Ave, Caesar, morituri te salutant indirizzato dai gladiatori a Vitellio, nella visione artistica di Jean-Léon Gérôme (1859); in http://it.wikipedia.org/wiki/File:Jean-Leon_Gerome_Pollice_Verso.jpg





ratore, lo salutavano con le parole “*Ave Caesar, morituri te salutant*” (“*Ave o Cesare, coloro che si apprestano a morire ti salutano*”), poi si dirigevano verso l’organizzatore dei giochi, il quale esaminava le armi che erano diverse in base alla categoria del lottatore.

2.8 - Rilievi gladiatori, Napoli, Museo Archeologico Nazionale da Pompei (20-50 d.C.).

Le categorie si dividevano in:

Sanniti: indossavano un elmo munito di creste, una forte armatura, impugnavano un giavellotto, portavano lo scudo (*scutum*) e la spada (*spatha*)

Il Trace: aveva un elmo a calotta con un largo bordo o una visiera sormontata da un cimiero a protome di grifo, indossava gli schinieri e a volte le fasce alle cosce, la *manica* al braccio destro e la *parmula*, un piccolo scudo tondo a sinistra, impugnava la sica una piccola spada ricurva.

Il Mirmillone: prendeva nome dal pesce *murma* effigiato sull’elmo, era privo di schiniere ma aveva le gambe fasciate, e si difendeva con lo scudo rettangolare.

Il Retiarius: privi di elmo, schiniere e scudo, portava la *manica* e il *galerus*, impugnava come arma di offesa il tridente per tener lontano l’avversario e catturarlo con la rete che, tramite una corda, era fissata alla cintura. Combatteva di solito contro il *secutor* che aveva l’elmo a calotta con una piccola cresta sfuggente, armato di spada e con lo schiniere sulla gamba sinistra e contro.

Provocator: era difeso dall’elmo, da una specie di corda decorata al centro di un *gorgoneion*, dallo schiniere sulla gamba sinistra, da uno scudo rettangolare ed impugnava la spada.

Hoplomachus: prende nome dal grande scudo che lo proteggeva, aveva un

elmo a visiera ornato di piume, lo schieniere sulla gamba sinistra ed era armato di spada.

Dimachaerus: combatteva con due coltelli e portava una protezione del corpo, fasciature sul braccio ove teneva il pugnale e nelle gambe, talvolta anche schinieri, ma nessun elmo. Il resto del suo equipaggiamento come la sua stessa esistenza non sono certe, dato che è riportato solamente su due iscrizioni.

Eques: indossava una tunica, un elmo emisferico con tesa circolare, la *manica*, le fasce alle caviglie, imbracciava uno scudo tondo ed una lancia.

Sagittarius: ovvero l'arciere, è rappresentato solamente su di un rilievo a Firenze dove due sagittarii corazzati e provvisti di elmo combattono tra di loro in un'arena.

Paegniarius: di questa figura gladiatoria si sa molto poco. Il paegniarius non era equipaggiato con armi mortali. Una scena in un mosaico di Nennig, in Germania, viene spesso interpretata come una rappresentazione di tale gladiatore. I combattenti portano una frusta nella mano destra e una tavola di legno allacciata sul braccio sinistro. In un racconto di Svetonio l'imperatore Caligola, a mo' di divertimento, lasciò comparire nell'arena come gladiatori dei padri di famiglia che avevano una menomazione fisica. Vista l'esistenza di rappresentazioni romane con gladiatori di piccola taglia dalle armi più disparate, questi appaiono probabilmente anche come paegniarii con armi spuntate per l'intrattenimento. Probabilmente i paegniarii apparivano durante la fase pre-combattimento (prolusio) e durante le venationes.

A volte gli attacchi, dopo aver reso le armi inoffensive, erano solamente simulati, ma nella maggior parte dei casi i combattimenti erano duri e sanguinosi e si concludevano con la morte di uno dei gladiatori. Se il gladiatore sconfitto rimaneva ferito poteva chiedere la grazia alzando il braccio, allora il pubblico invocava la salvezza o la morte presso l'autorità presente sul palco imperiale, mostrando il pollice rivolto verso il basso, o sventolando un fazzoletto bianco. I gladiatori uccisi, prima di essere portati via, venivano avvicinati da due schiavi travestiti da *Caronte* e da *Ermete Psicopompo*: uno ne verificava il decesso toccandoli con un ferro rovente, l'altro, eventualmente, dava loro il colpo finale facendo poi segno ai "libitinarii" di portar via il corpo trascinandolo sull'arena con un uncino.

I vincitori venivano premiati con palme d'oro, denaro e dall'immensa popolarità conseguita soprattutto tra le donne; se il gladiatore vincitore era uno schiavo, dopo dieci vittorie, che venivano segnate su un collare di metallo, gli era resa la libertà; egli allora poteva decidere se continuare a com-

battere per soldi o intraprendere altre attività, come ad esempio l'istruttore nelle scuole per gladiatori.

2.2. I ludi Gladiatori

Il famoso detto proverbiale "*panem et circenses*"⁶ richiama alla nostra memoria, anche se in modo approssimativo e non sempre storicamente corretto, la visione materialistica e godereccia della folla romana, alla quale i politici dovevano in abbondanza "*pane e spettacoli del circo*" per assicurarsene il consenso e le simpatie elettorali. Gli spettacoli più divertenti e appassionanti non erano infatti per i Romani, come invece per i Greci *i ludi scaenici* (rappresentazioni teatrali accompagnate da musica e canto), bensì i giochi del circo e *i ludi gladiatorii* o *munera gladiatoria*, violenti e sanguinosi duelli fra gladiatori addestrati specificamente al combattimento. Questi giochi si svolgevano in occasione di festività religiose e venivano finanziati e diretti da un magistrato, l'edile.

2.3. Le Venationes

Altro genere di spettacoli tenuti negli anfiteatri furono le cacce tra animali, o tra uomini e animali consciuti come *venationes*. Le bestie selvatiche ed esotiche provenivano dai lontani confini dell'Impero romano e le venationes si svolgevano durante la mattina. I combattimenti di animali esotici, vennero introdotti da M. Fulvio Nobiliore, nel 186, per celebrare la vittoria sull'Etiopia e furono adottati anche per l'inaugurazione di monumenti, come nel 55 quando, per l'apertura del teatro di Pompeo, furono portati rinoceronti, cervi, scimmie. Il numero di animali portati sull'arena era proporzionale all'importanza del munus offerto, così sappiamo che Pompeo fece uccidere 500 leoni in cinque giorni, Cesare 400 in un solo spettacolo; inoltre sappiamo anche che durante le *venationes* tenutesi durante il regno di Augusto per il trionfo di Traiano sui Daci, combatterono 10.000 gladiatori e 11.000 animali feroci.

I combattimenti si svolgevano tra scenografie riproducenti colline, boschi, corsi d'acqua, che ricreavano l'illusione di ambienti naturali, ed erano mol-

2.8 - Lastra con scena gladiatoria (Mausoleo di Fiano Romano).

2.9 - Roma: Esempio di venationes, Collezione Torlonia.

2.10 - Roma: Esempio di venationes, Esquilino, cd. basilica di Giunio Basso, Musei Capitolini.



to apprezzati i combattimenti di due animali legati assieme, il vincitore dei quali veniva poi ucciso da un *venator*. I *venatores*, tenuti in minor considerazione dei gladiatori, spesso erano disarmati e quindi destinati alla morte ma il più delle volte sfuggivano agli assalti delle fiere, che erano state tenute per alcuni giorni al buio e digiune per accrescerne la ferocia, con una serie di acrobazie, come scalare muri, saltare con una pertica, infilarsi in panieri sferici con aculei che assumevano l'aspetto di un riccio.

Un'altra forma di spettacolo in cui erano coinvolti uomini ed animali, e che costituiva un riempitivo negli intermezzi tra uno scontro gladiatorio e l'altro, erano le pantomime di episodi mitologici, come il supplizio di Prometeo o Orfeo, che avrebbe dovuto ammansire le belve con il suono della lira, o Pasifae e il toro di Creta, che naturalmente finivano con la morte dell'uomo.

Probabilmente con Commodo che, ben protetto da grate, scoccava frecce con gli arcieri sugli animali che feriti inondavano di sangue l'arena, si toccò la punta massima di quel genere di massacri che proseguirono con Gordiano e Probo, che autorizzarono il pubblico a cacciare migliaia di erbivori, tra i quali struzzi, cervi, daini, capre selvatiche, liberati nell'arena.

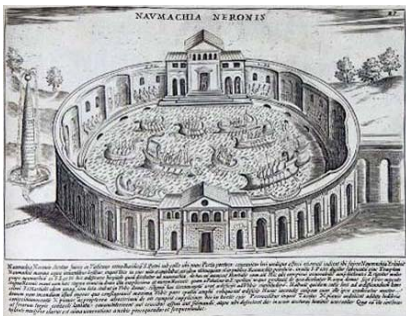
Le cacce erano spettacoli estremamente costosi e che richiedevano una notevole organizzazione per il reperimento degli animali da terre lontane, ma i potenti e l'imperatore stesso non vi rinunciarono e per bisogno di popolarità e per tenere occupata la plebe, fino al VI secolo quando in Italia furono abolite definitivamente da Totila.

2.4. Le naumachie

La naumachia (in latino *naumachia*, dal greco antico ναυμαχία/*naumachía*, letteralmente « combattimento navale ») indica nel mondo romano sia uno spettacolo rappresentante una battaglia navale sia il bacino, o in senso lato l'edificio in cui si tenevano.

L'immissione d'acqua negli anfiteatri solleva numerose domande. Innanzi tutto, questi luoghi non servivano esclusivamente per le naumachie e dovevano essere disponibili per cacce e lotte tra gladiatori. L'alternanza rapida tra spettacoli terrestri ed acquatici sembra essere stata la principale attrazione di quest'innovazione. *Cassio Dione* lo sottolinea quando si riferisce alla naumachia di *Nerone*; *Marziale* fa lo stesso parlando di quella di *Tito* nel *Colosseo*⁷. Lo studio delle sole fonti scritte non fornisce alcuna informazione sulle modalità pratiche di questa prestazione.

2.11 - Naumachia Neronis 1641
Giacomo Lauro, Roma (1584 - 1637)
Gallerie d'arte di Harvard / Fogg Museum



L'archeologia non fornisce nessun indizio su come il seminterrato del Colosseo da allora è stato modificato. Solamente due edifici provinciali, quelli a *Verona* e a *Mérida*, in Spagna, sono capaci di fornire prove tecniche.

La fossa centrale dell'anfiteatro di Verona era più profonda delle stanze normalmente trovate sotto l'arena, e serviva come bacino. Era collegato a due condutture assiali. Una, circolando sotto la galleria ovest dell'arena non era stata collegata al sistema di drenaggio e dovette essere collegata ad un acquedotto per riempire il bacino. L'altra, più profonda, venne utilizzata per il deflusso verso l'Adige. Il bacino dell'anfiteatro di Mérida ha rivelato un fosso ancora meno profondo di quello di Verona: 1,50 metri. Poiché è così poco profondo - meno dell'altezza di un uomo in posizione eretta - non può essere confuso con una camera di servizio sotterranea. Questo bacino inoltre era fornito di scale e coperto di un rivestimento in stagno simile a quello delle piscine delle terme. Aveva anche due condotti assiali. Il condotto occidentale doveva essere collegato ad un acquedotto che passava non lontano dal monumento (acquedotto San Lázaro).

Le dimensioni dei due bacini escludono tuttavia che si siano mai tenute naumachie, anche semplificate: quello di Mérida misura solo 18.5 x 3.7 metri. Solamente il più modesto di spettacoli d'acqua potrebbe avere avuto luogo qui. Di conseguenza, anche supponendo che il Colosseo abbia posseduto un bacino simile, prima della realizzazione dell'ipogeo, occorre ammettere che per realizzare le naumachie, si faceva leggermente straripare, per dare l'illusione di uno strato d'acqua che copriva tutta la superficie dell'arena attorno alle due navi.

2.5. La diffusione dei primi anfiteatri

Nel periodo compreso tra il 73 e 71 a.C., dopo il susseguirsi di eventi militari che diedero luogo ad una proliferazione legislativa che di fatto bloccò lo sviluppo urbanistico di Roma, si ebbe un ritardo, rispetto ad altre regioni d'Italia, per quanto riguarda la costruzione degli anfiteatri. Sembra piuttosto che il prestigio del *Foro Romano* è stato a lungo preferito a qualsiasi altro tipo di costruzione. Il primo anfiteatro permanente a Roma fu costruito nel 29 a.C., nella parte meridionale del Campo Marzio da *Tito Statilio Tauro*⁸, a proprie spese: il due volte console, generale e politico romano dell'epoca augustea, aveva infatti una grande fortuna, e finanziò pure i giochi gladiatori per l'inaugurazione dell'anfiteatro al pubblico romano. Sebbene fosse in parte costruito in pietra, alcune strutture erano in

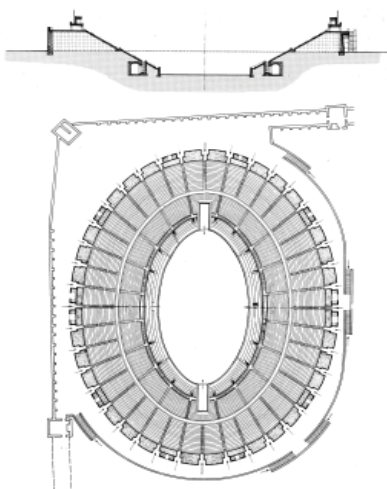
legno, come l'arena. Fu totalmente distrutto in occasione del grande incendio di Roma del 64 d.C.. L'aspetto dell'anfiteatro di Statilio Tauro non poteva cambiare la situazione in questo campo, in quanto l'edificio non era realmente degno di esso. Non sembra un caso che la comparsa del primo anfiteatro di Roma sia coinciso con la nascita dell'Impero. A quel tempo, le condizioni politiche erano cambiate e lungi dal temere alcune iniziative private di un magistrato ambizioso. La maggior parte degli spettacoli ebbero il loro sviluppo principalmente al Circo Massimo. Si verificò che durante i giochi celebrativi per l'apertura del teatro di Pompeo, avvenuta nel 55 a.C., gli elefanti tentarono di rompere i cancelli di ferro che circondavano l'area, diffondendo il panico tra gli spettatori.

La grandezza di tali venationes, e soprattutto l'isorgere di tali problematiche avrebbero potuto avere la loro risoluzione nell'arena di un anfiteatro, monumento permanente che non esisteva a Roma in quel periodo.

Le problematiche prima citate hanno privato per molto tempo la città di un grande anfiteatro permanente, ma al contempo era dotata del più bel teatro del mondo, ben progettato, con una grande cavea sostenuta da una struttura cava con pareti radianti.

Fu proprio in questo periodo che in molte città italiane, e non solo, si ebbe il diffondersi degli anfiteatri; in contrasto con il teatro romano, che si è evoluto da modelli greci, l'anfiteatro non ha precedenti architettonici nel mondo greco.

2.12 - Pompei: Anfiteatro, pianta e sezione, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988



L'anfiteatro di Pompei.

Si tratta di una iniziativa privata che è dovuta all'Odeon e all'anfiteatro di Pompei: entrambi sono stati finanziati dai *duumviri* C. Quinctius Valgus e Marcus Porcius, due personaggi molto rappresentativi della nuova classe dirigente di questa regione.

L'iscrizione posta su una delle sue porte principali, lo denomina *spectacula*, perché la parola *Amphitheatrum* non era ancora in uso.

Situato nell'angolo nord-est delle mura di cinta della città e in linea con gli assi delle strade adiacenti.

La cavea è addossata al muro di cinta in modo da sfruttarlo quale sostegno, le gradinate sono state ricavate direttamente su di un terrapieno ottenuto dal terreno proveniente dagli scavi dell'arena.

All'esterno presenta un ordine inferiore ad archi ciechi, realizzati in opera incerta, mentre l'ordine superiore presenta archi a tutto sesto.

L'arena è in terra battuta ed è divisa dalla platea da un parapetto altro circa due metri, che, prima dell'eruzione, era affrescato con immagini di lotte tra

gladiatori; la cavea è divisa in tre zone, destinata ai diversi ceti sociali degli abitanti della città e l'intero complesso disponeva di un *velarium* che veniva utilizzato per proteggere gli spettatori dal sole o dalla pioggia⁹. L'anfiteatro fu inoltre lo scenario di una violenta rissa tra pompeiani e nocerini, nel 57, che portò a numerosi feriti ed alla perdita di diverse vite umane: a seguito di questo evento, il senato decise di chiudere l'edificio per dieci anni, ma il provvedimento fu poi annullato dopo il terremoto del 62¹⁰.

L'anfiteatro d'Abella (Avella).

L'area archeologica rappresenta il primo nucleo del *Parco Archeologico dell'antica Abella* e racchiude l'unico monumento oggi visitabile della città romana. A circa 300 metri a Est dell'abitato moderno è l'anfiteatro dell'antica Abella, città osca, divenuta in seguito etrusca, poi sannita e dal 399 a.C. passata sotto la protezione romana. L'anfiteatro, la cui raffigurazione compare sul lato di una base di statua di calcare di età antonina, oggi conservata nella piazza antistante il Palazzo Ducale nel centro storico di Avella, fu edificato nel I sec. a.C. nel settore sud-orientale della città antica, in un'area precedentemente già occupata da strutture abitative del periodo sannitico. Rapportabile per dimensioni all'anfiteatro di Pompei, di questo antico edificio si conservano strutture in opus reticolatum e la parte centrale ed inferiore della cavea con sedili in tufo, mentre la parte superiore non è più conservata. L'edificio era piccolo: i suoi assi principali superano appena 79,00 x 53,00 metri.

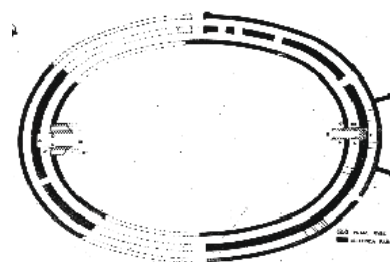
L'anfiteatro di Cales e di Teanum.

Come Pompei, queste città avevano già un teatro nel II secolo a.C.. Nella regione nord-orientali di *Cales* si riconoscono anche i resti di un anfiteatro la cui *cavea* è stata in parte scavata in un banco roccioso ed in parte sostenuta da una terrapieno artificiale. Poco studiato, la cui costruzione dovrebbe presumibilmente risalire al I secolo a.C., mostra tracce di rianneggiamenti di epoca imperiale.

L'anfiteatro di *Teanum* era a sud del teatro, contro il muro. Struttura semplice, ma ancora poco conosciuta, la sua cavea poggiava su scarpate. Il monumento risale probabilmente al tempo di *Silla*.

L'anfiteatro piccolo di Puteoli.

Molto prima della costruzione del suo famoso anfiteatro grande, Pozzuoli ne ha avuto uno, di dimensioni più piccole, sarebbe stato edificato circa la metà del I secolo a.C.¹¹.



2.13 - Avella: Anfiteatro, inquadramento territoriale
2.14 - Avella: Anfiteatro, particolare dell'interno
2.15 - Cales: Anfiteatro, pianta
2.16 - Teanum: Anfiteatro, inquadramento

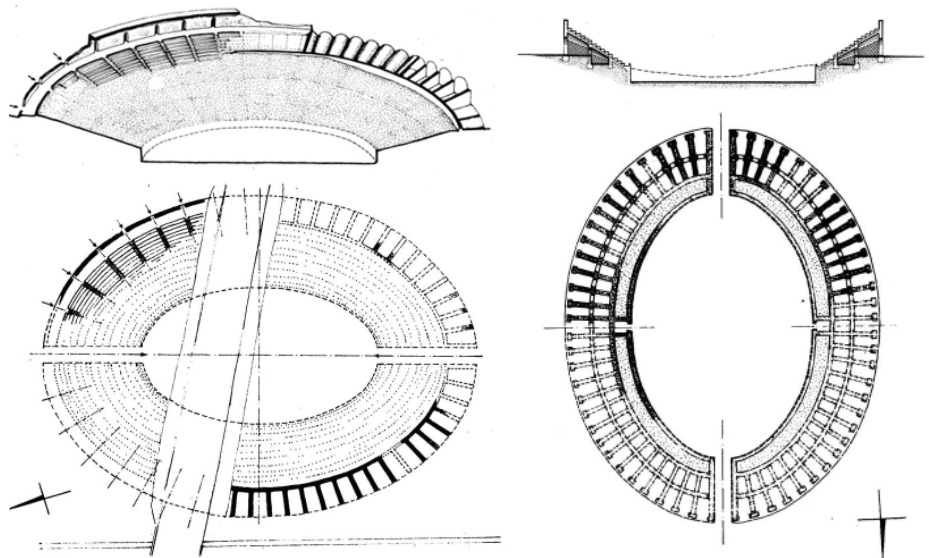
Gravemente danneggiato dalla costruzione di una ferrovia, l'orientamento nord-sud dell'edificio era perpendicolare al grande anfiteatro che fu costruito un pò più ad ovest. La lunghezza dei suoi assi principali è di circa 130,00 x 95,00 metri. La struttura della cavea, nella parte nord-orientale, si appoggia direttamente al terreno, mentre la parte opposta si articola su di una struttura artificiale composta da muri radiali ed archi, in parte ancora visibili. Il rivestimento delle pareti è in opus reticulatum e si sviluppa per uno spessore in media di 3,60 metri.

Parte della cavea sostenuta dal terreno naturale, è a nord-est del monumento. Essa comprende i resti di alcuni cunei, separati da piccole scale diritte (scalaria) servite dalle porte di 0,75 metri di larghezza, poste ogni 7,50 metri, e sono collegati ad una galleria periferica coperta da una volta a botte. Le pareti esterne, costruite in opus quasi reticulatum, erano ricoperte da uno spesso strato di intonaco. La parte inferiore dell'edificio è stata appoggiata probabilmente interamente al suolo. L'arena fu probabilmente scavata nel terreno: le sue dimensioni non erano molto superiori a 69,00 x 35,00 metri.

L'anfiteatro di Telesia.

Le mura di Telesia, una delle numerose colonie sillaniensi della Campania, sono ancora ben conservate. Il loro rivestimento di *opus reticulatum* è identico a quello delle pareti dell'anfiteatro, probabilmente risalente al periodo repubblicano e quindi anteriore a quello di Pompei.

L'edificio era situato in prossimità della porta nord-occidentale (che por-



2.17 - Puteoli: Piccolo Anfiteatro, pianta e sezione, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988.

2.18 - Telesia: Anfiteatro, pianta e sezione, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988.

tava a Capua) e conserva ancora le strutture superiori, tra cui alcuni vomitoria e le arcate a cui si addossavano le gradinate.

La sua struttura ricorda il piccolo anfiteatro di Pozzuoli e le dimensioni possono essere stimate in 68,00 x 46,00 metri; la larghezza totale delle cavea era di 15,60 metri pertanto le dimensioni totali sono di 99,00 x 77,00 metri. I paramenti murari sono in *opus reticulatum* ma le loro estremità, il lato della facciata e gli archi situati tra le volte della media e summa cavea, sono in *opus latericium*¹².

L'anfiteatro di Paestum.

Diversamente dalla maggior parte degli anfiteatri, quello di Paestum appare al centro della città antica, collocato in una posizione strategica, vicino al *comitium* ed il *forum*.

Fondato in epoca cesariana (50 a.C. circa), è fra gli esempi più antichi di questo genere di edifici. Inizialmente costruito senza l'anello esterno, conserva pochi gradini della cavea (gradinata per il pubblico). Il balteo, parapetto separante l'arena dalla cavea, fu realizzato fino a discreta altezza per evitare l'aggressione degli animali che si esibivano nell'arena. Alla fine del I sec. d.C. vi fu aggiunto un anello esterno costituito da una serie di arcate poggiate su pilastri in laterizio al di sopra delle quali venne posizionato il coronamento della cavea (*maenianum summum*), forse eseguito in legno. Gli assi della cavea misurano 84,90 per 62,40 metri. Si accedeva all'anfiteatro attraverso quattro ingressi: due monumentali posti sull'asse maggiore, e due, meno importanti ma ben conservati, si trovano sull'asse minore.

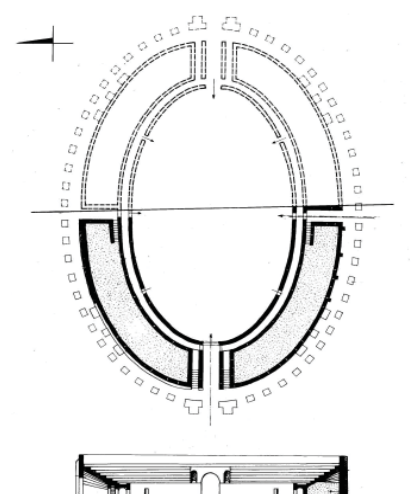
Attualmente l'anfiteatro è visibile solo in parte, dal momento che circa la metà è sepolta sotto la strada moderna. Della parte non scavata, al di là della strada, se ne individuano sul terreno resti notevoli¹³.

L'anfiteatro di Alife.

L'anfiteatro di Alife si imponeva sul panorama extraurbano della città antica. L'edificio presenta testimonianze di due fasi edilizie: nella prima l'edificio presentava una maggiore elevazione ed un'arena ampia, allo stesso livello della campagna circostante; nella seconda fase venne ridotta l'altezza del monumento, scavando al di sotto del piano dell'arena, e si aggiunge una tribuna interna destinata ai cittadini più ragguardevoli. Il monumento fu poi progressivamente smantellato per il riuso dei materiali edilizi lapidei nella costruzione della vicina città. L'anfiteatro è databile ai primi decenni del I secolo d.C. per il rinvenimento di parte di un'iscrizione dedicatoria¹⁴.

2.19 - Paestum: Piccolo Anfiteatro, pianta e sezione, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988.

2.20 - Alife: Inquadramento territoriale.



Note

¹ Cfr. P. Bracci, Il Colosseo: “*morituri te salutant*”, ottobre 2011 in <http://www.sodaliziolazio.com/?p=3052#more-3052>.

² Cfr. J. C. Golvin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988.

³ Sulle pareti di due tombe di Tarquinia, rispettivamente la *Tomba degli Auguri* (VI secolo a.C.) e la *Tomba delle Olimpiadi* (ultimo venticinquennio del VI secolo a.C.), è raffigurato un gruppo composto da uno strano personaggio mascherato, denominato Phersu, che tiene al laccio un feroce cane che assale un uomo con la testa coperta da un sacco che si difende con una clava. Questa cruenta scena di combattimento è un'anticipazione dei giochi gladiatori romani che deriverebbero appunto dai giochi funebri.

⁴ Cfr. E. Frezoul, *Theater and Amphitheater in the roman World*, ottobre 2006 in http://www.metmuseum.org/toah/hd/tham/hd_tham.htm#top.

⁵ Cfr. Svetonio, *De Vita Caesarum : Divus Claudius*, 5,21,6. “Coloro che stanno per morire ti salutano”, l'invocazione è rivolta all'imperatore romano Claudio ed è pronunciata non da gladiatori ma da condannati a morte che in un'occasione unica e molto particolare, la celebrazione nel 52 dell'inizio della bonifica del Fucino, si apprestavano a partecipare alle Naumachie appositamente indette dall'imperatore Claudio.

⁶ « ...duas tantum res anxius optat panem et circenses » « ...[il popolo] due sole cose ansiosamente desidera pane e i giochi circensi » Giovenale, *Satire*, X, 81.

⁷ Cfr. Cassio Dione, *Liber de spectaculis*, XXIV.

⁸ Cfr. S. Tauro, *Amphiteatrum Statilii Tauri*, 8 luglio 2012 in http://it.wikipedia.org/wiki/Anfiteatro_di_Statilio_Tauro.

⁹ Cfr. S. Rinaldo Tufi, *Pompei. La vita quotidiana*, Giunti Editore, Milano, 2003, p.41.

¹⁰ Cfr. A. Crane, *I veleni di Pompei*, Robin Edizioni, Roma, 2006.

¹¹ Cfr. *Anfiteatro minore di Pozzuoli*, 9 agosto 2012 in http://it.wikipedia.org/wiki/Pozzuoli#Anfiteatro_minore.

¹² Cfr. Anfiteatro di Telesia, 19 lug 2012 in <http://it.wikipedia.org/wiki/Telesia#Anfiteatro>.

¹³ Cfr. *Anfiteatro di Paestum*, in <http://www.paestumsites.it/lanfiteatro>

¹⁴ Cfr. *Scavi archeologici di Alife*, in http://www.incampania.com/beniculturali.cfm?s=5&Menu_ID=200&Sub_ID=201&Info_ID=4409.

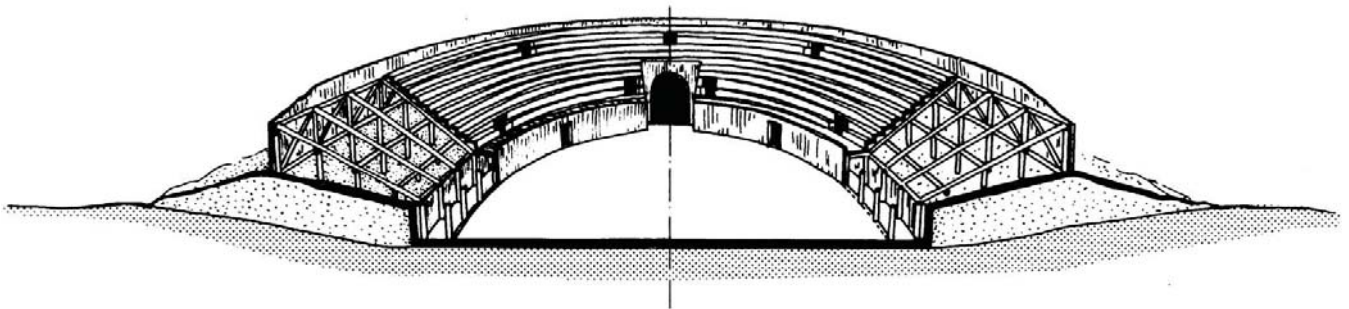
Le tipologie degli anfiteatri

3.1. Gli anfiteatri a struttura piena

Gli anfiteatri che rientrano in questa categoria hanno una struttura molto semplice.

La loro arena è stata in gran parte scavata nel terreno, mentre parzialmente la loro cavea poggiava sui pendii naturali o pendenze di grandi dimensioni, realizzate mediante interventi preliminari di movimento terra. Le gradinate sono state scavate nella roccia o poggiate direttamente sull'argine del terreno e la struttura della costruzione aveva sempre un carattere massiccio. Conteneva pochissimi vuoti, corrispondenti a gallerie utilizzate per il servizio interno. Per questo motivo, tutti gli anfiteatri che hanno questo tipo di caratteristiche, vengono classificati come: *"anfiteatri a struttura piena"*. I manufatti interamente scavati nel suolo furono relativamente rari e, nella gran parte dei casi, la struttura piena consisteva in grandi argini di terra mantenuti da palizzate o da pareti.

3.1 - Anfiteatro con cavea sostenuta da struttura fondata su scarpata, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988



Il problema tecnico fondamentale da risolvere, oltre alle operazioni di scavo preliminari, era la distribuzione efficace e la ripartizione degli argini perimetrali dei pendii o scarpate artificiali che venivano realizzati.

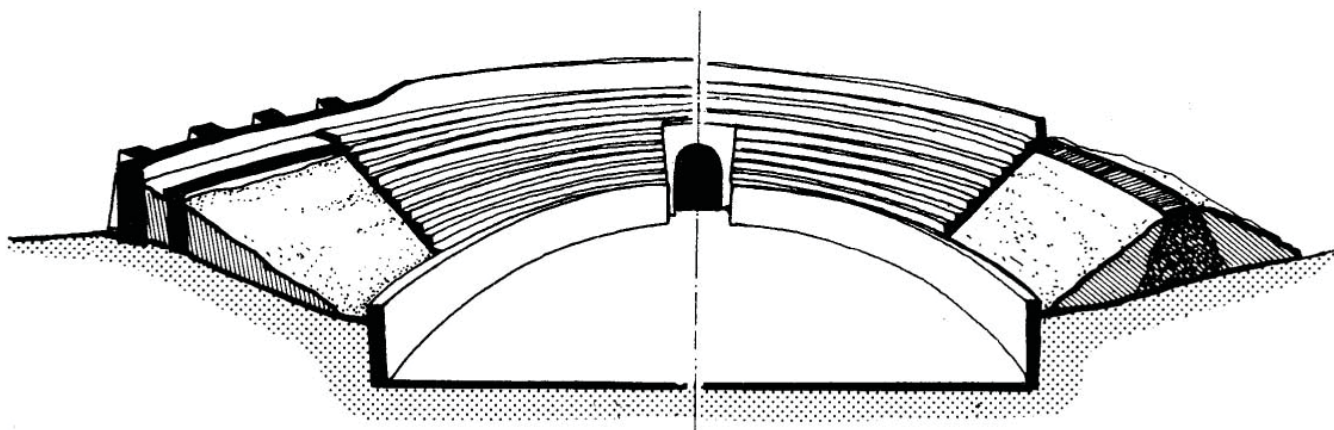
Le costruzioni a struttura piena possono essere suddivise in due grandi categorie che meritano di essere riportate: una corrisponde agli “anfiteatri a cavea sopportata da argini continui”, e l'altra agli “*anfiteatri a cavea sopportata da argini suddivisi in compartimenti*”.

Il sostegno dell'anfiteatro al terreno naturale presentava un vantaggio considerevole, poiché tutta la parte della cavea era ottenuta senza costruire una struttura elevata per sostenerla. Questa soluzione era dunque rapida ed economica, ma presupponeva di dover trovare, vicino alla città, un terreno in pendenza favorevole o una cavità di vallone idoneo a realizzare tale struttura. Inoltre la fase di scavo preliminare non poneva gravi problemi quando il monumento era tagliato nella roccia; gli sterri erano sempre recuperati sotto forma di modellazione del terreno, mentre il taglio delle rocce era recuperato sotto forma di grandi blocchi utilizzati come pietra da costruzione.

Queste due metodologie costruttive venivano scelte, l'una rispetto all'altra, in base all'importanza e alla grandezza a cui il monumento doveva assolvere, nonché per la risoluzione delle problematiche di natura tecnica.

La pendenza generale del terreno determinava infatti una relazione tra la larghezza della cavea e la sua altezza. Generalmente quanto più ampia era quest'ultima, tanto più doveva essere alta, cosa che era difficile da realizzare con argini artificiali creati in loco. Infatti, la massa di terra o di materiali pulverulenti, che funge da sostegno alle gradinate, è più o meno ben compattata. Aveva sempre la tendenza a slittare, o scivolare, esercitando una spinta laterale sulle pareti che la mantenevano. Di fatto le pareti, per poter contrastare detta spinta, assumono il ruolo di pareti di sostegno.

Una soluzione, adottata per la risoluzione di questo problema, fu quella di limitare la larghezza della cavea, ma ciò non era sempre possibile. D'altro canto, se si voleva realizzare una costruzione di grandi dimensioni, questa soluzione diventava inapplicabile, poiché non si poteva prevedere l'aumento delle dimensioni dell'arena oltre un certo limite. Altra soluzione consisteva nel realizzare murature contraffortate all'interno e all'esterno del margine perimetrale della cavea perfezionando la struttura. Questo spiega perché, generalmente, le costruzioni più semplici sono anche più piccole.



3.2. Anfiteatri a cavea scavata o sopportata da argini continui

Una soluzione più semplice consisteva nel costruire scavando interamente nella roccia, e ciò poteva essere fatto solo se si avevano le condizioni ambientali per poter mettere in atto tutto quanto sopra descritto.

Molto spesso, l'anfiteatro era scavato in un terreno ordinario e le fasi costruttive della cavea erano legate alle pendenze dello stesso. Nel caso più semplice, gli argini si trovavano disposti da ambo le parti del grande asse. In questo modo si costituivano due grandi pendenze, di forma curva disposte simmetricamente, mantenute da pareti anulari periferiche.

Queste costruzioni prendono il nome di: *“anfiteatri a cavea sopportato da argini continui”*.

Gli anfiteatri a cavea supportati da argini continui, sono, per il grado della loro complessa struttura, non legati alla loro evoluzione cronologica, poiché i monumenti più semplici sono inevitabilmente più vecchi; la forma e la natura del terreno hanno svolto un ruolo determinante.

Il metodo più semplice per costruire un anfiteatro era quello di poter scavare direttamente nel terreno e le sue gradinate nella roccia.

Questo modo di scavare tutta o la maggior parte possibile della cavea, si riscontra in tutte le regioni ed in ogni epoca. Si trattava di un mezzo efficace ed economico di realizzare le gradinate, l'arena e il muro che circondava il podio. Quando la qualità del terreno si prestava, la parte della cavea, che non poteva essere scavata, doveva prendere appoggio su una struttura artificiale di natura variabile. Questo metodo è stato preferito a qualsiasi altro, quando si disponeva di un banco roccioso propizio situato a debole distanza dalla città. Si utilizzava lo stesso metodo anche per la realizzazio-

3.2 - Anfiteatro a struttura piena con cavea sostenuta da argini continui, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988

ne di teatri, costruzioni meno complesse rispetto agli anfiteatri.

Questa soluzione era proficua, anche perché permetteva di trasformare il cantiere in una vera fabbrica che forniva un grande quantitativo di blocchi di pietra. I blocchi, prodotti in loco, potevano essere utilizzati per costruire parzialmente il monumento, ed in particolare le parti delle pareti del podio che non potevano essere scavate nella roccia.

Il fatto di sostenere una struttura a telaio in legno a più livelli era una soluzione vecchia e ben provata fin dall'epoca repubblicana. Questo modo di costruire fu utilizzato in tutte le epoche, ma naturalmente, si sviluppò soprattutto nelle regioni umide e boschive in cui questo materiale, il legno, in gran parte disponibile, era di facile reperimento rispetto alla pietra. Ciò spiega la sua vasta diffusione in particolare in Germania, in Bretagna ed in Dacia. In queste regioni, così come la Gallia e l'Italia, l'uso delle strutture in legno è stato associato a quello di argini di terra.

Queste numerose costruzioni hanno conosciuto soltanto una breve esistenza; erano purtroppo, spesso, preda delle fiamme o, in qualunque caso, richiedevano importanti lavori di riparazione o di manutenzione.

La maggior parte di queste strutture hanno conosciuto un'esistenza breve, che non ha superato un secolo, riducendosi in alcuni casi ad alcune decine di anni. Il periodo che va dal 50 al 150 dopo Cristo, è quello in cui si incontra il maggior numero di costruzioni realizzate in questo modo, la maggior parte ricostruito in pietra nel corso del II secolo. In tutti i casi, la struttura in legno ha sempre preceduto la struttura in pietra. Ha consentito una fase di costruzione affrettata, completata per mezzo di strumenti più rapidi, più economici e facilmente disponibili in loco.

La soluzione era accettabile soltanto in queste condizioni, ma non era duratura. Il carattere provvisorio e di poca monumentalità di queste costruzioni ha giustificato, secondo i casi, una ricostruzione totale in pietra in situ; cioè la realizzazione di una nuova costruzione perfettamente distinta del vecchio anfiteatro.

Gran parte degli anfiteatri conobbero una fase di ricostruzione in pietra, tuttavia, un gran numero di altri anfiteatri fu realizzato in muratura fin dalla loro origine. È possibile classificare tutti quest'esempi per ordine cronologico, fondandosi in particolare sui diversi tipi di strutture utilizzate per la costruzione delle loro pareti.

L'abbondanza della pietra in situ spiega l'adozione di questi metodi costruttivi, ma anche la ricchezza delle città dalle quali questi monumenti dipendevano.

-L'uso dell'*opus reticulatum* si incontra in Italia all'anfiteatro di Luceria (da-

3.3 - Anfiteatro di Luceria risalente all'età augustea.



tato II secolo a.C.). Occorre notare tuttavia, a *Luceria*¹, l'utilizzo in modo specifico dell'*opus quadratum* a grandi bossages², limitatamente alla realizzazione degli importi e degli archi degli ingressi principali a entrambe le estremità dell'asse maggiore.

-L'*opus vittatum* che comprende basi di mattone, non appare prima dell'inizio del II secolo, la scelta della tecnica costruttiva era generalmente dettata dalle condizioni locali.

-L'*opus latericium* si incontra in Italia probabilmente dal II secolo d.C..

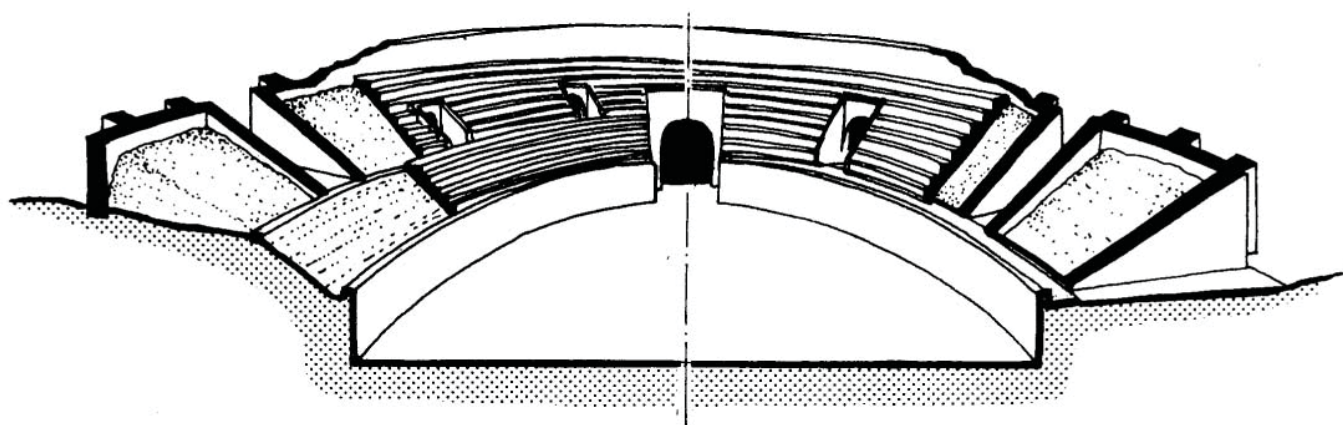
-L'*opus incertum* è il tipo di apparato murario che si ritrova più frequentemente e si riscontra nelle costruzioni più datate. Inoltre è stato impiegato per la fase di ricostruzione di strutture originariamente in pietra. Questo tipo di struttura poteva essere preferita a qualsiasi altra, quando la forma del terreno e le dimensioni della costruzione lo permettevano. L'importanza delle parti appoggiate e l'utilizzo di materiali modesti (terra, legno o piccoli ciottoli) rendevano possibile la realizzazione dell'edificio in modo molto economico.

3.3. Anfiteatri a cavea soportati da argini suddivisi in compartimenti

Le grandi difficoltà tecniche, che potevano essere riscontrate dall'assestamento dei terreni per la realizzazione di tutta la cavea, non erano gravi quando agli argini si sovrapponeva una struttura in legno, ma erano temibili per un edificio in muratura.

Potevano manifestarsi all'interno dell'apparato murario grandi lesioni, che

3.4 - Anfiteatro a struttura piena con cavea sostenuta da compartimenti, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988



deterioravano seriamente la costruzione, con conseguenti lavori di restauro. Una buona soluzione a questo problema, fu trovata quando si ebbe l'idea di procedere ad un taglio molto regolare degli argini che sostenevano la cavea.

Inserendo all'interno di questa setti murari, che venivano a determinare l'ossatura della struttura che si opponeva in modo molto efficace alle deformazione e/o cedimenti del terreno.

Questa nuova categoria di costruzioni è quella degli *"anfiteatri a cavea sopportata da argini suddivisi in compartimenti"*.

Il modo di ripartizione degli argini differiva secondo i casi, è possibile dunque distinguere due varianti:

la prima definita "struttura a compartimenti pieni sovrapposti", prevedeva il riempimento dei grandi settori giustapposti delimitati da pareti (che corrispondono ciascuno ad un *cuneus*); la seconda definita *"struttura a cassoni"*, prevedeva la realizzazione, in spazi molto più piccoli, di pareti radianti



3.5 - Anfiteatro di Merida: Inaugurato nell'anno VIII a. C., si trova vicino al teatro, addossato alla collina di San Albán. Al centro dell'arena vi è un fossato cruciforme.

alle quali erano assoggettate tutte le sollecitazioni.

Degli edifici a struttura piena, possiamo distinguere quelli di cui la cavea poggia sia su argini chiusi all'interno di grandi compartimenti (la cui superficie equivaleva a quella di un *cuneus*), sia su cassoni di dimensioni più piccole.

L'anfiteatro di Mérida offre il migliore esempio di questo tipo di struttura, ed inoltre l'anno di costruzione risale all'anno VIII a.C., grazie alle iscrizioni ritrovate in sito. Tra i compartimenti cuneiformi dell'anfiteatro, si trovavano i corridoi d'accesso ai *vomitoria*.

Nell'anfiteatro di Lione, risalente all'anno 19 d.C., i suoi compartimenti non erano così semplici come quelli degli esempi precedenti. Erano stati riadattati internamente da pareti di divisione incurvate e parallele alle pareti del podio ed alla facciata.

Questa suddivisione dei compartimenti appare anche a Saintes ma, in questo caso, le pareti di divisione erano disposte in modo radiale anziché essere parallele alle pareti del *podium*. Il vantaggio era di migliorare la resistenza della struttura, poiché le pareti erano legate le une alle altre ed il terrapieno risultava essere diviso in piccole entità.

La cavea di molti monumenti costruiti, tra la fine dell'I secolo e l'inizio del II secolo, erano supportate da una serie di compartimenti pieni sovrapposti.

3.4. Anfiteatri dotati di struttura a cassoni

In numerosi altri casi si preferiva ai grandi compartimenti, l'utilizzo di piccoli cassoni capaci di sostenere ogni tipo di carico ed essere delimitati da pareti radianti. La struttura di queste costruzioni era dunque più consistente di quella a compartimenti sovrapposti.

Questo tipo di struttura appare nella parte periferica dell'anfiteatro di Corinto, dovuta certamente ad un ingrandimento del monumento primitivo. Tanto sul piano tecnico quanto su quello cronologico, l'occupazione della struttura "a cassoni" appare soltanto come una variante della struttura "a compartimenti". Manifesta la volontà che è esistita in alcuni casi, di migliorare la solidità della costruzione suddividendo al massimo l'argine e creando un'ossatura potente. La forma irregolare di alcuni anfiteatri dimostra spesso mancanza di abilità, di disposizione e d'esecuzione.

Queste imperfezioni mostrano come i metodi utilizzati erano generalmen-

te semplici, per non dire in alcuni casi rudimentali, e la concezione modesta ed economica di queste costruzioni è attestata dall'utilizzo di materiali da costruzione molto usuali.

Le varie tecniche edilizie utilizzate furono:

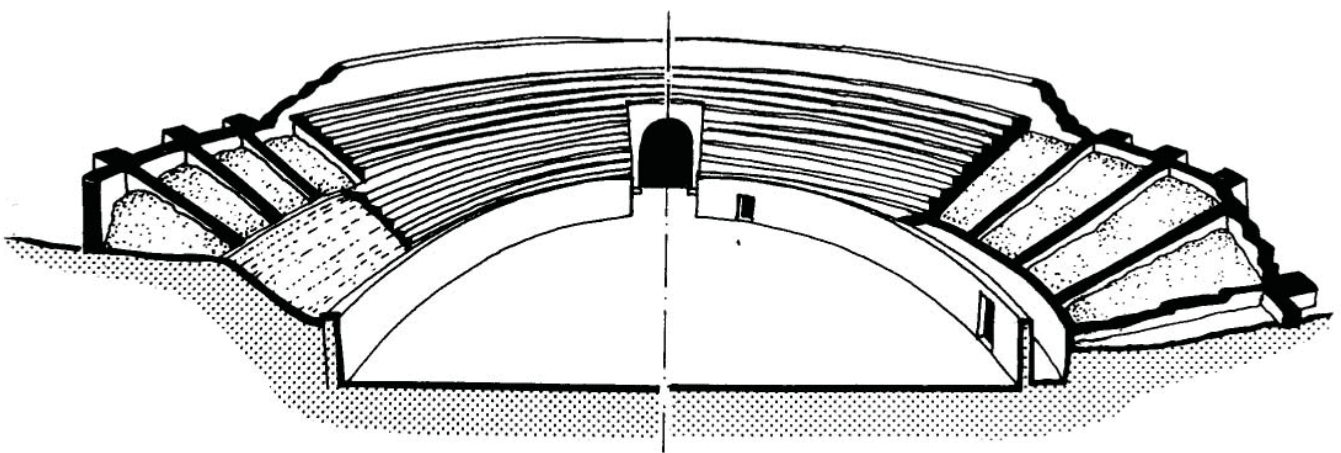
opus incertum; opus vittatum, opus reticulatum, opus quadratum, opus mixtum, opus latericium.

Altre caratteristiche tecniche possono offrire indicazioni cronologiche interessanti. Si tratta in particolare del metodo di costruzione delle volte in blocco delle gallerie interne. Si osserva infatti, che fino alla fine dell'epoca giulio-claudia, i ciottoli erano disposti in modo radiante sopra la cassaforma installata al momento della costruzione delle volte, mentre successivamente, furono disposti da strati orizzontali ed accompagnati non più dalla forma incurvata delle intelaiature. Questa struttura a ciottoli "radianti" tenuti insieme da un impasto di calce e di sabbia³, si nota spesso negli anfiteatri costruiti prima dell'epoca flavia, mentre non era stata usata al momento della costruzione del grande anfiteatro di Pozzuoli.

Questo permette di distinguere le volte costruite prima dell'epoca flavia da quelle che sono state realizzate a partire da questo periodo, ed offrono un'argomentazione di datazione interessante.

Anche altri dettagli presentano un interesse sul piano cronologico. È durante l'epoca giulio-claudia che furono realizzate le volte in blocco anziché poggiate su terrapieno direttamente sul terreno. Alcune volte erano state anche realizzate per sostenere le strutture della *summa cavea*, avevano lo scopo di ridurre la struttura e migliorare la solidità dell'edificio. Inoltre la parte terminale della parete di facciata svolgeva in questo tipo di costruzione, il ruolo di una parete di sostegno.

3.6 - Anfiteatro a struttura piena con cavea sostenuta da cassoni giustapposti, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988



Per contenere più efficacemente la spinta delle terre e non solo, la parete di facciata, in alcuni casi, era stata fornita di contrafforti esterni o grandi pile in opus quadratum che risultavano indipendenti dalla parete stessa. Solo circostanze eccezionali ed astuzie tecniche avevano permesso, in alcuni casi, di migliorare le strutture realizzate di volta in volta.

Se l'adozione degli argini, suddivisi in compartimenti, ha permesso tuttavia di realizzare monumenti un po' più vasti di quelli in cui la cavea era sostenuta da argini continui, le loro dimensioni restarono sempre nettamente inferiori a quelle degli anfiteatri a struttura cava.

3.5. Anfiteatri a struttura cava

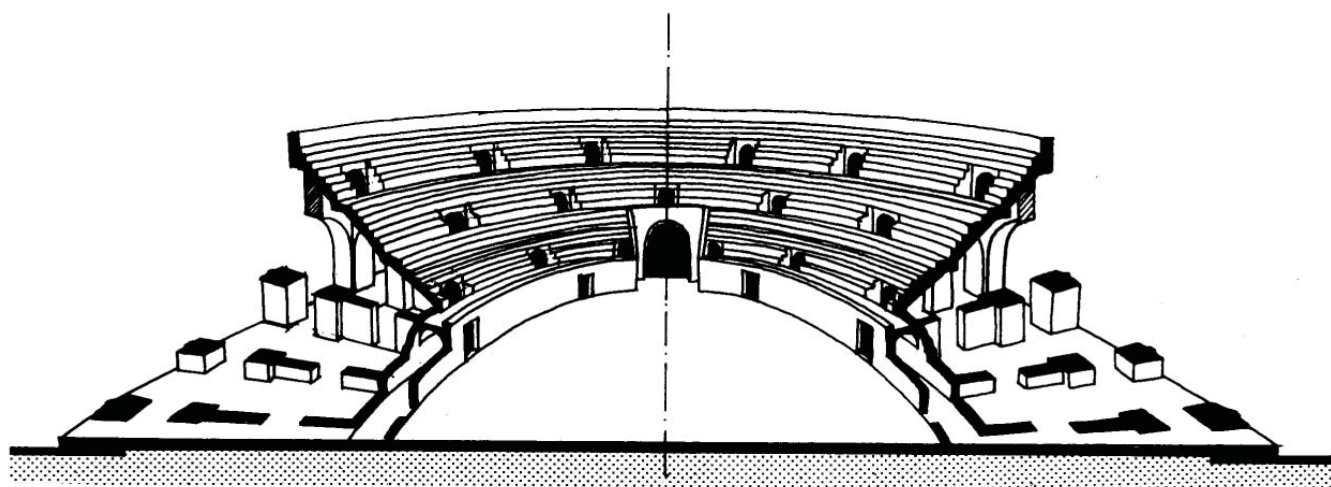
In questa categoria sono state classificate tutte le costruzioni la cui struttura, anziché essere in gran parte appoggiata al terreno o essere costituita da argini massicci, si componeva esclusivamente di pareti radianti e di volte. Essendo l'importanza dei vuoti in risalto rispetto ai pieni, era per logica chiamato "anfiteatro a struttura cava" qualsiasi esempio con questa caratteristica, in contrasto alle strutture denominate "anfiteatro a struttura piena".

La struttura cava, certamente più complessa e costosa della struttura piena, aveva il vantaggio di consentire la realizzazione di anfiteatri di una certa importanza, senza avere nessun tipo di vincolo legato alla orografia del terreno. Era dunque molto flessibile e rispondeva bene ai problemi d'instaurazione, di funzionamento o d'estensione dei monumenti. Liberati dalle problematiche legate alla forma del terreno o all'utilizzo di specifiche tecniche costruttive, si potevano così concepire costruzioni di grandi



3.7 - Anfiteatro Flavio di Pozzuoli: costruito nel I secolo d.C., l'Anfiteatro Flavio, sorge là dove confluivano le principali vie della regione, la Via Domitiana e la via per Napoli, in sostituzione dell'antico edificio per spettacoli di età romana repubblicana divenuto insufficiente.

3.8 - Anfiteatro a struttura cava, tratto da: J. C. Govin, *L'Amphithéâtre Romain. Essai sur la théorie de sa forme et de ses fonctions.*, Ed. Diffusion de Boccard, Paris, 1988



dimensioni, dando libero arbitrio alla cura estetica ed architettonica dell'opera architettonica.

Alla concezione economica ed utilitaria degli anfiteatri a struttura piena si oppone questa "grande architettura" a carattere di prestigio, rappresentata dai numerosi esempi.

Particolare attenzione viene riservata ad una ulteriore divisione effettuata per questo tipo di costruzioni; infatti questi si dividono in:

-*Anfiteatri sprovvisti di galleria periferica*⁴ ;

-*Anfiteatri che possiedono una galleria di distribuzione periferica*⁵.

3.6. Edifici a struttura mista

Nei territori della Gallia e dell'Oriente esistevano molti edifici con un carattere misto dovuto alla combinazione delle attività svolte al loro interno: gli spettacoli svolti sul palco ed i combattimenti che si svolgevano nell'arena.

La quasi totale assenza di fonti bibliografiche non ci permette di spiegare in maniera soddisfacente la forma degli edifici misti della Gallia e le loro funzioni, poiché non si sa nulla degli spettacoli che si svolgevano al loro interno. Questo vicolo cieco è tanto più maldestro, in quanto lo studio delle relazioni tra la forma e la funzione delle costruzioni costituisce il cuore stesso di questo argomento.

Pertanto non si riesce a distinguere quale sia stata l'importanza relativa, in uno stesso luogo, tra spettacoli teatrali e battaglie.

Risulta meno complessa la problematica per le costruzioni d'Oriente.

Il grande sviluppo di questi ultimi in Asia Minore, è determinato dall'importanza che conservavano le rappresentazioni teatrali o il modo in cui sono state strutturate con *munera e venationes*, cosa che avrebbe avuto importanza fondamentale per la comprensione delle costruzioni miste. Rimangono insolite problematiche inerenti l'utilizzo degli spazi interni, all'atto dello svolgimento dei *munera e venationes*, all'utilizzo dello spazio "orchestra-arena" contestualmente o meno a quello del palco.

Alcune costruzioni possedevano allo stesso tempo un'arena ellittica ed un piccolo palco definite: "*semi-anfiteatri*"; altre somigliavano ad un teatro ordinario, ma a causa della loro forma generale semicircolare e la presenza di un'arena di dimensioni ridotte, che occupa la spazio abituale destinato all'orchestra, vennero definite: "*teatri-anfiteatri*".

Note

¹ L'Anfiteatro Romano di Lucera venne realizzato per un pubblico numeroso con una capienza tra i 16.000 e i 18.000 spettatori, che assistevano a spettacoli ginnici, a finte battaglie navali, a lotte tra gladiatori e belve feroci. La struttura è di forma ellittica e misura 131,20 m. X 99,20 m. circa.

² In architettura il bossages è una sporgenza sulla superficie di un elemento di legno o di pietra.

³ Cfr. Cairoli f. Giuliani, *ledilizia nell'antichità*, carocci editore, Roma, 2012.

⁴ Occorre notare tuttavia che questa apparì più tardi negli anfiteatri che nei teatri poiché quest'ultimi ne furono dotati a Roma fin dall'epoca repubblicana, cosa che non impedì ad alcuni teatri a struttura cava di restare priva.

⁵ La facciata di questo tipo di costruzione sembra avere conosciuto per la prima volta uno sviluppo monumentale comparabile a quello dei più grandi teatri soltanto a partire dalla costruzione degli anfiteatri di Verona e di Pola. La combinazione di arcate con ordini decorativi, che si può osservare, era da tempo adottata a Roma e frequente in altri grandi teatri julio-claudiani.

PARTE PRIMA

La genesi dell'Anfiteatro

CAPITOLO QUARTO

Le parti dell'anfiteatro

Le parti che costituiscono un anfiteatro sono di seguito riportate. È legittimo cominciare lo studio delle varie parti dell'anfiteatro con quella dell'arena, poiché questa costituisce indubbiamente l'elemento più originale.

La parola arena ha per origine la parola latina “arena”, che significa “sabbia” ed in particolare: “area centrale, cinta da gradinate (podio), destinata nell'architettura romana a spettacoli (giochi, gare, combattimenti e, se colmata d'acqua, naumachie)¹ .

La funzione fondamentale dell'arena era di accogliere i combattenti, gladiatori o animali e permettere loro di evolvere in modo soddisfacente in tutte le direzioni. È per questo che doveva essere concepita in modo da permettere a ciascuno di dare la piena misura della propria capacità fisica. Questo spazio doveva essere chiuso ed insormontabile. Le pareti del podio, con i suoi accessori eventuali, costituiva dunque un ostacolo abbastanza elevato per evitare che gli animali, di tutti i generi, potessero fuggire e aveva la funzione di protezione degli spettatori dal pericolo dei combattimenti.

Era uno spazio “recipiente”, le cui dimensioni massime definivano l'ampiezza, l'arena era una superficie libera e piana, che permetteva lo spostamento dei combattenti e l'impianto delle decorazioni al mezzo delle quali evolvevano.

Altra elemento è la cavea. La parola cavea designa la grande forma concava determinata da tutte le gradinate che la costituivano, con la sua struttura più o meno complessa, la forma di un grande anello ellittico.

Questa parte dell'anfiteatro contrastava con l'importanza della sua massa,

4.1, 4.2 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolare dell'arena.



con l'arena che corrisponde soltanto ad uno spazio vuoto centrale.

Nella Roma antica in origine era quella parte nascosta degli anfiteatri dove erano collocate le gabbie delle fiere, in seguito viene a denominare lo spazio destinato al pubblico.

Rappresenta l'insieme delle gradinate (diviso in settori) di un anfiteatro, dove prendevano posto gli spettatori per assistere alle rappresentazioni o ai giochi.

La *cavea* comprendeva innanzitutto il podio, situato appena sopra la parete che delimitava l'arena. La sua parte inferiore si chiamava *ima cavea*, la parte mediana *media cavea*, in cui prendevano posto rispettivamente i ceti del rango senatorio (in prima fila) e di rango equestre, e la parte superiore *summa cavea* destinato alla plebe.

Orizzontalmente, era divisa in molti *maeniana*, il cui nome ha per origine quello che era stato attribuito ai balconi di legno da cui si poteva assistere ai combattimenti di gladiatori dati sul *forum Romanum* all'epoca repubblicana. Lo spazio di circolazione, situato tra le varie *maeniana*, corrispondente ad una rottura molto netta della pendenza delle gradinate e si chiamava *praecinctio*².

Ogni *maenianum* era frammentato dall'alto al basso con piccole scale, disposte in modo radiante (*scalaria*), spesso tagliate direttamente nelle gradinate. Allo sbocco delle scale d'accesso, si trovavano i *vomitoires* (vomitoria). La *cavea* poggiava sopra le volte dei vomitoria, accessibili dall'ambulacro che girava tutto intorno all'edificio.

Le esigenze funzionali, alle quali doveva soddisfare la *cavea* dell'anfiteatro, erano dunque multiple: doveva avere una vasta capacità, un sistema di funzionamento interno efficace e doveva garantire ad ogni spettatore le condizioni eccellenti di percezione visiva dei combattimenti.

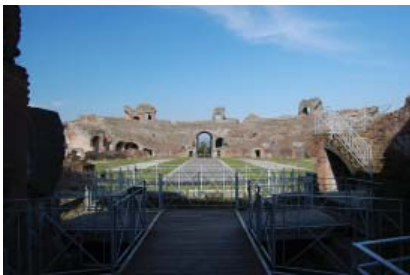
Nella parte bassa della *cavea* si sviluppava il podio destinato a ricevere i più alti personaggi della città o dello stato, il *podium* era spesso chiaramente isolato dalle altre gradinate della *cavea*, e questa separazione a volte era rappresentata da un *baltens* (cinta muraria).

Il podio comportava generalmente soltanto un piccolo numero di gradinate ed in alcuni casi era ampio e piatto. È probabile, allora, che ai primi posti si trovavano disposte delle poltrone (*subsellia* o *bisellia*) dove prendevano posto i personaggi distinti. Possedeva accessi indipendenti, in modo da rendere autonomo il momento in cui dovevano occupare o lasciare i loro posti.

Nel tempo sono completamente scomparsi lasciando il posto alle sole gradinate della *cavea*.

4.3 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolare della *cavea*.

4.5 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolare del podio.



Di particolare interesse sono le logge; esse rappresentavano le due posizioni privilegiate della cavea ed erano situate all'estremità degli assi minori dell'arena. Posizione strategica dalla quale era possibile vedere lo spettacolo ed anche la posizione di tutto il pubblico. Pertanto le logge erano tribune eccellenti i cui posti erano destinati alle più alti autorità. A Roma, questo spazio era destinato all'imperatore mentre nelle province questo era occupato dai *duumviri*³.

Gli spettatori avevano gli occhi fissi sulla loggia principale dell'anfiteatro, da cui attendevano il verdetto che veniva dato alla fine del *munus*, l'importanza di questa funzione arbitrale giustificava la scelta di questa posizione. Purtroppo ad oggi risultano conservate solo poche logge, per permetterci di avere un'idea esatta della loro disposizione; di solito queste erano collegate all'arena mediante piccole scale.

A Pompei ed Abella, la posizione privilegiata esistente sul podio, corrispondeva soltanto ad un semplice spazio rettangolare e cavo situato ad una delle estremità del piccolo asse e tagliato direttamente nelle prime gradinate.

In conclusione, si può dire che le logge erano spazi visibili da tutti i posti, delimitati e serviti ma relativamente piccoli poiché riguardavano soltanto un debole numero di privilegiati.

Lo studio del funzionamento interno di un anfiteatro ha lo scopo di trovare il principio generale di distribuzione del pubblico.

L'accesso alle gradinate avveniva attraverso un efficacissimo sistema di scale e gallerie che consentivano al pubblico di accedere e sfollare rapidamente in pochi minuti. Emergevano sulle gradinate delle aperture dal nome curioso di "*vomitorium*".

La parola latina vomitorium, plurale vomitoria, deriva dal verbo *vomeo*, vomere, vomitum, "*a vomitare fuori*". I vomitoria si distinguevano dagli ingressi principali che nell'anfiteatro venivano chiamate "*Porta Pompae*" e "*Porta Libitiniensis*".

Per lo studio della facciata in mancanza di documenti non è possibile avere una descrizione precisa del paramento murario, nonché di tutti i dettagli delle decorazioni della facciata di ogni anfiteatro. L'aspetto delle facciate variava molto da un tipo di costruzione all'altra.

Quelle degli anfiteatri a struttura piena, erano quasi sempre abbastanza poco elevate a causa dell'importanza del sostegno della cavea al terreno. In generale raggiungevano soltanto alcuni metri d'altezza e consistevano in una parete bucata da aperture rare messe in corrispondenza degli assi della costruzione. Di solito oggi è possibile ritrovare in loco solo poche rovine,

4.5 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolare di una delle gallerie interne.

4.6, 4.7 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolare della posizione dei vomitoria e di una delle balaustre decorative con antilope.



4.8, 4.9, 4.10 - Santa Maria Capua Vetere: Anfiteatro Campano particolari delle facciate.

4.11 - Velarium dell'anfiteatro di Pompei, affresco 70 a. C. La vela è sospesa sulle tribune del lato sud-ovest dove vi erano i posti riservati alle donne.



conservate quasi sempre in cattivo stato e ridotte quasi sempre a livello delle fondazioni o in alcuni casi a resti delle pareti, eccetto a Cassino, dove la facciata rimane ancora quasi intatta.

Quando il monumento di solito è collocato su di una collina, la facciata si trovava sul lato inferiore del terreno, raggiungendo un'altezza abbastanza elevata.

Le facciate di queste costruzioni erano di un aspetto rigoroso, appena attenuato dalla cornice delle porte principali.

Le facciate piene sono certamente le più vecchie, mentre le prime facciate ad arcate aperte, appaiono per quanto riguarda gli anfiteatri, soltanto all'epoca giulio-claudia.

Le prime facciate, completamente aperte, si incontrano nel periodo giulio-claudio.

Queste splendide composizioni architettoniche, che combinano l'uso di archi e ordini decorativi, devono aver avuto come lontano antenato quelle del *Tabularium di Roma* costruito all'epoca di Silla, e in particolare quelli dei teatri di Pompeo e di Marcello.

La rassomiglianza delle facciate delle grandi costruzioni a struttura cava è sorprendente a partire dall'epoca giulio-claudia e per quelle successive.

Le colonne e le lesene decorative erano a volte identiche, si utilizzarono l'ordine dorico, tuscanico, ionico, corinzio e composito. In alcuni casi la combinazione degli ordini variava distribuzione da un monumento all'altro.

Generalmente la facciata delle costruzioni a struttura cava presentava un numero preciso di bucatore, incavi e decorata di ordini architettonici; è possibile contare il numero di campate qualunque sia il tipo di struttura. Questo numero è proporzionale alla lunghezza del perimetro esterno della facciata, poiché la larghezza corrente di un arco, misurata da centro a centro, variava poco: era compresa tra i 4,00 e i 6,00 metri. Il perimetro dell'edificio era così regolarmente ritagliato e le pareti radianti determinavano le imposte dei vari archi. Agli assi di quest'ultimi corrispondevano in facciata semplici battute d'arresto, delle lesene o anche delle colonne inglobate all'interno delle stesse pareti.

Negli anfiteatri di grandi dimensioni la facciata aveva una scansione ritmica, costituita da arcate opportunamente decorate, mentre l'ultimo livello presentava bucatore di forma quadrangolare come si evince da alcuni esempi ancora ben conservati.

Nella parte terminale della facciata si sviluppava il *velarium*.

Il *velarium* (pl.: *velaria*), detto anche *velum*, era una copertura mobile in tes-

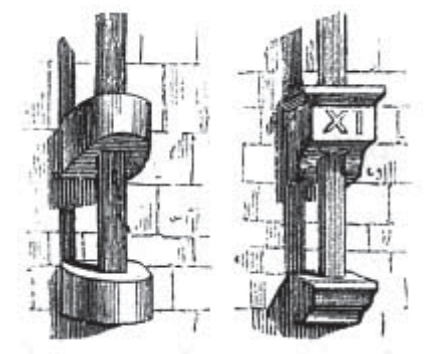
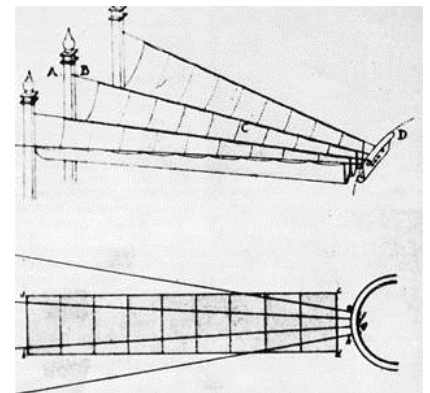
suto composta da più teli (o veli) che coprivano la cavea ma non l'arena centrale, in modo da riparare le persone dal sole o dalla pioggia leggera. La struttura presentava un anello al centro che favoriva l'aerazione dell'anfiteatro; in aggiunta, per attenuare possibili odori sgradevoli, durante gli spettacoli venivano spansi tra il pubblico getti d'acqua odorosa ed essenze profumate.

Il peso della struttura, che altrimenti sarebbe precipitata verso l'interno, era controbilanciato con un complesso sistema di funi, e contemporaneamente erano fissati a terra all'esterno dell'anfiteatro.

Il fissaggio a terra era realizzato mediante funi legate ai ceppi di pietra posti all'esterno della pedana di materiale lapideo dove poggiava l'anfiteatro. I teli erano fissati a dei pali infilati in fori quadrangolari che si appoggiavano sulle mensole e sporgevano sopra l'edificio, costituendo i sostegni dell'immenso velarium.

Per esempio il grande anfiteatro di Pompei era costituito da due file di elementi in pietra (tasche) per l'alloggiamento di pali verticali in legno sui quali il velarium era sospeso. Dall'osservazione di alcuni affreschi dell'epoca, si evince che il velarium doveva essere composto da lembi di stoffa rettangolari sospesi tra due corde parallele che ne permettessero lo scorrimento per il suo ripiegamento. Il sistema, di diretta derivazione navale, consisteva in due ordini di funi, una primaria utilizzata per il dispiegamento del tessuto, l'altra secondaria per la sua messa in tensione⁴.

Sembra che il velarium fosse una forte attrattiva per gli spettatori, perché veniva ampiamente pubblicizzato nella presentazione degli spettacoli, peraltro sempre gratuiti, per tutti.



4.12 - Ricostruzione del velarium del Colosseo, Roma, Cozzo.

4.13 - Ricostruzione delle mensole in pietra per l'alloggiamento delle travi utilizzate per sorreggere il velarium. Borgnis, Trattato di Meccanica applicata alle arti, Venezia, 1837.

4.14 - Santa Maria Capua Vetere: particolare dei pilastri per l'ancoraggio delle corde del velarium.

Note

¹ Cfr. Cairoli f. Giuliani, *L'edilizia nell'antichità*, carocci editore, Roma, 2012.

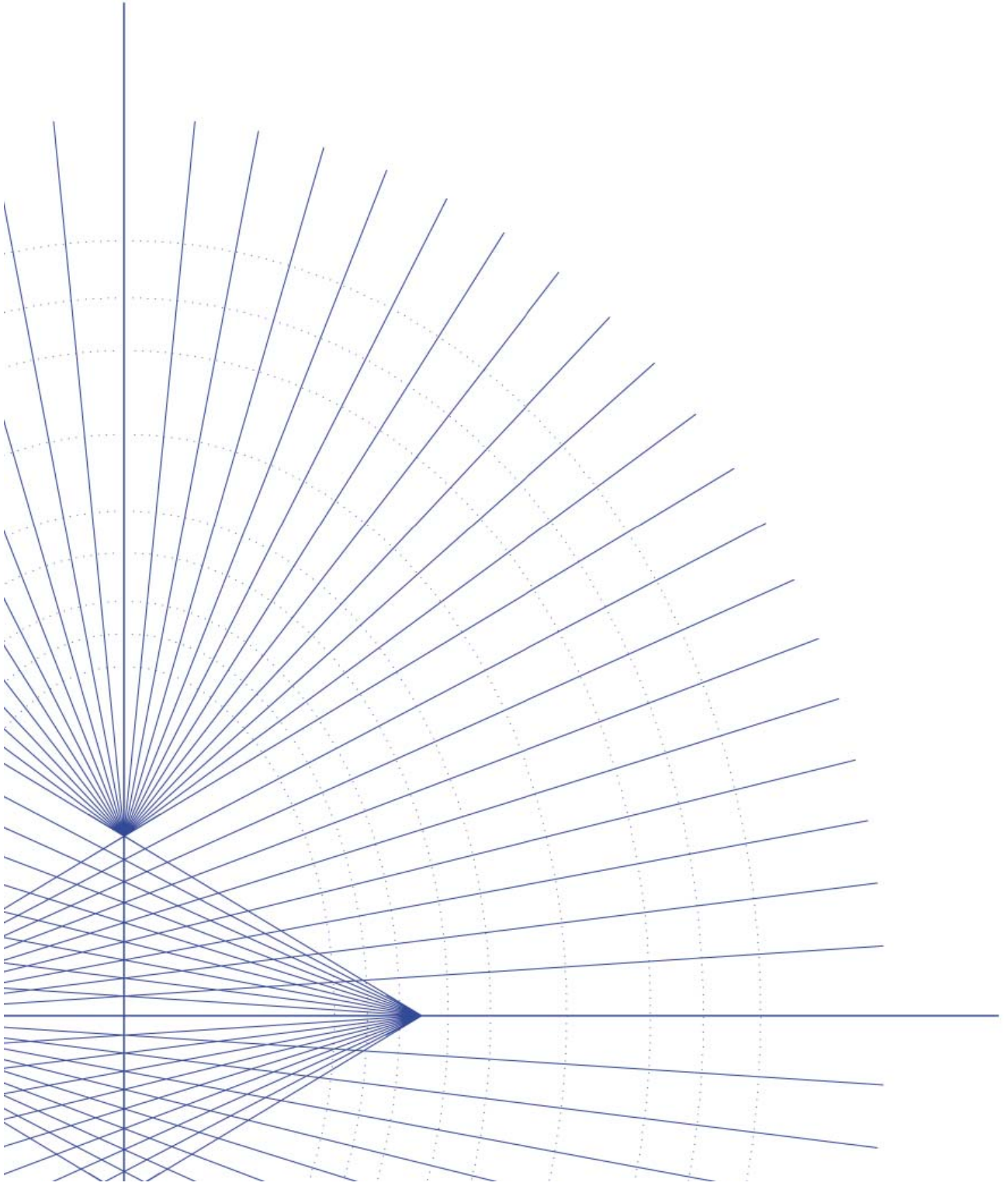
² Corridoio semicircolare che attraversa orizzontalmente l'emiciclo della cavea separandola in due o parti, *ima e summa*.

³ I *Duumviri* erano magistrati dell'antica Roma, eletti in coppie per ragioni di reciproco controllo e consiglio, allo scopo di sovrintendere a pubblici uffici o delicati incarichi politici e amministrativi. La carica, normalmente, aveva durata annuale. Secondo la tradizione annalistica, l'istituzione dei Duumviri, viene attribuita al Re Servio Tullio, il quale nominò i primi "Duumviri perduellionis", incaricati di giudicare i reati di alto tradimento.

⁴ Cfr. C. Mazzola, *Velarium romano*, ottobre 2006 in http://www.architetturatesile.polimi.it/membrane_scocche/percorsi/2_preindustriale/3edilizio_ts/80ac_velarium_romano/80dc_velarium_romano.html.

PARTE SECONDA

L'ANFITEATRO CAMPANO DI SANTA MARIA CAPUA VETERE



L'area archeologica

5.1. Il sito archeologico e le strutture di supporto

Le origini di Capua Antica

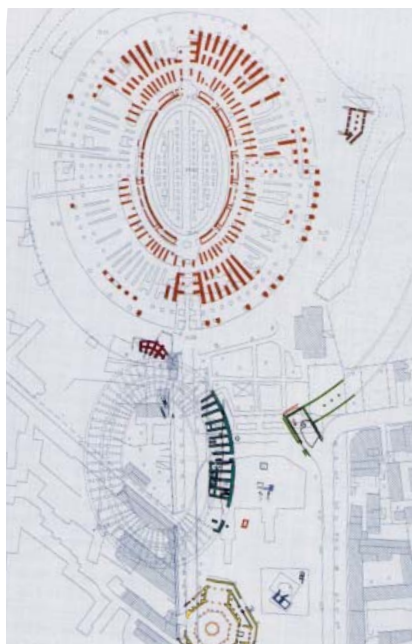
Santa Maria Capua Vetere è un centro antichissimo per storia, cultura e tradizioni, situato a sud del Volturno e del monte Tifata, là dove sorgeva la gloriosa città di Capua, distrutta dai Saraceni nell'841 e poi ricostruita in un luogo poco distante. Santa Maria conserva il ricordo del passato, legato alle vicende di "Capua Vetere", non solo nel nome ma anche tra le sue strade, dove sono presenti grandiose vestigia dell'antichità.

Santa Maria Capua Vetere fu la più importante città della Campania, che Tito Livio definì "*urbs maxima opulentissimaque Italiae*" (la città più grande e ricca d'Italia), e Cicerone "altera Roma" (seconda Roma). Situata in pianura come altri centri campani, la data di fondazione della città è stimata intorno all'800 a.C..

Dagli scavi, effettuati di recente, è stato possibile ricostruire l'assetto urbanistico della città: le mura perimetrali della città racchiudevano una superficie di circa 200 ettari impostata su di un impianto stradale coincidente, in alcuni casi, con quello attuale. Lungo il perimetro delle mura, si ipotizzava la presenza di sette porte, due delle quali destinate all'ingresso e all'uscita dalla città lungo la via Appia.

La città passa dalla fondazione etrusca alle invasioni da parte dei Sanniti, successivamente i Romani la trasformarono in una città potente e florida grazie allo sviluppo dei traffici e del commercio. La sua importanza è comprovata dal fatto che, agli inizi del IV secolo a.C., i Romani avviarono la

L'anfiteatro campano di Santa Maria Capua Vetere



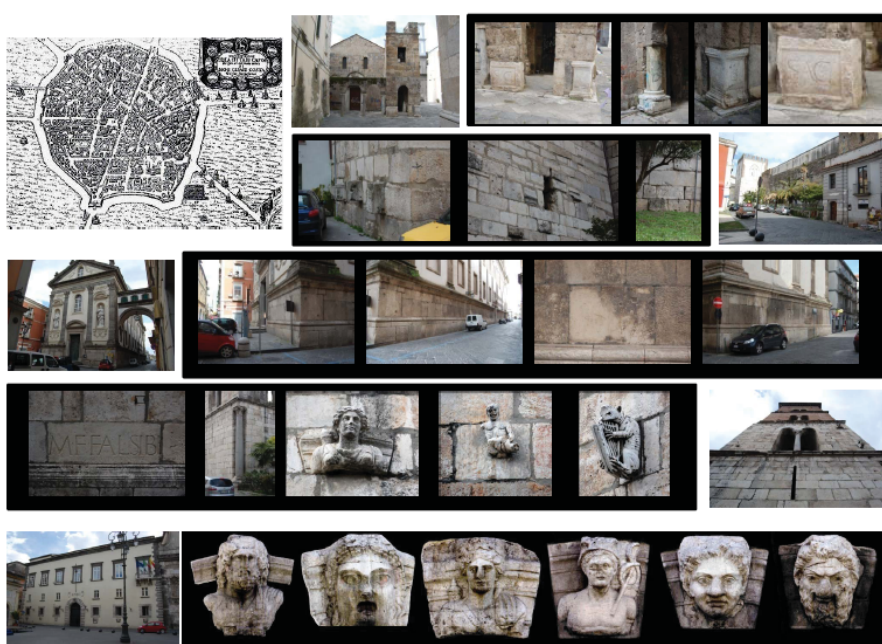
Anfiteatro Repubblicano "Capua I"
periodo: età graccana – metà II sec. a.C

Anfiteatro Imperiale "Capua II"
periodo: età adrianea – inizio II sec. a.C.

Ninfeo a pinta ottagonale
periodo: età adrianea – inizio II sec. a.C.

Edificio curvo a duplice navata
periodo: età adrianea

5.1 - Santa Maria Capua Vetere: area archeologica.
5.2 - Parte dei materiali spoliati dall'anfiteatro Campano in Capua.



costruzione della via Appia, la "regina viarum", proprio per collegare Roma con Capua ed il suo territorio. Capua divenne all'epoca, secondo Livio, la città più grande e ricca della penisola.

Con il susseguirsi delle invasioni barbariche nell'856, gli abitanti abbandonarono i territori di Santa Maria Capua Vetere per fondare una nuova città, la Capua attuale, in un luogo meno esposto, in un'ansa del fiume Volturno, presso il ponte romano di Casilinum¹.

In molti edifici del centro storico dell'odierna Capua, rivivono le testimonianze della *Capua antica*; infatti, spesso, le rovine dell'antica città vennero usate come materiale da costruzione per l'edificato cittadino.

I ritrovamenti archeologici

Dai recenti scavi archeologici, limitati alla sola area dell'Anfiteatro, è possibile ricostruire, anche se in modo limitato, una porzione di uno dei più importanti centri urbani dell'Italia antica.

Gli scavi effettuati intorno agli anni duemila nella zona antistante l'anfiteatro, hanno portato alla luce una serie di strutture in parte e non di supporto allo stesso.

Infatti i lavori di sistemazione della Piazza I Ottobre, eseguiti tra il 2007 e il 2008, hanno fornito, ulteriori interessanti dati; l'anfiteatro fu edificato in un'area extraurbana così come fu individuata da W. Johannowsky², ma sono emersi anche altri manufatti ad integrazione di quelli già rinvenuti.

ti. Pertanto oltre ad avere l'imponente posizione dell'anfiteatro Campano tutto intorno si hanno gli edifici quali: il portico curvo, la vasca di raccolta acqua, l'Anfiteatro di età Repubblicana e l'edificio ottagonale.

Il portico curvo

Nel contesto delle grandi opere di monumentalizzazione dell'area extraurbana, rientra l'edificazione del portico curvo, molto probabilmente la sua costruzione risale a quella dell'anfiteatro Campano.

Posto in posizione parallela all'andamento dell'anfiteatro, ad una distanza di circa 48.50 m, i suoi resti sono localizzati in direzione sud-est rispetto all'anfiteatro Campano.

L'edificio è impostato su pianta curvilinea, molto probabilmente su di una porzione di ellisse parallelo alla stessa pianta dell'anfiteatro. Originariamente l'edificio presentava sul lato corto, posto a sud, un piccolo portico, mentre è evidente la realizzazione di una scala posta sul lato nord.

Era costituito da una duplice navata larga complessivamente all'incirca 9.00 m. All'interno di questa, in posizione centrale, una scansione regolare di pilastri dalle dimensioni pari a 0.95 x 0.95 m circa³; la sua funzione è ancora dubbia: rinvenimenti di blocchi di calcare inglobati nelle murature lasciano pensare alla presenza di finestre rivolte verso l'anfiteatro, pertanto forse l'utilizzo di detto manufatto era quello di fungere da luogo di osservazione dei flussi che entravano nell'arena.

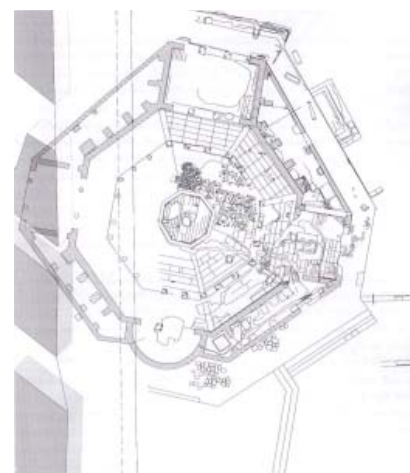
La vasca di raccolta acqua

Nella parte nord dell'anfiteatro, durante la stessa campagna di scavi, è stata ritrovata una grande vasca che consentiva il convogliamento di grossi quantitativi d'acqua. L'acqua era canalizzata, dalla direzione sud, attraverso apposite tubazioni.

La vasca, realizzata in opera cementizia, aveva il fondo inclinato da ovest verso est, le pareti interne rivestite di cocciopesto e la sommità delle pareti perimetrali rivestite di blocchi di calcare. Le dimensioni della vasca sono di circa 68 m per la lunghezza e 30 m per la sua larghezza, mentre le superfici curve hanno un raggio di curvatura pari a 12 m; resta insoluta la sua funzione.

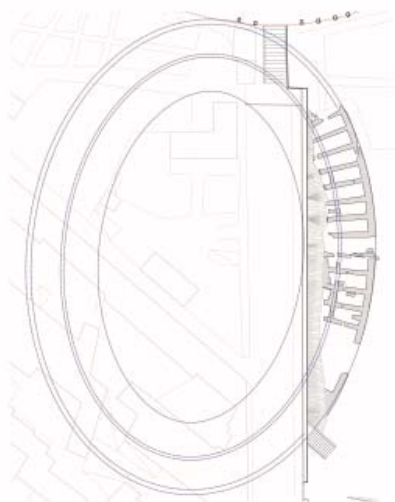
L'edificio ottagonale o ninfeo

La costruzione presenta una pianta ottagonale con cortile centrale e annessa fontana, circondato da un porticato con 24 colonne e vari ambienti perimetrali tra i quali si distinguono un grande ingresso a nord, un'aula ret-



5.3 - Santa Maria Capua Vetere: Ninfeo a pianta ottagonale: pianta; tratto da: V. Smpaolo, Il quartiere degli anfiteatri. L'espansione di Capua fuori le mura occidentali. in Atti dell'incontro internazionale di studio "Il Mediterraneo e la Storia", Luciano editore, Napoli, 2012.

5.4, 5.5, 5.6 - Santa Maria Capua Vetere: Ninfeo a pianta ottagonale, particolari.



5.7 - Anfiteatro Repubblicano "Capua I"
periodo: età graccana – metà II sec. a.C.
5.8, 5.9, 5.10 - Anfiteatro Repubblicano "Capua I",
particolari.

tangolare ad est ed un ambiente absidato a sud. Agli ambienti di servizio si accedeva solo dall'esterno e non dal cortile centrale come evidenziato nella parte sud-est, aperta verso la scala esterna.

Si pensa che il manufatto sia coevo dell'anfiteatro imperiale, infatti l'orientamento nord-sud è inclinato di circa 12° verso est, in modo che chi fosse al suo interno, avrebbe potuto avere la visuale libera verso la porta est dell'anfiteatro.

5.2. L'anfiteatro Repubblicano "Capua I" e l'anfiteatro Imperiale Capua II

La presenza ravvicinata di due strutture analoghe ha portato, per semplificazione di descrizione, a denominare l'Anfiteatro di età Repubblicana con "Capua I", mentre l'Anfiteatro di età Imperiale con "Capua II"⁴.

L'Anfiteatro Repubblicano "Capua I"

Con l'ultima campagna scavi si è portato alla luce quanto già emerso nella metà del Novecento, quando nell'eseguire i lavori di sistemazione di recinzione, furono rimessi in luce i primi resti delle fondazioni di una struttura a pianta radiale di età precedente l'anfiteatro di età imperiale. Sono stati riportati alla luce, al solo stadio delle fondazioni, 15 cunei che hanno permesso di definire totalmente la posizione del monumento. L'asse maggiore segue l'orientato nord-sud, con una leggera deviazione di 5° a est. Le dimensioni, di gran lunga inferiori all'anfiteatro di età imperiale, sono individuate lungo l'asse maggiore di 112 m. e lungo quello minore di 81 m. Da un'analisi delle strutture, questo tipo di anfiteatro per tecniche costruttive rientra nella categoria di: "tipo a cavea su cassoni a compartimenti"; inoltre, tutta la struttura rinvenuta, consta di murature tutte impostate ad un'unica altezza al fine di liberare spazio davanti al nuovo anfiteatro. La presunta datazione del monumento avanzata da W. Johannowsky, risale all'età dei Gracchi, intorno alla seconda metà del II secolo a.C., in combinazione del fervore edilizio in cui la città era amministrata dai *magistri Campani*.

Negli anni a venire la necessità di porre rimedio ai danni provocati da numerosi eventi sismici, risultanza dell'attività vulcanica del 79 d.C., resero necessari interventi di restauro e di consolidamento per le strutture esistenti. È probabile, che per tale motivazione, visto il programma di

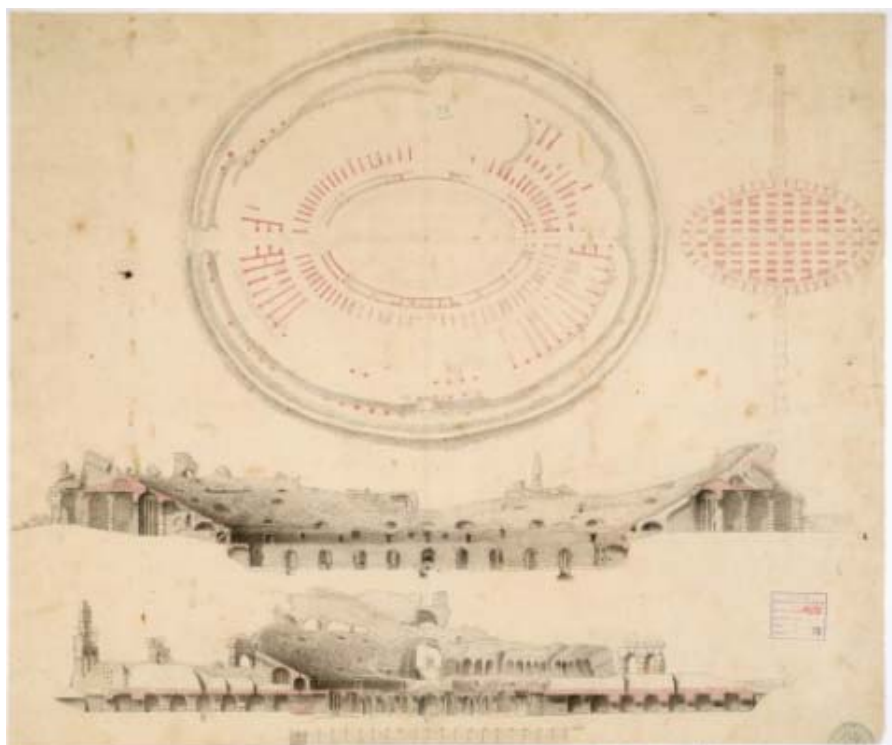
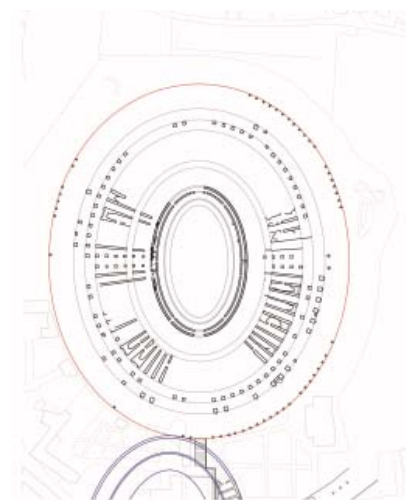
rinnovamento edilizio, fu avanzata l'ipotesi di costruzione di un nuovo anfiteatro.

L'Anfiteatro Imperiale "Capua II"

L'anfiteatro Campano fu eretto tra la fine del I e gli inizi del II secolo d.C. Le caratteristiche delle tecniche edilizie e quelle della decorazione scultorea, fanno risalire in maniera inequivocabile la datazione della sua costruzione all'epoca dell'età nervo-traiana. La sua vicenda costruttiva è legata all'iscrizione ritrovata e oggi conservata presso il Museo Provinciale Campano di Capua: *[Colonia Iul]ia (o Flavia?) Felix Aug[usta Capua] fecit / [Divus Hadr]ianus Aug[ustus] [restituit / imagines e]t columnas ad[di curavit / Imp. Caes. Ael]ius Hadrianus [Antoninus Augu(stus)] Pius dedicavit* ("La Colonia Iulia Felix Augusta Capua fece; il divo Adriano Augusto restaurò e fece aggiungere colonne e statue; l'Imperatore Cesare Augusto Elio Adriano Antonino Pio dedicò")⁵.

Fu oggetto di vari interventi di ammodernamento ed abbellimento dai vari Imperatori che si succedettero, fino ad arrivare alle lotte interne tra i principi longobardi dove svolse la funzione di fortezza.

Durante questi periodi diversi furono i nomi associati, nel medioevo l'edificio fu chiamato comunemente *Berolassi* o *Virilasci*, nome di derivazione

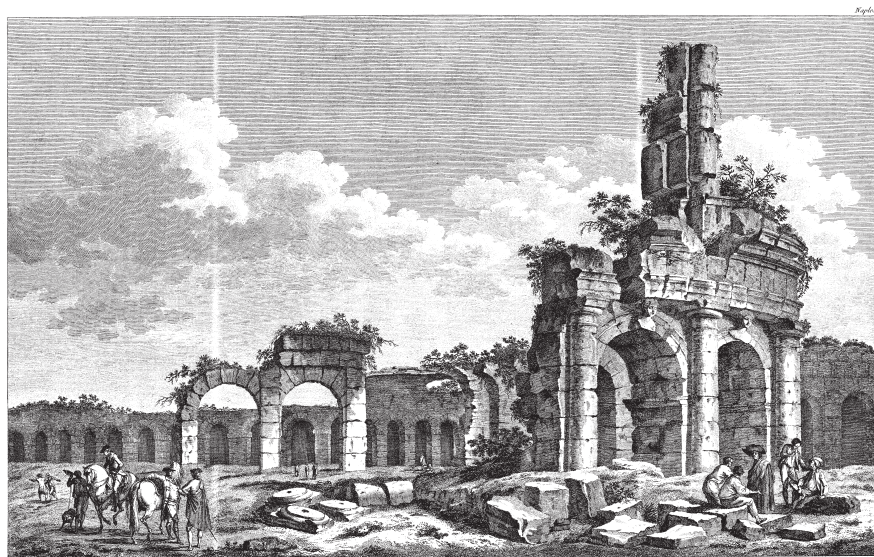


5.11 - Anfiteatro Imperiale "Capua II": rilievo dello stato dei luoghi. Dicembre 2011.

5.12 - Anfiteatro Imperiale "Capua II": inquadramento territoriale e rilievi dell'anfiteatro campano di Capua, Ufficio topografico di Napoli. Luglio 1829.

rappresentanti *Giunone e Diana*, sono ancora in loco; altri furono trafugati e ora sono visibili sulla facciata del Palazzo comunale di Capua, mentre altri ancora sono conservati nel *Museo Campano* della stessa città. Nel vano di ogni arcata del secondo e terzo piano era collocata una statua di marmo: quelle rimaste, che rappresentano Adone, Venere e Psiche, sono conservate al Museo archeologico di Napoli. Il quarto piano non presentava particolari ornamenti, ma era scandito da lesene e presentava all'interno delle mensole che servivano a sorreggere un ampio velario, forse manovrato dai marinai della flotta di Baia. La sua funzione era quella di proteggere dal sole gli spettatori: il suo uso fu introdotto per la prima volta proprio in questo anfiteatro e poi fu adottato anche a Roma.

La struttura interna è estremamente articolata, l'accesso avveniva attraverso ingressi disposti nei quattro punti cardinali dell'edificio. I vari livelli della cavea erano raggiungibili attraverso sistemi di scale, passaggi voltati, o tramite i settantasei vomitoria abbelliti da ricche decorazioni. La cavea, secondo Francesco Alvino⁷, poteva ospitare fino a sessantamila spettatori, essa era suddivisa orizzontalmente in quattro settori; i posti migliori, nella parte bassa, erano riservati alle personalità. L'arena, oggi completamente ricostruita, era costituita da un tavolato facilmente smontabile; al di sotto si articolavano i sotterranei accessibili da apposite scale, che erano messi in collegamento con l'arena attraverso botole che permettevano l'ingresso dei gladiatori, degli animali e l'allestimento delle scene per il normale svolgimento dei combattimenti.



Ruines de l'antique Amphithéâtre de Capoue

5.14 - Rovine dell'Anfiteatro di Capua, Ruines de l'antique Amphithéâtre de Capoue. Disegnatore: Saint-Non, Jean Claude Richard, Incisori: Bertaux e D'Embrun. L. 437 (mm. 258x390), Parigi, 1782.

Note

¹ Casilinum è l'antico nome latino del porto fluviale della Capua antica. È il luogo dove la Civitas capuana trovò rifugio in seguito alle incursioni dei saraceni.

² Uno scavo effettuato nel 1974 portò alla localizzazione dell'asse del decumanus maximus (via Appia) e di alcune tombe.

³ I dati metrico dimensionali sono stati redatti mediante rilevamento satellitare in modalità GNSS.

⁴ Differenza adotta nel "Incontri di Archeologia XVI edizione, Architettura dell'anfiteatro" tenuto dall'archeologo Enrico Stanco presso il Museo Archeologico di Napoli, in Napoli il 14 aprile 2011.

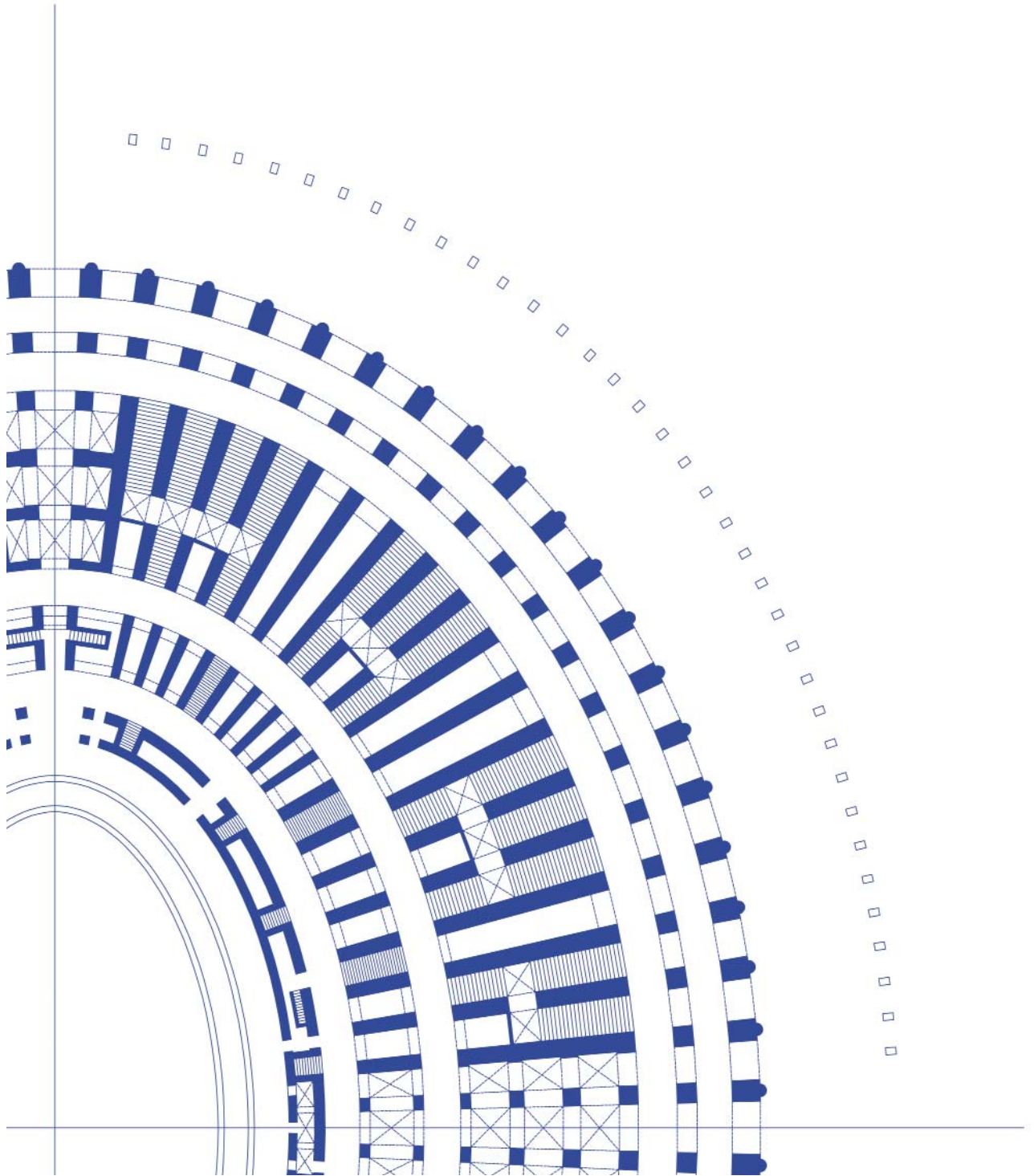
⁵ Cfr. S. de Caro, *la terra nera degli antichi campani*, arte'm prismi editrice politecnica Napoli, Napoli, marzo 2012.

⁶ Cfr. A. Perconte Licatese, *Capua antica*, Edizioni Spartaco, Santa Maria Capua Vetere, giugno 1997.

⁷ Cfr. Alvino Francesco, *Anfiteatro campano restaurato ed illustrato* dall'architetto Francesco Alvino, Stamperia e Cartiera del Fibreno, Napoli 1833 - c/o Biblioteca Museo Archeologico di Napoli.

PARTE TERZA

METODOLOGIE DI RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE



Il rilevamento per i siti archeologici nel tempo

6.1. Gli strumenti per il rilievo nel mondo romano

Le modalità di rilievo del complesso archeologico di Santa Maria Capua Vetere hanno visto l'utilizzo e l'integrazione di sofisticate strumentazioni topografiche, ma lo scopo di questa ricerca è stato anche il capire quali ipotetiche strumentazioni si siano potute utilizzare per poter procedere al tracciamento e alla successiva costruzione dell'anfiteatro romano.

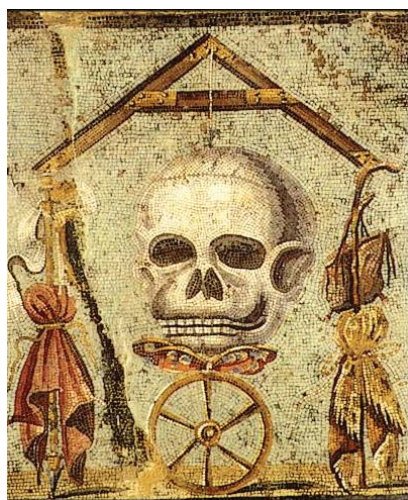
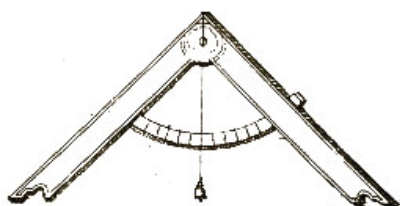
Di seguito si farà riferimento a delle probabili strumentazioni utilizzate per tale scopo.

Pensando alle grandi realizzazioni dei Romani, con grande maestria, questi misero in atto le ricerche effettuate dai Greci; nella raccolta intitolata "*Gromatici Veteres*"¹ si parla degli "*agrimensor*" oppure dei "*mensores*"², questi erano i tecnici romani ai quali erano affidati i compiti di misurazioni e suddivisioni del territorio. Gli agrimensori romani erano organizzati in corporazioni, godevano di vari privilegi, e le loro scuole professionali erano volte principalmente a far progredire le applicazioni pratiche dell'agrimensura. Essi si dividevano in due categorie: la prima, costituita da coloro che si occupavano del lato scientifico della materia, impiegati nella pubblica amministrazione; la seconda che raggruppava coloro che si occupavano degli aspetti pratici ed esecutivi. Chiamati dapprima *mentores*, vennero poi denominati *finitores*, quindi genericamente *agrimensores* o anche *decempedatores* (dalla *decempeda*, asta graduata, lunga 10 piedi romani).

Sono state individuate inoltre, ben otto sezioni specifiche di essi: *ensor agrarius*, *adificiorum*, *macchinarius*, *frumentarius*, *ripariensis*, *navicularius*, *castrensis*,

6.1 - F. Camerotta, Ipotesi ricostruttiva dell'archipendolo. Immagine proviene dall'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze.

6.2 - Archipendolo, mosaico pompeiano. Il mosaico non è significativo per la presenza dell'archipendolo, ma per l'assoluta unicità del soggetto che dimostra come un sodalizio pitagorico usasse già allora strumenti misuratori.



cereris augustae.

I gromatici, come in seguito vennero chiamati gli agrimensori della groma, che era uno degli strumenti da loro più usati, adoperavano un loro linguaggio tecnico, conoscevano le scale di riduzione semplice, sapevano disegnare in giusta scala, anche se spesso supplivano alla scarsa rigidità dei grafici con l'opposizione di cifre indicanti le misure reali. Le operazioni fondamentali da loro eseguite comunemente erano tre: *limitatio* (delimitazione degli immobili), *la limitis repositio* (ripristino dei termini o caposaldi di confine scomparsi), *la terminatio* (collocamento dei capisaldi stessi), ma sapevano compiere, naturalmente, tutte le operazioni semplici inerenti il rilevamento.

La strumentazione per la misurazione diretta era così composta: *la dioptra*, *la libra aquaria*, *la decempeda*, *il chorobates*, *la libella*, *la groma*, *la lychia o lampada*, *l'archipenzolo* e *lo gnomone*.

La decempeda

Per le misure precise della lunghezza veniva utilizzato uno strumento chiamato *decempeda*, era costituito da una bacchetta di legno duro della lunghezza di dieci piedi, ed alla sua estremità aveva un puntale di bronzo o altro metallo. Questo puntale era stato progettato in modo tale da poter collegare due bacchette in modo consecutivo, e misurare fino a 20 piedi. Questo strumento veniva utilizzato come metro campione lineare per le distanze, sebbene utilizzato a volte come barretta di avvistamento o barretta per il livellamento. Inoltre questo era il metodo diretto per la misurazione delle distanze lineari.

L'archipendolo

Strumento, detto anche archipenzolo, usato principalmente dai muratori (*structores, fabri caementarii*), che serviva per verificare l'orizzontalità di una retta o di un piano.

Consiste in una squadra rigida formata da due aste congiunte ad angolo retto ad un estremo, da cui parte un filo a piombo, e collegate con una traversa.

Quando il filo a piombo corrisponde alla tacca di riferimento segnata sulla traversa, la retta di appoggio dello strumento è orizzontale.

Il chorobates

La descrizione del corobate si evince dagli scritti di Vitruvio. Destinato ai lavori di livellamento, il corobate si presenta sotto forma di un lungo

cavalletto dai piedi verticali, provvisto in superficie di un alloggiamento, e lateralmente di linee di riferimento perpendicolari alla riga, coincidenti con i fili a piombo quando lo strumento giace in posizione orizzontale. Sulla sua parte orizzontale vi è una cavità che costituisce una livella ad acqua, utile in caso di vento forte che provochi l'oscillazione dei fili a piombo. Se si deve prestar fede alle dimensioni date da Vitruvio, esse sono di circa 20 piedi di lunghezza (circa 6 metri).

La libra acquaria

La livella ad acqua, per la quale ci sono vaghi riferimenti per alcuni autori classici, è stata interpretata e rappresentata in diverse forme. Dall'etimologia adeguata della parola, si può pensare che l'oggetto in questione sia il livello dell'acqua, pertanto venivano usati degli appositi contenitori, collegati tra loro, in modo da mantenere un livello costante deducibile ai suoi estremi.

Qualsiasi condotto flessibile, con piccoli contenitori cilindrici di vetro trasparenti alle estremità, può essere trasformato in uno strumento di livellamento eccellente e versatile. Inoltre, essa fu integrata ad altri strumenti più potenti, come il chorobate ed altri ancora.

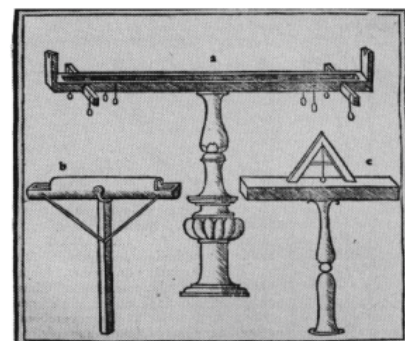
La dioptra

La dioptra (in greco: *διόπτρα*, vedere attraverso) è uno strumento classico usato in astronomia e nel rilevamento, risalente al III secolo a.C. Le ricostruzioni effettuate sulla base delle fonti, la rappresentano come un strumento in costante evoluzione. Sulla base delle informazioni fornite da Ipparco (146-127 a.C.), sappiamo che questo era costituito da una barra graduata di quattro cubiti di lunghezza (circa 1,78 metri o 5 piedi e $\frac{1}{2}$) sulla quale erano situate due lamine verticali, una fissa, dotata di un forellino per l'osservazione, l'altra scorrevole lungo la scanalatura e dotata di due forellini sovrapposti.

Questo strumento sarà migliorato ulteriormente nel I secolo d.C. da Erone di Alessandria. Esso, oltre ad avere il sistema di osservazione della dioptra di Ipparco montata su una piastra di bronzo, disporrà di un sostegno più affidabile, in modo da consentire la rotazione del braccio su di un piano orizzontale e su di un piano verticale.

La libella

Era la squadra cui veniva aggiunto un filo a piombo (*perpendicularum*), utilizzata per verificare l'orizzontalità dei piani in sostituzione del chorobates,



6.3 - Chorobates (a), libra acquaria (b), dioptra (c) interpretazione di Frà Giocondo (Vitr., De Arch.), Venezia 1511

costruita con due barre unite da un raccordo (a forma di una A), dalle quali veniva fatto pendere il filo a piombo. Probabilmente l'unica parte in ferro della libella era il contrappeso attaccato al filo, perché nessun esemplare è stato rinvenuto finora negli scavi archeologici. Della sua esistenza sono però testimonianza certa molte fonti iconografiche.

Simbolico il mosaico rinvenuto nell'Officina Coriavorum di Pompei, dove è rappresentata un'allegoria della morte che tutto eguaglia. La libella è qui posta al centro, in equilibrio tra scettro, porpora e corona sulla sinistra, e bisaccia, mantello e bastone sulla destra. Il contrappeso del filo a piombo è un teschio, cioè la morte, che viene sorretto da una ruota, la fortuna, su cui si appoggia una farfalla, l'anima.

La groma

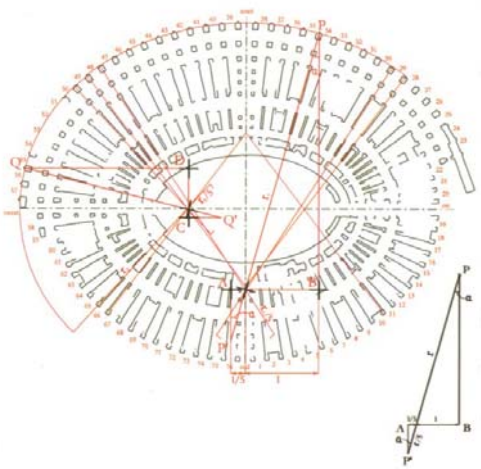
Strumento usato per tracciare linee rette sul terreno.

La groma era costituita da un bastone con un'estremità appuntita che veniva conficcata nel terreno o ad lapidem, cioè in un cippo in dotazione agli stessi agrimensori.

Sulla parte del bastone era poi fissato un braccio mobile che poteva essere orientato, sul quale era posta la groma vera e propria, una croce di legno rivestita di ferro alle cui estremità erano appesi, accoppiati, dei fili a piombo. La perpendicolare dei fili a piombo, riportata sul terreno, consentiva di tracciare le linee ortogonali necessarie a suddividere il territorio, segnalate da paletti piantati a terra. Una volta raggiunta la lunghezza voluta degli assi (2400 piedi nel caso della centuria standard), si ripiantava la groma per delimitare i lati del quadrato che si voleva tracciare e che sarebbe poi stato

6.4 - Ipotesi di tracciamento del perimetro esterno di un anfiteatro con l'impiego della groma. (G. Moscara).

6.5 - Groma esemplare rinvenuto nella bottega di Verus a Pompei.



suddiviso in ulteriori parti attraverso i limites. Ogni cinque limites, sempre perpendicolari tra loro, in genere veniva tracciata una strada.

Lo gnomone

Un altro concetto di base della misurazione antica è la determinazione del Nord, al fine di orientare con precisione i lavori topografici, geodetici, rilievo ed altri. Stiamo parlando di un periodo in cui la bussola non esisteva, e probabilmente se fosse esistita, non sarebbe stata utilizzata in questo tipo di indagini sul campo. Infatti la determinazione del Nord vero o astronomico era nelle mani degli scienziati dell'antichità con metodi molto più semplici di quanto si possa supporre. Per la determinazione del Nord bisognava tracciare sul terreno un cerchio. Al suo centro si dovrebbe mettere uno gnomone, in modo tale che l'ombra della sua punta cada per un momento all'interno del cerchio. Si osserverà che l'ombra si accorcia a partire dalle ore dell'alba. Poi, quando l'ombra della punta tocca il cerchio, si dovrebbe fare un segno sulla circonferenza. Allo stesso modo, un segno dovrebbe essere tracciato quando il sole lascia il cerchio.

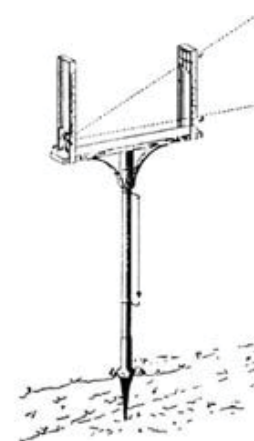
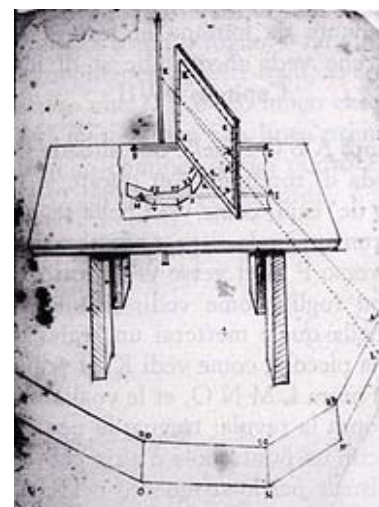
Una volta che questi due punti dove l'ombra entra ed esce sono stati contrassegnati sul cerchio, una linea retta dovrebbe essere disegnata attraverso loro, tagliando la circonferenza e il suo punto medio indicato. Una linea deve essere tracciata perpendicolarmente da quel punto dal centro del cerchio. Questa linea segnerà la direzione Nord-Sud esattamente.

La lychnia

La descrive Erone, la lychnia serviva a misurare le altezze, anche quando erano considerevoli. Le ricostruzioni fatte sulla base delle fonti, la rappresentano come una riga montata su di un piedistallo, munito di puntale per essere conficcato nel terreno e di filo e piombo per un corretto posizionamento. Alla riga erano applicati due mirini scorrevoli su due montanti recanti una scala metrica. Sfruttando le proprietà di similitudine di due triangoli rettangoli, era possibile effettuare le misurazioni.

6.2. Applicativi per la georeferenziazione nel rilievo attuale

Nel paragrafo precedente, si è affrontato lo studio delle ipotetiche strumentazioni utilizzate dai romani per poter procedere alle fasi di rilievo riferite a tale periodo; lo studio effettuato riferito al solo scopo di ricerca, si è basato sull'utilizzo combinato di diverse tecniche di rilievo, utilizzando



6.6, 6.7 - B. Puccini, lo gnomone ricostruzione, da Trattato del "Modo di misurar con la vista", 1570-1571; Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

6.8 - Una ricostruzione della "Lychnia"

strumentazioni con elevato grado di precisione e complessità (stazione totale, rilevamento satellitare, fotogrammetria digitale e scansione laser). A tal proposito si farà riferimento ad alcuni concetti basilari per l'introduzione e l'utilizzo di dette tecniche di rilevamento.

La georeferenziazione e la posizione

Per georeferenziazione si intende l'attribuzione ad un dato di un'informazione relativa alla sua dislocazione geografica; tale posizione è espressa in un particolare sistema geodetico di riferimento, e permette di associare ad un dato, in formato digitale, una coppia di coordinate che ne fissino la posizione sulla superficie terrestre⁵.

La georeferenziazione è applicata sostanzialmente ad ogni elemento: pixel componenti un'immagine raster, elementi vettoriali come punti, linee o poligoni e persino annotazioni.

La posizione è la componente qualificante dell'informazione geografica; geo-referenziare indica l'operazione di ubicare sulla superficie terrestre un oggetto del mondo reale (città, monumento, regione, ecc.) o un evento (incendio, frana, convegno, ecc.).

La posizione può essere descritta in modi diversi e richiede che venga definito un sistema di riferimento spaziale: funzione che associa un valore (posizione) ad un luogo.

La scelta del sistema di riferimento è legata alle esigenze applicative, ed è tarata sulle tipologie di utenti che lo utilizzano (cartografi, gestori strade, soccorso, ecc.) e sul dettaglio di informazioni richieste.

Un punto può essere identificato univocamente con una coppia di coordinate (es: lat 45°.532062, lon 10°.021547).

La rappresentazione della Terra

Poiché la Terra è solo approssimativamente sferica, esistono modelli della Terra differenti.

Il solido ideale che descrive la Terra è il geoide: superficie terrestre al livello medio del mare, ortogonale in ogni suo punto alla forza di gravità. Determinare il geoide da un punto di vista matematico richiede una formulazione matematica molto complessa, pertanto si utilizza un modello geometrico molto più semplice: l'ellissoide di rotazione.

Esistono almeno 5 diversi ellissoidi di riferimento, storicamente utilizzati in diverse regioni del pianeta, secondo le misure accettate per il diametro

equatoriale e polare all'epoca dell'impostazione della cartografia di quella regione.

La posizione di un punto sull'ellissoide di rotazione

Ogni data località è univocamente determinabile utilizzando il reticolato dei meridiani e dei paralleli, che si intersecano in ogni punto.

A causa della forma ellissoidica della Terra, la lunghezza unitaria dell'arco di meridiano non rimane costante, ma aumenta progressivamente all'aumentare della latitudine (nord e sud): da circa 110.6 km a 0° a 111.7 km a 90°.

Si definisce:

LATITUDINE: angolo fra la normale al punto P e il piano equatoriale, che varia tra i valori 90° sud, 90° nord;

LONGITUDINE: angolo fra il piano del Primo Meridiano (Meridiano Fondamentale) e il piano meridiano passante per il punto P;

PARALLELO: insieme di punti di uguale latitudine;

MERIDIANO: un insieme di punti di uguale longitudine.

Il Datum

Si definisce Datum Geodetico un sistema di riferimento che permette di esprimere in termini matematici la posizione di punti della superficie fisica della Terra, o prossimi ad essa (cioè permette di georeferenziare punti e oggetti). Un Datum si compone di un ellissoide (*definito univocamente dai suoi semiasse maggiore e minore, o da uno di essi e dallo schiacciamento*), dalla definizione dell'orientamento dell'ellissoide rispetto alla Terra, e da una rete compensata di punti, estesa sull'area di interesse, che lo materializza⁷.

Il modello matematico della Terra che usiamo per calcolare le coordinate geografiche dei punti, è costituito da un set di otto parametri:

due di forma dell'ellissoide locale, posizionato e orientato rispetto alla Terra, sei di posizione e orientamento del "punto di emanazione", ovvero del punto in cui l'ellissoide di rotazione è tangente al geoide: latitudine, longitudine, altezza geoidica, due componenti della deviazione della verticale e l'azimut ellissoidico.

Sulla base del medesimo Datum si possono utilizzare molti sistemi di coordinate: le trasformazioni richieste sono puramente matematiche.

Definiamo⁸:

Datum locale

nella Geodesia classica (basata su misure a terra) la definizione di datum si basa sul concetto di superficie di riferimento, e consiste nel definire un ellissoide orientato localmente.

L'orientamento dell'ellissoide si effettua imponendo che in un punto centrale per l'area di lavoro detto punto di emanazione valgano le seguenti condizioni:

1. la normale ellissoidica coincida con la verticale (deviazione della verticale $\delta = 0$);
2. la direzione del meridiano ellissoidico coincida con quella del meridiano astronomico;
3. la quota ellissoidica coincida con quella ortometrica.

In questo modo la deviazione della verticale risulta trascurabile per tutto il campo di applicazione del datum, per cui le misure (angoli e distanze) fatte con strumenti orientati secondo la verticale, possono essere proiettate sull'ellissoide.

Datum globale

Nella Geodesia moderna (basata su misure satellitari) la definizione di datum si basa su una terna cartesiana geocentrica solidale alla Terra (*ECEF: Earth Centered Earth Fixed*)⁹ alla quale si associa poi un ellissoide geocentrico avente asse polare coincidente con l'asse Z e assi X ed Y sul piano equatoriale.

L'asse Z è disposto secondo l'asse di rotazione terrestre (convenzionale), l'asse X secondo il piano del meridiano origine, l'asse Y completa una terna destrorsa. Viene applicato a tutta la Terra (datum globale). La deviazione della verticale non è quasi mai trascurabile, ma questi datum sono pensati in funzione delle misure satellitari, non più di quelle terrestri. Esiste comunque una rete associata (ad es. le reti di stazioni permanenti IGS-EUREF o la rete IGM95). Un modello valido per l'intera superficie terrestre.

Esempio: WGS84.

Datum altimetrici

Sia nella geodesia classica che in quella satellitare i *datum altimetrici* o *vertical datum*, sono sistemi di riferimento in cui sono definite le quote ortometriche, e necessitano di una definizione separata da quella dei datum per la planimetria.

La definizione di un datum altimetrico richiede essenzialmente che siano individuati:

1. una Origine (“zero”) delle quote (collegata a un mareografo),
2. una Rete Altimetrica (di livellazione) associata al datum, che “porti” le quote su tutto il territorio.

Con l'avvento dei sistemi satellitari è inoltre necessario un modello di geoida, pertanto si avranno:

modelli globali approssimati validi per tutta la Terra

modelli locali più accurati validi localmente

Le rappresentazioni delle coordinate su un piano: le proiezioni

Quando lavoriamo con i dati geografici è necessario rappresentare la superficie terrestre sulla carta o una superficie piana, quindi occorre “mappare” la superficie curva sul piano. L'operazione di proiezione consente di trasformare le coordinate riferite a una superficie curva a coordinate planari, dette anche coordinate proiettate¹⁰.

Tale proiezione comporta necessariamente distorsioni nella forma o nelle proporzioni degli oggetti rappresentati. Quindi qualsiasi tipo di proiezione rende un'immagine convenzionale, ridotta e simbolica della superficie terrestre o di una sua parte. Le soluzioni proposte nel corso dei secoli hanno mirato alla conservazione di almeno un parametro, minimizzando le distorsioni degli altri.

Le proiezioni vengono classificate in base alle proprietà conservate:

- conformi*: gli angoli sono preservati,
- equidistanti*: si conservano le distanze lungo alcune linee,
- equivalenti*: si conservano le aree.

Quando definiamo una proiezione occorre sempre settare questi parametri:

- origine del sistema di coordinate*: espressa in latitudine e longitudine;
- false origini*: quantità che sommate alla X e Y consentono di avere coordinate positive;
- fattore di riduzione*: viene applicato ai valori delle coordinate al fine di consentire di ridurre la deformazione lineare indotta della proiezione.

I sistemi geodetici-cartografici in Italia

Le rappresentazioni cartografiche consistono, concettualmente, in delle proiezioni sul piano di punti giacenti sulla sfera. Diversi sono i metodi

di rappresentazione che ciascuna delle proiezioni esistenti può raffigurare per rappresentare una o più proprietà spaziali, ma nessuna di esse può mantenere tutte le proprietà¹¹.

Cartografia preunitaria

-Ellissoide di Bessel (1841) ($a = 6\,377\,397.155$; $f = 1/299.1528128$)

-orientamenti differenti su tre punti di coordinate astronomiche (1902): Genova per il Nord, Roma M. Mario per il centro, Castanea delle Furie per il Sud.

La rappresentazione cartografica associata utilizza la proiezione policentrica naturale (Flamsteed modificata) riferita al centro degli elementi cartografici alla scala 1:100 000.

Questa cartografia non ha avuto seguito nel tempo, e le informazioni riportate sono utili solo per la cartografia storica.

Sistema di riferimento catastale

-Ellissoide di Bessel (1841) ($a = 6\,377\,397.155$; $f = 1/299.1528128$)

-orientamento Genova IIM (1902) ($\Phi = 44^\circ 25' 08.235''$; $\lambda = 0^\circ$; Azimut = Monte del Telegrafo; $a = 117^\circ 31' 08.91''$).

La rappresentazione cartografica associata, utilizza la proiezione Cassinis-Soldner, che vede la suddivisione del territorio nazionale in aree, ciascuna con diversa origine. La maggior parte delle province è compresa in sistemi di grande estensione; il rimanente territorio è suddiviso in sistemi più piccoli (circa 800).

Questo sistema di rappresentazione cartografica, è utilizzato per gran parte della cartografia catastale anche ai giorni nostri dall'Agenzia del Territorio che, progressivamente, sta compiendo un grande sforzo per riportare tutta la banca dati spaziale nel sistema di coordinate proiettate Gauss-Boaga (Roma 40).

Sistema di riferimento Roma40

-Ellissoide Internazionale (Hayford - $a = 6\,378\,388$; $f = 1/297$)

-Orientamento Roma Monte Mario secondo la definizione astronomica 1940 ($\Phi = 41^\circ 55' 25.51''$; $\lambda = 0^\circ (12^\circ 27' 08.400''$ Est da Greenwich); Azimut = Monte Soratte; $a = 6^\circ 35' 00.88''$).

La rappresentazione cartografica associata è la Conforme di Gauss: il territorio nazionale è suddiviso in due fusi, denominati Fuso Est e Fuso Ovest, di 6° di ampiezza ciascuno, con meridiani centrali rispettivamente $-3^\circ 27' 08.400''$ (per il fuso Ovest), e $2^\circ 32' 51.600''$ (per il fuso Est) di lon-

gitudine dal Monte Mario. Tra i parametri di fondamentale importanza vi sono anche il fattore di contrazione ($m_0 = 0.9996$); e la “falsa origine” per le coordinate Est: 1500 km (fuso Ovest), 2520 km (fuso Est)

Sistema di riferimento ED50

-Ellissoide Internazionale (Hayford - $a = 6\,378\,388$; $f = 1/297$)

-Orientamento medio europeo 1950 (European Datum 1950): il punto di emanazione corrisponde a Postdam

-origine delle longitudini Greenwich.

La rappresentazione cartografica associata è la proiezione di Mercatore Trasversa Universale (Universal Transverse Mercator); l'Italia è suddivisa in due fusi di 6° di ampiezza, con meridiani centrali rispettivamente 9° e 15° di longitudine a Est di Greenwich; il fattore di contrazione $m_0 = 0.9996$; la falsa origine per le coordinate Est è 500 km; la falsa origine per le coordinate Nord è 0 km nell'emisfero Nord e 10.000 km nell'emisfero Sud.

Nato essenzialmente per scopi di omogeneizzazione cartografica, spesso viene utilizzata per scopi pratici, ma è sconsigliabile un utilizzo per scopi operativi o scientifici.

I sistemi di riferimento mondiali e continentali WGS84

Dagli anni 60 ai giorni nostri si è passati dal WGS60, WGS66, WGS72 per arrivare al WGS84.

Il sistema di riferimento di applicabilità mondiale, ha origine coincidente con il centro di massa della terra fisica.

Il WGS84 costituisce il sistema di riferimento più utilizzato ai giorni nostri: è costituito da una terna cartesiana OXYZ con origine nel centro di massa convenzionale della Terra, e asse Z diretto secondo l'asse di rotazione terrestre convenzionale. Alla terna è associato un ellissoide con centro nell'origine ed assi coincidenti con quelli della terna stessa (ellissoide geocentrico). Ellissoide: WGS84: $a = 6\,378\,137$; $f = 1/298.257223563$

Parlando di questi sistemi di riferimento, occorre ricordare che la superficie terrestre non è assolutamente statica, in quanto il centro della Terra si sposta nel tempo (circa 2 m rispetto a quello assunto nel WGS84). Quindi è necessario un continuo monitoraggio.

L'IGM da alcuni anni ha scelto questo sistema per la realizzazione della nuova rete geodetica italiana IGM95, e per la nuova cartografia ufficiale al 25.000. WGS84 non è associato ufficialmente nessun sistema di proiezio-

ne cartografica, anche se spesso viene utilizzata la rappresentazione UTM con inquadramento WGS84¹².

6.3. TIN (triangulated irregular networks)

Il nome di TIN, dall'inglese Triangulated Irregular Network, è un modello tridimensionale generato a partire da un insieme sparso di punti quotati (piano quotato), costituito da una rete di triangoli il più possibile equiangoli ed equilateri, a partire dalla quale è possibile interpolare curve di livello, condurre analisi di visibilità, generare profili longitudinali, effettuare analisi di pendenza e di esposizione, cliviometrie, ecc¹³.

Detto modello è costituito da un insieme di punti quotati, collegati da segmenti tali da formare una rete continua di triangoli tridimensionali. La scelta dei punti significativi può basarsi su vari metodi, così come il collegamento dei punti può avvenire secondo vari criteri (ad es. criterio di Delauney¹⁴, o attraverso la determinazione dei poligoni di Thiessen anche conosciuta come diagramma di Voronoi), tale da assicurare la continuità della superficie. I TIN sono una struttura dati topologica composta di nodi e facce (triangoli).

La superficie di ogni triangolo è definita dall'elevazione dei suoi tre vertici ed in genere è assunta piana.

Un TIN può essere derivato da un insieme anche sparso di punti quotati e comunque non necessariamente appoggiato ad una maglia spaziale regolare, una tipica applicazione dei TIN è rappresentata dalla costruzione di modelli digitali del terreno a partire da dati di rilievo topografico.

Data la grande precisione del rilievo topografico, il TIN costituisce un sistema sicuro e preciso per la generazione di un modello digitale.

Il TIN è una "struttura topologica vettoriale spesso usata per rappresentare l'elevazione di superfici continue" composta di nodi e facce (triangoli). È un formato finalizzato alla restituzione grafica tridimensionale del terreno, al cui interno la coordinata x , viene trattata esclusivamente come attributo (che consente la sola visualizzazione tridimensionale). Questo significa che non definisce una topologia 3D né dei volumi e, di conseguenza, che non è possibile operare calcoli sulla terza dimensione. In altri termini, il TIN può essere interpretato come un involucro di spazio modellato e solo empiricamente quantificabile.

Nello specifico, si tratta di una rete di triangoli irregolari, costruiti su una maglia di punti altimetrici che ne determinano la composizione, l'orienta-

mento e la pendenza sulla base delle tre coordinate x,y,z . La definizione dei poligoni è impostata dall'utente, che decide quale grado di dettaglio fornire all'architettura delle superfici. Anche in questo caso, in fase di visualizzazione, si può ricorrere ad una scala di colori che favorisca la percezione immediata della dimensione altimetrica.

Da quanto affermato, emerge che a tale formato si può ricorrere per una resa realistica del terreno, nelle sue forme e profondità, ma per un'indagine analitica sui volumi e sulle stratigrafie verticali, si dovrà far ricorso ad appositi softwares in grado di trattare la topologia tridimensionale. Siamo di fronte ad un buono strumento per la rappresentazione di paesaggi tridimensionali, impossibilitato tuttavia ad operare una seria ed approfondita analisi di tipo spaziale e volumetrico.

Con l'utilizzo di Image Master Photo è possibile ricavare tutto quanto necessita per avere al meglio quante più informazioni possibile. Infatti dalle semplici foto e relativi punti di appoggio topografici è possibile determinare il TIN, ricavare curve di livello dal modello tridimensionale, estrapolare ortofoto ed effettuare il calcolo dei volumi delle superfici generate.

Note

¹ Cfr. Jean Pierre Adam, *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Longanesi, Gravellona Toce (VB), 2011.

² Misuratori con la groma: la groma era il loro strumento principale, che consentiva di tracciare angoli retti e perciò di suddividere il territorio in rettangoli regolari.

³ Vitruvio, VIII, 5, 1-3.

⁴ Erone di Alessandria, è stato un matematico, ingegnere e inventore greco antico. La sua collocazione cronologica non è sicura e oscilla fra il I secolo a.C. ed il II secolo a.C..

⁵ Cfr. Tiix, *La georeferenziazione*, settembre 2007 in <http://www.http://www.2puntozeropertutti.it/?p=24>

⁶ L'ellissoide è la figura matematica tridimensionale formata dalla rotazione di un'ellisse attorno al suo asse minore, non possiede nessun significato fisico.

⁷ Cfr. AA.VV., *Appunti di geodesia*, in http://sira.arp.at.toscana.it/sira/documenti/Geodesia_e_GPS_ARPAT.pdf

⁸ Cfr. AA.VV., *Coordinate e Datum*, in http://labtopo.ing.unipg.it/files_sito/compiti/georef.pdf

⁹ è un sistema di coordinate cartesiane geocentrico. Il punto (0,0,0) denota il centro della terra (da cui il nome "Earth-Centered") ed il sistema ruota in maniera solidale con la Terra. Il piano X-Y è coincidente con il piano equatoriale con i rispettivi versori che puntano le direzioni di longitudine 0° e 90°; l'asse Z ortogonale a questo piano punta nella direzione del Polo Nord. Le coordinate X,Y,Z sono rappresentate in metri.

¹⁰ Cfr. Aldo Mori, *Le carte geografiche*, Libreria Goliardica, Pisa, 1990.

¹¹ Cfr. L. Aruta - P. Marescalchi, *Cartografia. Lettura delle carte*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1992.

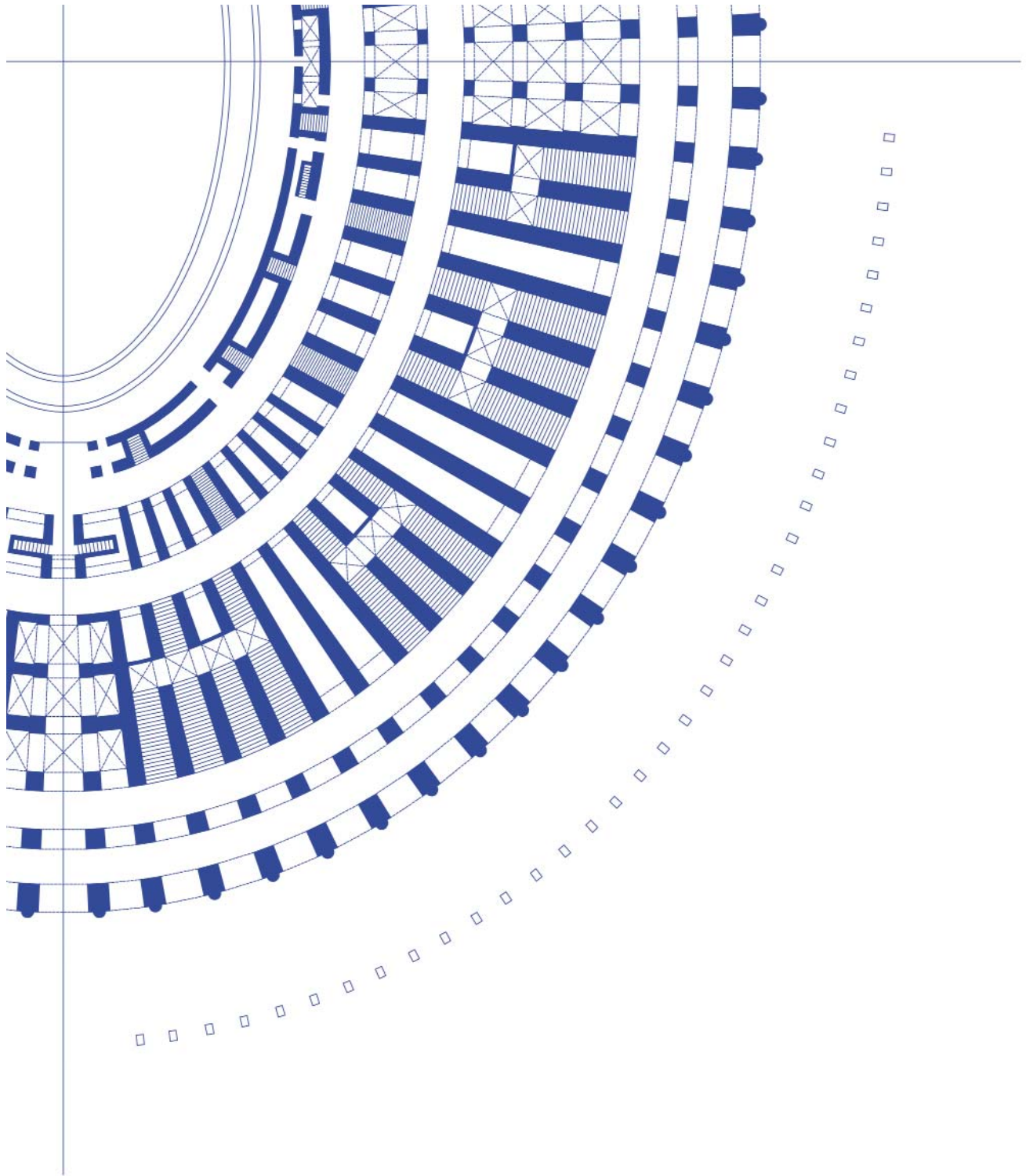
¹² Cfr. R. d'Apostoli, *Prontuario di topografia*, Maggioli Editore, Dogana (Repubblica di San Marino), 2009.

¹³ Definizione redatta da Massimiliano Parentini.

¹⁴ La triangolazione di Delaunay è un algoritmo di geometria computazionale piana, il TIN considera però i punti come dotati di quota, e questo genera la superficie 3D. Si tratta nuovamente di una struttura 2D + 1, incapace di rappresentare alcuni fenomeni, come ad esempio una scarpata (lo stesso difetto viene

PARTE QUARTA

IL RILIEVO ARCHEOLOGICO DELL'ANFITEATRO CAMPANO



CAPITOLO SETTIMO
Le metodologie integrate di rilievo

7.1. Aspetti generali del rilevamento

Le fasi di rilevamento sono implicitamente selezione e analisi della realtà, individuazione razionale delle caratteristiche architettoniche e dei fenomeni agenti sulla costruzione, deve essere quindi esatto e rispecchiare interamente lo stato presente del monumento: nulla deve essere trascurato. Dopo le operazioni di rilevamento, solo allora si procede all'analisi dei dati, non solo metrici, e quindi è possibile vagliare le conclusioni ed stabilire la successione, nel tempo, delle varie vicende dell'edificio.

Il grado di precisione, non dipende solo dall'operatore ma anche dalle apparecchiature utilizzate, ma soprattutto dalla coerenza della ricerca e dalla consapevolezza dei limiti di validità entro cui si svolge, cercando di contenere entro i valori minimi i margini di tolleranza.

Il primo approccio con l'opera deve consistere in una accurata ricognizione di essa, nella valutazione dei suoi aspetti dimensionali e formali.

Capire i rapporti tra spazio e struttura, tra forma dell'architettura e forma del suo spazio, tra luminosità e cromatismo; la tipologia strutturale e con essa la scelta dei materiali, la forma, gli elementi decorativi (bassorilievi, sculture, ecc.), la "geometria dell'architettura" ovvero i rapporti e le proporzioni tra tutte le sue parti.

Il rendere evidenti e ritrovare nel manufatto dette geometrie, evidenzia, le differenze per le varie epoche storiche, costituendo di fatto, uno dei più significativi obiettivi per una adeguata operazione di rilievo.

7.2. Scelta del metodo di rilevamento

Nel rilevamento architettonico possono distinguersi due diverse metodologie operative: il rilievo diretto e il rilievo indiretto.

Il metodo diretto utilizza semplici strumenti di misura, come il metro, gli squadri e tanti altri, viene impiegato nella maggior parte dei rilievi architettonici ponendo la strumentazione a stretto contatto con tutto quanto deve essere rilevato; avendo in forma diretta il valore metrico dimensionale di ciò che si sta rilevando.

Le misure insieme a uno schizzo approssimativo del manufatto, possono essere annotate su un foglio di carta, utilizzate successivamente per la redazione di appositi elaborati grafici. Pratica consolidata è l'utilizzo di questa metodologia nell'ambito del rilievo archeologico. Uno dei vantaggi di questo sistema è che, eventuali errori di misurazione, possono essere verificati in corso d'opera e quindi si potranno apportare i dovuti correttivi del caso.

Il rilievo indiretto utilizza strumentazioni che permettono in tempo reale, o quasi sempre, di ottenere dati metrici dimensionali dall'elaborazione di strumenti ottico-meccanici o informatici di grande precisione.

Le strumentazioni utilizzate sono di solito: goniometri, sostituiti, molto tempo dopo, da teodoliti ottico-meccanici, strumenti che effettuano misurazioni di angoli, seguiti da calcoli trigonometrici per la determinazione delle coordinate dei punti rilevati. La misurazione di un punto avviene con diverse metodologie, tra cui il metodo delle intersezioni in avanti e tanti altri ancora. Tutti basati su regole matematiche, di geometria trigonometrica, che richiedono letture angolari da una o più stazioni.¹

Con l'avvento della tecnologia, abbinata alle innovazioni informatiche, si è passati dall'applicare il distanziometro elettronico alla stazione totale. Quest'ultima, corredata di un computer, in grado di restituire, in tempo reale, le coordinate spaziali dei punti rilevati.

Altra innovazione è quella del rilievo satellitare in modalità GPS, sistema che consente di determinare le coordinate spaziali di un punto effettuando delle trilaterazioni a mezzo di satelliti.

Rientra nel metodo indiretto anche la fotogrammetria. Consente di ricavare rappresentazioni grafiche in proiezione ortogonale e non attraverso l'elaborazione di immagini fotografiche. Ha avuto grande sviluppo dall'inizio del novecento prima di tutto nell'ambito del rilevamento del territorio per mezzo di riprese fotografiche dall'alto (aerofotogrammetria). In seguito ha trovato sempre maggiori applicazioni nel rilievo delle facciate

di edifici storici (fotogrammetria terrestre). Infine il laser scanner, metodologia di rilievo innovativa degli ultimi anni. La metodologia si basa sulla emanazione di un raggio laser che, investendo tutto quanto incontra sulla sua traiettoria, restituisce nuvole di punti in grado di rappresentare, in maniera tridimensionale, ciò che è stato rilevato. Gli ambiti di applicazione di quest'ultima metodologia, sono innumerevoli.

7.3. Le fasi di lavoro

Rilevare un'opera architettonica significa penetrare nella sua complessa realtà, analizzandone tutti gli aspetti: si tratta quindi di mettere in essere una complessa procedura, che porti alla conoscenza profonda di essa, attraverso una puntuale e ragionata analisi.

Per il rilevamento del complesso monumentale dell'Anfiteatro Romano di Santa Maria Capua Vetere si è provveduto seguendo le fasi di lavoro di seguito riportate.

Ricognizione

Un sistematico studio dell'opera architettonica oggetto di indagine, intrusivo o estrusivo, intensivo o estensivo, che generalmente viene effettuato anche sulla scorta di indagini già eseguite, di notizie prese in situ (es. toponomastica, nome del quartiere, ecc.), di indagini bibliografiche precedenti. Il prodotto ricognitivo, è costituito da fotografie e schizzi (eidotipi) descrittivi del manufatto eseguiti durante il lavoro in loco.

Operazioni di campagna e strumentazione di supporto

In proseguimento a quanto detto prima si passa alla fase di rilievo GPS, al rilievo fotogrammetrico digitale supportato da rilievo strumentale a mezzo stazione totale ed infine rilievo a mezzo laser scanner. Il tutto deve essere riscontrabile in precisi documenti scritto-grafico-fotografici, con cui si può ricostruire quanto è risultato possibile individuare con i lavori in situ. Per il rilievo topografico del sito si mettono in essere tutte le parti del rilievo già descritte ovvero: inquadramento (georeferenziazione), appoggio, dettaglio; per l'inquadramento e l'appoggio si adoperano GPS e Stazione Totale; per il dettaglio nastro metrico (per il rilievo diretto), GPS in modalità RTK, fotocamera tipo reflex digitale non metrica e Laser scanner.

Produzione finale

Il complesso della documentazione scritta, grafica e fotografica, sia cartacea che informatica, che esaurisce l'indagine del complesso monumentale dell' Anfiteatro Campano di Santa Maria Capua Vetere, deve essere resa fruibile alla collettività di qualsiasi ordine.

I principali strumenti per le elaborazioni informatiche sono:

- restituzione con un adeguato programma CAD (Disegno Assistito dal Computer);
- eventuale realizzazione di modelli tridimensionali interpretativi, anche con animazione, tramite appositi software.

7.4. Gli strumenti e le metodologie di rilevamento

Il complesso delle apparecchiature, idoneo per la realizzazione del rilievo topografico e metrico di oggetti e/o manufatti (terreno, architetture, impianti industriali, beni culturali, ecc.), negli ultimi tempi ha subito un'evoluzione tecnologica impressionante.

La cosiddetta rivoluzione elettronico-informatica ha, fra l'altro, causato un approccio assai diverso all'uso delle strumentazioni come la stazione totale, rispetto a quelle ottico-meccaniche corrispondenti; inoltre, da qualche anno, si è imposto il sistema GPS nella "normalità" del rilievo con cui, ed in condizioni favorevoli, si attua un rilievo con operatività del tutto diverse da quelle tradizionali, soprattutto nei riguardi dei dati acquisiti.

L'incessante evoluzione tecnologica, dovuta soprattutto a questioni di mercato, fa sì che qualsiasi tipo di apparecchiatura subisca l'invecchiamento o obsolescenza anche nel breve termine, imponendo spesso nuovi modi d'uso, non sempre semplici; comunque, qualsiasi strumentazione venga adoperata, l'operatore ha la necessità di dominare il suo corretto impiego, sfruttando la maggior parte delle sue potenzialità, almeno quelle più usuali: la continua informazione sulle novità di mercato, unita alla consapevolezza dei pregi, dei limiti e, soprattutto, delle particolari necessità di lavoro che possono risolvere le strumentazioni in dotazione, sono basilari in qualunque ambito operativo.

Si ribadisce che, qualsiasi sia la gamma delle attrezzature che offre il mercato e qualsiasi ne sia l'evoluzione, con essa vengono "rivoluzionate" solo le acquisizioni dei dati e la loro elaborazione, non già i concetti generali della metodologia in cui si agisce: confondere quest'ultima con la tecnologia di impiego strumentale è *fuorviante*.

7.5. Rilevamento Satellitare

È un sistema per la determinazione della posizione spaziale di punti, esteso a tutto il pianeta, a mezzo di misurazioni di lunghezze effettuate mediante l'integrazione di una o più costellazioni di satelliti in navigazione orbitale intorno al nostro globo.

Rilevamento GPS o meglio sistema NAVSTAR GPS (NAVigation Satellites Timing And Ranging Global Positioning System)².

Vengono impiegate due o più stazioni GPS, di cui almeno una posizionata su un punto di note coordinate (stazione base) e le altre sui punti di posizione incognita, sui quali le antenne in stazione debbono “vedere” almeno 4 satelliti contemporaneamente (normalmente sono 5 o 6).

In tal modo si può ottenere la correzione differenziale, tramite i dati registrati contemporaneamente da due antenne collegate agli stessi satelliti, migliorando notevolmente le precisioni del posizionamento, le quali ultime sarebbero scarse se si usasse una sola stazione sul punto incognito; inoltre, con il ricevitore di riferimento, si possono stimare le correzioni come differenze fra valori misurati e quelli calcolati potendo trasmetterle, via radio, ad altre *stazioni rover* (“vaganti” sul territorio).

L'elaborazione di calcolo viene effettuata con un adatto software, determinando le coordinate geografiche e la quota (λ , ∂ , Q) rispetto al sistema *geodetico mondiale*, rappresentato dall'ellissoide WGS84; le coordinate X, Y, Z del punto-stazione determinate con il sistema GPS sono geocentriche.

Per gli scopi topografici la X e la Y devono essere trasformate nelle coordinate λ e ∂ , rispetto all'ellissoide locale (in Italia è quello di Hayford), per poi subire un'ulteriore trasformazione nelle rettangolari cartografiche N ed E.

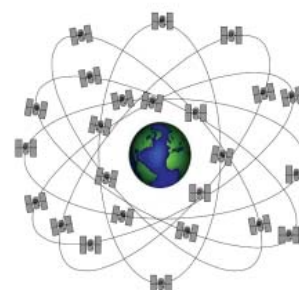
La quota dev'essere riferita al geoide, diverso dal WGS84.

con opportune interpolazioni si possono quindi determinare anche gli scostamenti nei punti rilevati, trasformando le quote ellissoidiche GPS (h) in quelle ortometriche geoidiche (H).

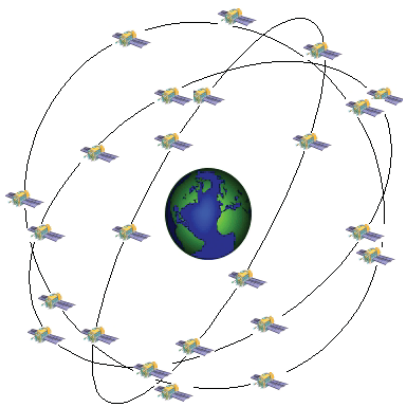
Metodo RTK (real time kinematic mode)

Si possono determinare e visualizzare in tempo reale le coordinate di molti punti in rapida successione, tramite una stazione *rover* collegata via radio ad una stazione di riferimento su un punto noto o stazione master, la quale ultima trasmette i dati ricevuti dagli stessi satelliti;

L'RTK viene utilizzato per rilievi topografici di dettaglio, ottenendo preci-



7.1 - Costellazione GPS



7.2 - Costellazione GLONASS

sioni del 1/2 cm, con l'elaborazione post-processing.

Rilevamento GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)

È il sistema di navigazione satellitare russo, la costellazione doveva essere costituita da 24 satelliti, orbitano su 3 piani inclinati rispetto al piano dell'equatore di circa 65° e si trovano ad una quota di circa 19000 km, il periodo di rivoluzione è di 11 ore e 15 minuti.

L'intero segmento di controllo si trova sul territorio dell'ex Unione Sovietica.

Il Centro di Controllo (e Time Standards) si trova a Mosca, le stazioni per il controllo telemetrico e tracciamento dei satelliti si trovano a San Pietroburgo, Ternopil, Enisejsk, Komsomolsk-na-Amure.

Rilevamento GALILEO

Galileo è il nome del progetto del Sistema di Navigazione Satellitare Europeo.

Il primo satellite (GIOVE A) è stato lanciato il 28 dicembre 2005, il secondo il 27 aprile 2008, un altro satellite, GIOVE A2, dovrebbe essere lanciato prossimamente.

Il sistema dovrebbe essere pienamente operativo nel 2013, e dovrebbe essere costituito da 30 satelliti orbitanti su 3 piani inclinati rispetto al piano equatoriale terrestre di circa 56° e ad una quota di circa 24000 km.

Rilevamento GNSS (Global Navigation Satellite System)

Nasce per indicare i sistemi di navigazione satellitare (GPS, GLONASS, GALILEO, ecc.) nel loro complesso.

In Italia, come nel resto del mondo, sono state realizzate o sono in corso di realizzazione Reti di Stazioni Permanenti su scala regionale.

Una Rete GNSS è costituita da ricevitori e antenne satellitari in grado di acquisire e decodificare i segnali di più costellazioni (es. GPS+GLONASS), collegati 24h/24h ad un Centro di Controllo che ha la funzione di rendere disponibili tali dati sotto forma di correzioni differenziali.

Evidenti sono i vantaggi nel ricevere correzioni GNSS per l'utente, soprattutto nelle zone in cui la visibilità del cielo è limitata da ostacoli naturali o artificiali.

Negli ordinari rilievi RTK un utente deve disporre di due strumenti, inoltre la distanza tra i due non dovrebbe superare i 15/20 Km; alcuni errori sistematici delle misure GNSS, infatti, dipendono dalla distanza (errori delle orbite, atmosferici e ionosferici) ed assumono entità quasi mai tolle-

rabile quando questa supera la soglia indicata.

Per ovviare a queste problematiche di carattere economico e di natura tecnica si può ricorrere ad una Rete di Stazioni GNSS Permanenti; in questo modo per prima cosa per eseguire il rilievo è sufficiente disporre di un solo strumento, inoltre diventa possibile stimare gli errori indicati tramite interpolazioni su tutta l'area ricoperta dalla rete. La conoscenza di questi ultimi permette di aumentare la distanza tra gli strumenti (stazione permanente e ricevitore/utenza) oltre i 15/20 km. Un centro di controllo si occupa della gestione della rete e della fornitura all'utenza di diverse tipologie di servizi per il posizionamento in tempo reale ed in post-elaborazione.

7.6. Strumentazione e Metodologie di Rilievo

La strumentazione necessaria ai posizionamenti GNSS consiste in uno o più ricevitori satellitari muniti di antenne. Le antenne vengono posizionate sui punti da rilevare in modo simile a uno strumento topografico o ad una mira.

Tutte le antenne in movimento sul territorio si interfacciano con un sistema di "Rete di Stazioni GNSS Permanenti". In questo modo per prima cosa per eseguire il rilievo è sufficiente disporre di un solo strumento, inoltre diventa possibile stimare gli errori indicati tramite interpolazioni su tutta l'area ricoperta dalla rete. La conoscenza di questi ultimi permette di aumentare la distanza tra gli strumenti (stazione permanente e ricevitore/utenza) oltre i 15/20 km. Un centro di controllo si occupa della gestione della rete e della fornitura all'utenza di diverse tipologie di servizi per il posizionamento in tempo reale ed in post-elaborazione.

Un servizio di posizionamento GNSS è un'infrastruttura che fornisce dati all'utenza affinché questa possa determinare la propria posizione con la miglior precisione possibile in funzione dell'applicazione per cui questa è richiesta.

La posizione può essere determinata in tempo reale, si parla allora di servizi Network Real Time Kinematic (NRTK), o in post-elaborazione, con rilievi in modalità statica o statica-rapida.

Anche questo tipo di modalità di rilevamento è costituito da diversi segmenti:

- Rete di Stazioni GNSS Permanenti
- Centro di Controllo

-Utenza

La Rete di stazioni Permanenti è la parte dell'infrastruttura installata direttamente sul territorio.

Il Centro di Controllo ha svariati compiti: ricezione, elaborazione e memorizzazione dei dati provenienti dalle stazioni permanenti, fornitura dei servizi in tempo reale **Network Real Time Kinematic (NRTK)** e per la post-elaborazione all'utenza.

L'Utenza può usufruire dei servizi allo scopo di eseguire rilievi topografici di varie tipologie: rilievi di inquadramento, rilievi di dettagli, rilievi catastali, monitoraggi, catasto strade, ecc.

In regione Campania la Rete è stata progettata affinché l'intero territorio regionale risultasse coperto dalle Stazioni Permanenti con un'interdistanza non superiore ai 70 KM: questo per assicurare un buon rapporto tra affidabilità dei risultati e minor numero di Stazioni da installare.

Il numero necessario di Stazioni Permanenti è risultato essere 13 (installate prevalentemente in siti di proprietà regionale).

Le stazioni permanenti, se organizzate in reti, possono essere in grado di fornire un insieme di servizi in tempo reale. Questo tipo di servizio può essere realizzato anche con reti caratterizzate da elevata distanza tra le stazioni, dell'ordine di circa 70 km. Da ciò nasce il progetto delle V.R.S. (Virtual Reference Station).

Le stazioni virtuali possono essere realizzate da un centro di controllo (stazione master) che, note le osservazioni nelle stazioni permanenti della rete, interpola le correzioni nella posizione approssimata del ricevitore mobile (rover), ovvero in una stazione virtuale teoricamente molto vicina alla sua posizione reale. Questo sistema richiede una comunicazione a due vie tra il rover e il master, il rover invia al master la sua posizione approssimata, e dal master riceve le correzioni in tempo reale. Il principale vantaggio. È che l'utente può operare all'interno della rete V.R.S con un singolo ricevitore e stimare le coordinate di un punto con precisione centimetrica.

7.7. La teoria fotogrammetrica

Con il termine fotogrammetria si intendono tutte quelle procedure che utilizzano immagini fotografiche di un oggetto per ricavarne le dimensioni. Effettuare il rilievo di un oggetto significa ricavare la posizione spaziale di tutti i punti di interesse. Mediante la fotogrammetria questa operazione

viene fatta, in gran parte, non direttamente sull'oggetto ma operando su immagini fotografiche.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo le cui origini sono antiche almeno quanto l'invenzione della fotografia e la cui teoria è stata sviluppata perfino prima della stessa invenzione della fotografia, come pura geometria proiettiva. La fotogrammetria, sebbene nasca per il rilievo delle architetture, si sviluppa principalmente per il rilevamento del territorio, ed è stata, fino alla fine del secolo scorso, applicata in gran parte come "fotogrammetria aerea".

Essa rappresenta ormai uno strumento di acquisizione di dati metrici e tematici tra i più affidabili e più immediati, e va estendendo sempre più la sua diffusione e le sue applicazioni.

Ed è bene anche sottolineare che: "la tecnica fotogrammetrica non deve né può sostituirsi interamente ai rilievi diretti, ma può offrire solo un supporto geometricamente obiettivo, imprescindibile ai fini dell'esecuzione del rilievo finale."

La storia della fotogrammetria è molto legata, nei suoi principi teorici, alla storia della geometria descrittiva ed in particolare alla formulazione della teoria della prospettiva; mentre nella sua applicazione è legata alla storia dell'ottica, della fotografia ed alle relative scoperte tecnologiche.

"Dopo varie definizioni, tentate fino dagli esordi, è stato introdotto, a partire dal 1903, da Albrecht Meydenhauer il termine fotogrammetria per individuare l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica³.

Per le specifiche applicazioni che ne vengono fatte, la metodologia prende il nome di fotogrammetria terrestre, allorché le prese vengono effettuate alla superficie del suolo, e il nome di fotogrammetria aerea, quando esse vengono effettuate da piattaforma spaziale aerea.

Nella prassi consolidata tale metodologia viene tuttavia identificata come fotogrammetria dei vicini, o *Close-Range Photogrammetry*, quando gli oggetti interessati risultano situati ad una distanza inferiore a 300 m circa, dalla camera da presa fotogrammetrica; e come fotogrammetria dei lontani, quando gli oggetti sono situati a distanze maggiori. Il limite dei 300 m costituisce anche la delimitazione della quota di sicurezza per le riprese da aeromobile.

Nell'uso comune, dati soprattutto i suoi interessi prevalentemente territoriali, la metodologia viene infine suddivisa in fotogrammetria topografica e in fotogrammetria non topografica. Nell'ambito della prima rientrano i

rilevamenti urbani; nell'ambito della seconda gravitano invece i rilevamenti architettonici e degli oggetti mobili.”

La fotogrammetria può essere:

Monoscopica

La ripresa è da un solo punto di vista; si usa la monocamera (metrica o semimetrica); per restituire si usa una sola immagine fotografica; la restituzione è sul piano bidimensionale. Viene utilizzata per: supporto al rilievo, proporzioni, degrado; restituzione prospettica e fotoraddrizzamento.

Stereoscopia

La ripresa è da due punti di vista; si usano le bicamere (metriche o semimetriche), le camere da presa aerofotogrammetriche, macchine fotografiche digitali; per restituire ci si serve di una coppia di fotogrammi; la restituzione è tridimensionale.

Il presupposto fondamentale sul quale si basa la teoria fotogrammetrica comporta l'analisi, da un punto di vista geometrico e con sufficiente approssimazione, della foto di un oggetto qualsiasi che presenti la proiezione centrale dell'oggetto stesso. Bisogna dire che ciò non si verifica mai nella realtà perché il raggio luminoso subisce una deviazione quando attraversa le lenti di un obiettivo, che determina uno spostamento del punto "immagine" rispetto alla posizione ideale che assumerebbe in base a un teorico percorso rettilineo.

Questa distorsione, detta distorsione radiale, è in funzione della distanza del raggio luminoso dal centro del fotogramma.

Nell'operazione di presa dei fotogrammi gli strumenti utilizzati sono camere stereometriche, metriche, semimetriche e amatoriali. L'uso di camere metriche e semimetriche permette di ottenere delle restituzioni ad alta precisione in quanto la distorsione radiale viene misurata e riportata in un certificato di calibrazione e può essere corretta nella fase di restituzione.

Per le camere amatoriali, prima di effettuare tutte le fasi relative allo scatto dei fotogrammi, è necessaria la fase preventiva di calibrazione della macchina al fine di ottenere, mediante apposito software, i certificati di calibrazione relativi ad ogni singolo obiettivo utilizzato.

7.8. Il rilievo fotogrammetrico

La scelta della tecnica o della metodologia d'integrazione dipende da molti fattori, tra cui l'esperienza del rilevatore, il tipo di oggetto, il materiale, lo scopo del rilievo, il livello di dettaglio che si vuole raggiungere, ecc.

Nell'ambito di tale ricerca per effettuare il rilievo dell'Anfiteatro Campano di Santa Maria Capua Vetere, è stata utilizzata la tecnica del rilievo fotogrammetrico a cui si è voluto dedicare una particolare trattazione, dando delle indicazioni generali, come precedentemente descritto, sulla tecnica fotogrammetrica in generale e sul programma di fotogrammetria utilizzato per la restituzione del rilievo nei capitoli successivi.

Il processo fotogrammetrico è riassumibile in:

1. acquisizione/registrazione delle immagini;
2. orientamento delle immagini e ricostruzione del modello tridimensionale attraverso tecniche stereoscopiche;
3. restituzione, cioè misura dell'oggetto e formalizzazione numerica o grafica delle sue caratteristiche dimensionali.

In base alla forma di rappresentazione del dato, e quindi degli strumenti utilizzati per la restituzione, si distingue tra:

- fotogrammetria tradizionale se l'immagine disponibile è su supporto fotografico;
- fotogrammetria digitale se l'immagine è registrata in forma digitale.

La ricostruzione del modello passa storicamente attraverso due approcci:

1. analogico, in cui è l'azione fisica di componenti ottici, meccanici ed elettronici a ricostruire le corrispondenze geometriche (sistema ormai superato);
2. analitico, in cui la ricostruzione è affidata alla modellazione matematica rigorosa supportata dall'elaborazione digitale.

La fotografia o fotogramma, tradizionale o digitale, è una prospettiva centrale, mentre il rilevato viene rappresentato in proiezione ortogonale. Solo nel rilevamento architettonico si può a volte derogare dalla proiezione ortogonale per ottenere rappresentazioni più utili al loro studio, quali potrebbero essere anche viste tridimensionali. Data la necessità, in ogni caso, di fare della immagine fotografica un uso metrico, intenderemo sempre per fotografia un fotogramma, cioè una fotografia metrica, o perché presa con una camera metrica, o perché si posseggono gli algoritmi per trasformare una foto normale in metrica, detta anche orto-fotogramma.

Affinchè si possa procedere alla realizzazione di modelli tridimensionali occorre procedere seguendo particolari fasi lavorative e di impostazione

procedurali.

L'operazione di orientamento si può suddividere in fasi successive:

Orientamento interno, nel quale avviene la ricostruzione delle stelle proiettive;

Orientamento relativo, nel quale si accoppiano i raggi omologhi (provenienti, cioè, dallo stesso punto oggetto) per complementarità dando luogo al modello, le cui coordinate vengono calcolate attraverso le equazioni delle rette proiettive o equazioni di collinearità in un sistema di riferimento modello;

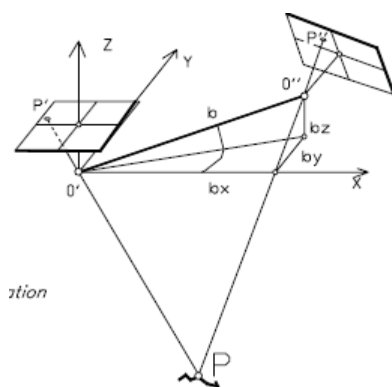
Orientamento assoluto, nel quale mediante opportune rototraslazioni con variazioni di scala si trasformano le necessarie coordinate modello in coordinate terreno.

Nell'orientamento interno, la distanza principale c e le coordinate immagine del punto principale P , sono detti parametri di orientamento interno; questi costituiscono gli elementi di un modello matematico-geometrico semplificato.

Tuttavia questo modello ideale non corrisponde fedelmente alla realtà. Per prima cosa occorre ricostruire i fasci proiettivi per ciascuna immagine.

La fotogrammetria permette di ricavare le coordinate tridimensionali e la geometria di un punto-oggetto mediante la scelta di due punti omologhi presenti su una coppia di fotogrammi, attraverso i principi della triangolazione e della collinearità.

In particolare il metodo matematico alla base del processo di restituzione fotogrammetrica è detto "compensazione del blocco a stelle proiettive" o più comunemente "bundle adjustment". Esso trova fondamento nelle equazioni di collinearità che esprimono la relazione fra le coordinate assolute XYZ di un punto-oggetto e le coordinate xy del corrispondente punto-immagine mediante i parametri di orientamento esterno ed interno



$$x_i = x_{0i} - c \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y_i = y_{0i} - c \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

dove

x_i, y_i = coordinate immagine del punto P' nel sistema lastra

x_{0i}, y_{0i} = coordinate immagine del punto P

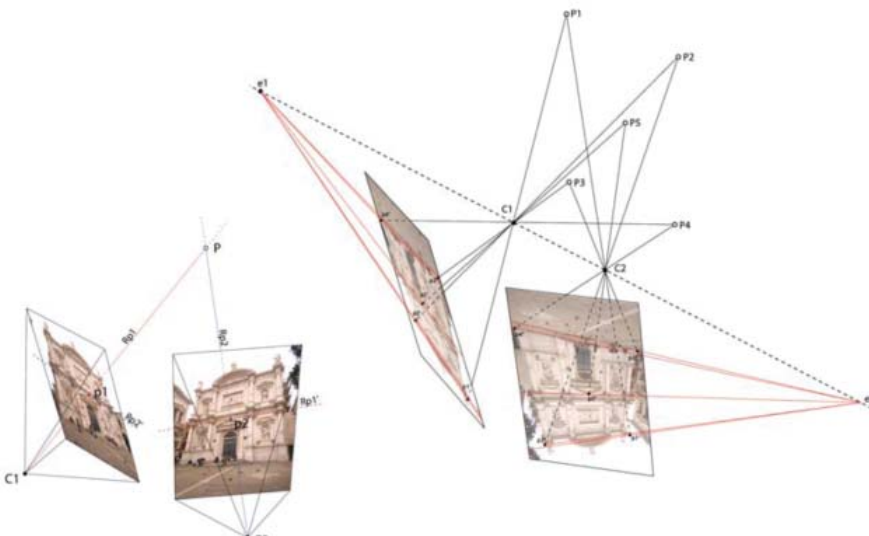
c = distanza principale

X, Y, Z = coordinate del sistema oggetto

X_0, Y_0, Z_0 = coordinate del centro di proiezione

Le equazioni mostrano appunto che ad ogni punto oggetto corrisponde

7.3 - Esempi di proiezioni geometriche



della camera fotografica.

In generale la fotogrammetria ha visto un costante sviluppo passando dalla stereo-fotogrammetria terrestre, alla fotogrammetria analogica, dalla fotogrammetria analitica con la triangolazione aerea fino a raggiungere lo stadio attuale della fotogrammetria digitale, dove le immagini elaborate non sono più fotografiche ma numeriche.

Attualmente gli strumenti impiegati nella tecnica fotogrammetrica restituiscono le informazioni direttamente in formato digitale e proprio grazie a questa caratteristica è stato possibile sviluppare la cosiddetta “fotogrammetria in tempo reale”. Infatti la principale innovazione della fotogrammetria digitale rispetto a quella analitica è costituita dalla continua ricerca tesa all’individuazione di procedimenti automatici di restituzione ed elaborazione dell’immagine. Di solito i moderni sistemi di ripresa sono formati da: un corpo macchina, un sistema ottico con differenti lunghezze focali, le parti meccaniche ed elettroniche ed, infine, i sensori. Quest’ultimi sostituiscono la tradizionale pellicola delle camere analogiche, registrando l’intensità luminosa media incidente sulla loro superficie costituita da una serie di piccoli elementi sensibili, disposti linearmente o arealmente in uno spazio di pochi micron quadrati.

La tipologia di sensori impiegati può essere di tipo CCD (Charge-Coupled device) e CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) che differiscono tra loro per i processi di produzione e di gestione delle immagini. In altri termini tramite il processo fotogrammetrico è possibile utilizzare immagini 2D per ricostruire le informazioni tridimensionali dell’oggetto da modellare attraverso la conoscenza:

- caratteristiche interne della fotocamera (orientamento interno-calibrazione);
- posizione relativa delle immagini al momento dello scatto (orientamento esterno).

In particolare, per conseguire una corretta configurazione della fase di presa delle immagini è necessario stabilire con estrema cura:

- 1) I sensori e tipologia di camera utilizzare;
- 2) la distanza e l'angolazione di acquisizione delle immagini in base all'obiettivo da conseguire;
- 3) la lunghezza delle basi;
- 4) infine, è assolutamente necessario posizionare la camera in modo tale che ciascun punto compaia almeno in due fotogrammi e che i raggi omologhi non si intersechino tra di loro generando angoli troppo acuti.

7.9. Il rilievo laser scanner

La tecnica del laser scanning rappresenta un nuovo ed efficiente metodo per la digitalizzazione e la modellizzazione di oggetti e di porzioni di territorio aventi qualsiasi forma e dimensione. La digitalizzazione avviene in modo discreto attraverso la misurazione della posizione di un elevato numero di punti.

I sistemi laser scanning sono strumenti che consentono il rilevamento ad altissima velocità di modelli tridimensionali di oggetti.

Riducendo il tempo di lavoro infatti, essi riescono a restituire l'oggetto da rilevare nelle sue tre dimensioni sotto forma di un insieme di punti sparsi nello spazio, in modo più o meno regolare, comunemente denominato nuvola di punti. Le nuvole di punti o "point clouds" costituiscono quindi un agglomerato di informazioni che lette nella loro integrità restituiscono un modello geometrico semplificato dell'oggetto rilevato. Tuttavia essendo dei dati di tipo discreto e quindi difficilmente interpretabili diventa di



7.4, 7.5 - Rilievo in modalità laser scanner

fondamentale importanza il progetto delle fasi di elaborazione del dato laser, in quanto è proprio da questo insieme di operazioni che si ottiene un prodotto finale che possa essere utile per l'estrazione di informazioni di interesse.

I laser scanner possono essere facilmente paragonati alle stazioni totali topografiche, anche se esiste però una sostanziale differenza tra le due metodologie di rilievo. Quando si effettua un rilievo topografico classico, vengono misurati i punti più significativi dell'oggetto da acquisire, ed essi devono essere ben riconoscibili nel contesto. Nel caso di un rilevamento laser scanner invece non vi è alcuna possibilità di scegliere i punti da rilevare. E' possibile in genere definire solo l'area che si vuole acquisire e la densità di punti desiderata. Definiti questi parametri l'acquisizione è completamente automatica, il laser viene indirizzato, mediante componenti ottico meccanici in rotazione, sulla superficie da rilevare variando a passi discreti gli angoli azimutale e zenitale. Il laser viene utilizzato per misurare la distanza dall'oggetto ed insieme ai dati di rotazione angolare determina le coordinate nello spazio; diversi milioni di queste coordinate 3D danno origine ad una immagine completa dell'ambiente.

Il risultato del rilevamento è una nuvola di punti molto densa, i punti con coordinate note sono distribuiti in modo casuale sull'oggetto. I laser scanner in genere sono dotati di distanziometri laser ad impulsi (che misurano quindi il tempo di volo TOF time of fly) in quanto permettono di effettuare misure molto velocemente (circa 10.000 punti/sec) con precisioni elevate (dell'ordine dei 5 – 10 mm).

Con l'integrazione, all'interno del laser scanner, di sensori quali compensatore biassiale, altimetro e bussola e con l'ausilio di software per l'elaborazione e la gestione delle singole nuvole di punti è possibile creare una nuvola di punti.

Gli ambiti di applicazione sono molteplici in campo ambientale, ingegneristico e antropico, rappresentando attualmente uno dei più veloci strumenti investigativi nel campo ingegneristico, ambientale, architettonico e non ultimo quello archeologico. I rilievi possono essere effettuati a distanze variabili da 3 a 2000 metri a seconda della riflettività del target e della qualità dello strumento, trovando molti campi di impiego tra cui l'architettura, la geologia, l'ingegneria civile, la conservazione dei beni culturali e tutte quelle situazioni dove sono indispensabili rapidità, precisione e/o limitata e difficoltosa presenza degli operatori.

Inoltre è possibile associare alle nuvole di punti, oltre alle informazioni metriche dimensionali, dati riferiti alla riflettività dei materiali. Pertanto

l'elaborazione delle nuvole comporterà la visualizzazione di un modello tridimensionale nei colori non reali ma che ne consentono di diversificare i materiali che lo costituiscono.

Infine l'integrazione di dati laser scanner e fotografia digitale, di solito integrati all'interno dello stesso laser, consentono di documentare e ricostruire virtualmente in modalità tridimensionale quanto più rispondente agli oggetti reali.

Note

¹ Cfr. M. Ducci, D. Maestri, Il rilevamento architettonico. Storia metodi e disegno, Editori Laterza, Bari, 1987.

² Il sistema GPS si compone di 3 segmenti:

Segmento spaziale: 24 satelliti che ruotano su 6 orbite fisse attorno alla Terra ad una quota di circa 20.000 km, il periodo di rivoluzione è di 12 ore;

Segmento di controllo: 5 stazioni a Terra di controllo;

Segmento di utilizzo: Ricevitori, strumenti di ricezione, antenne.

³ Cfr. M. Fondelli, Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica, Editori Laterza, Bari, 1992.

⁴ Cfr. R. d'Apostoli, Prontuario di topografia, Maggioli Editore, Dogana (Repubblica di San Marino), 2009.

PARTE QUARTA

Il rilievo archeologico dell'anfiteatro Campano

CAPITOLO OTTAVO

Elaborazione dei dati

8.1. Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo satellitare

Per predisporre un apparato conoscitivo appropriato si ricorre attualmente all'uso integrato di diverse strumentazioni di rilievo al fine di ottenere un modello numerico tridimensionale. Infatti la ricchezza e la complessità dei siti archeologici pone la necessità di rilevare e documentare quanto più è possibile spaziando dal generale (un'area urbana) al particolare (frammenti e similari).

Il rilievo GPS, legato al campo archeologico, è divenuto negli ultimi anni uno strumento fondamentale per lo studio dei siti, ha lo scopo non solo di definire il sistema di riferimento globale ma anche di determinare dei punti di controllo invarianti in più scale di rappresentazione.

Il rilievo del complesso archeologico è stato effettuato mediante la modalità GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sigla che raggruppa i sistemi satellitari GPS (Stati Uniti), GLONASS (Fed. Russa) e GALILEO (Comunità Europea, in corso di realizzazione), consentendo di fornire servizi di posizionamento con accuratèzze che vanno da alcuni metri a un centimetro circa.

Molte delle tecniche attuali consentono una inter-operabilità tra i diversi sistemi satellitari, che possono essere utilizzati contemporaneamente, con evidenti vantaggi nelle zone in cui la visibilità del cielo è limitata da ostacoli naturali o artificiali.

Le fasi di rilievo sono state articolate in due sezioni: la prima ha visto il coinvolgimento di tutta l'area archeologica, mentre la seconda l'individua-



8.1, 8.2 - Antenna e palmare per acquisizione dati.

zione dei punti di stazione successivamente utilizzati per il rilievo dei punti di appoggio al rilievo fotogrammetrico.

La raccolta dei dati plano-altimetrici, è stata effettuata utilizzando un ricevitore Topcon HiPer-Pro GNSS RTK, completamente integrato base e mobile, mentre l'acquisizione dei dati è stata effettuata utilizzando un computer palmare del tipo Topcon FC-236 dotato di software dal nome Mercurio.

Mercurio è un programma per l'acquisizione e la gestione dei dati di campagna. Unisce facilità di utilizzo, completezza nei calcoli, ed un CAD per la gestione grafica dei dati che rende più semplici, intuitive e veloci le operazioni di rilievo. Il software consente l'acquisizione dei dati in modalità RTK con l'ausilio di modem (radio o gsm), con le Reti di Stazioni Permanenti VRS¹ e in modalità post processing. L'acquisizione di punti avviene in maniera semplice e veloce avendo sempre a disposizione la possibilità di verificare il numero di satelliti e la loro disposizione geometrica sullo Sky Plot, le precisioni con i valori di PDOP, il calcolo dell'ambiguità, la qualità del segnale radio, ed una serie di informazioni dettagliate sui singoli satelliti tracciati dal ricevitore. Mercurio mette a disposizione diverse modalità di acquisizione del punto. In fase di acquisizione dei punti sarà possibile inserire ulteriori note, descrizioni dei punti presenti in un archivio editabile, schizzo di disegno e foto scattate in tempo reale dalla fotocamera del controller.

La fase di campagna si è sviluppata sulla individuazione di circa 2200 punti rilevati.

I punti uniformemente distribuiti sono stati individuati e sistemati sull'area oggetto di studio, facilmente accessibili e stazionabili con precisione ed in posizione tale da ritenere che la loro permanenza possa essere garantita in un arco temporale adeguato.

Le misure sono state eseguite, con GPS doppia frequenza del tipo JAVAD, assicurando che:

- che il numero dei satelliti contemporaneamente ricevuti dalla stazione nel corso di una sessione non risulti mai inferiore a 6;
- che nessun satellite osservato abbia una elevazione inferiore a 15 gradi;
- che i files relativi alla ricezione dei dati da satellite, delle effemeridi e dei messaggi di navigazione vengano adeguatamente registrati.

Inoltre la elaborazione del libretto delle misure riporta i dati relativi ai vettori - intesi come raccordo tra la base ed il punto da rilevare - da cui si desume il giorno del rilievo, l'ora di inizio e di fine della sessione, la lunghezza e la precisione, intesa come RMS², nonché il codice "FX" (punto

fissato).

La descritta operazione ha consentito una corretta localizzazione del geoido, utilizzando come partenza, il geoido ITALGEO 99.

I dati acquisiti sono stati elaborati con i software quali: PINNACLE e VERTO.

Il calcolo delle coordinate Gauss-Boaga, in modo automatico, è stato effettuato con l'ausilio del programma di trasformazione delle coordinate, VERTO dell'I.G.M..

Per quanto riguarda i riferimenti planimetrici il nuovo metodo supera i procedimenti utilizzati nel passato, affetti da varie ambiguità, e consente la conversione di coordinate in maniera univoca. Esso si basa essenzialmente sulla definizione di griglie a passo regolare, di valori di differenze in coordinate geografiche, che coprono ampiamente il territorio nazionale. È possibile eseguire la trasformazione delle coordinate fra i sistemi ROMA40, ED50 e WGS84, in tutte le possibili combinazioni, ottenendo le quantità necessarie per mezzo di una interpolazione bilineare eseguita fra i valori della griglia. L'interpolazione della griglia può essere realizzata tramite il software che permette di trattare anche coordinate piane appartenenti ai sistemi cartografici normalmente associati ai sistemi geodetici suddetti: GaussBoaga per ROMA40, UTM per ED50 e WGS84.

La compensazione della rete di raffittimento, è stata effettuata, in maniera statistica rigorosa, con il metodo dei minimi quadrati mediante l'utilizzo del software PINNACLE.

Sono state calcolate le coordinate Gauss-Boaga di tutti i punti rilevati, previa analisi degli scarti quadratici medi delle coordinate e degli scarti delle singole equazioni, al fine di verificarne la massima corrispondenza del risultato.

Il trattamento delle osservazioni è stato eseguito in modo tale da fornire:

- le risultanze derivanti dalle doppie e dalle triple differenze;
- la misura della baseline congiungenti le stazioni di osservazione, il relativo s.q.m. e la relativa matrice di varianza e covarianza delle tre componenti dx , dy , dz ;
- le differenze di latitudine, longitudine e quota sull'ellissoide WGS84 fra gli estremi della base;
- l'angolo di elevazione e l'azimut di ogni singola base.

L'elaborazione dei dati ha consentito l'inquadramento nel sistema WGS84 assicurato dalle fasi di rilievo effettuato in modalità GPS; determinando la loro posizione ed effettuando le loro letture nel sistema internazionale. Si provveduto ad effettuare il calcolo di trasformazione delle coordinate



8.3,8.4 - Alcune schermate del programma "Meridiana" per la gestione dati del palmare.

dal sistema WGS84 al sistema Nazionale Roma 40, calcolo effettuato con l'ausilio del software.

Infine l'inquadramento altimetrico è stato riferito alla Rete Regionale GNSS della regione Campania³, alla quale il programma Verto si è riferito sia per la livellazione sia come base per il rilievo Gps.

8.2. Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo fotogrammetrico

Il presente lavoro è stato realizzato, per quanto riguarda la raccolta dei dati immagine e di posizionamento, utilizzando una fotocamera reflex digitale Nikon D40 e una Stazione Totale Laser TOPCON GPT-3000; per ciò che concerne l'elaborazione fotogrammetrica e di classificazione delle immagini, si è ricorsi al software ImageMaster PHOTO; dotato di potenti algoritmi di bundle adjustment ed image matching, permette la generazione di modelli TIN con mappatura fotografica da immagini ad alta risoluzione.

La sequenza operativa per la realizzazione di un'indagine fotogrammetrica consta di alcuni passaggi fondamentali. In prima battuta la scelta dei fotogrammi, ciò che diventerà il blocco stereoscopico, e l'orientamento interno della fotocamera: in questo caso, l'utilizzo di una fotocamera non metrica, obbliga

alla calibrazione della macchina fotografica mediante il software di calibrazione "Image Master Calib".

Questo software è stato progettato per ottenere i dati di calibrazione della fotocamera digitale che saranno utilizzati per catturare le immagini che verranno utilizzati per la misurazione 3D.

Al fine di ottenere precisi risultati di misurazione 3D a partire da immagini scattate, è necessario ottenere i parametri propri (Dati fotocamera) di tale macchina fotografica digitale, eseguendo la procedura di calibrazione in base alle stesse impostazioni applicate quando si scattano le immagini per le misurazioni.

Con questo software, si otterranno i seguenti 7 parametri:

- 1) Lunghezza focale delle lenti: f
- 2) Distorsione di lenti (direzione radiale): $K1, K2$
- 3) Distorsione di lenti (direzione tangenziale): $P1, P2$
- 4) Posizione del punto Principale del sensore della fotocamera: Xp, Yp .

Per eseguire la procedura di calibrazione, è stato stampato apposito modello in formato A0, successivamente fotografato da diverse posizioni e/o

direzioni. Le immagini così ottenute sono state inserite all'interno del programma per ottenere i 7 parametri di calibrazione contenuti all'interno di appositi certificati di calibrazione.

Nel caso specifico di studio sono stati elaborati tre certificati di calibrazione corrispondenti alle focali degli obiettivi utilizzati per le riprese fotografiche; gli obiettivi utilizzati sono stati: 18mm, 35 mm e 55 mm.

I 7 parametri ottenuti, sotto forma di certificati di calibrazione, sono stati salvati con il nome del file come: Project1.cmr per l'obiettivo da 18 mm; Project2.cmr per l'obiettivo da 55 mm; Project3.cmr per l'obiettivo da 35 mm.

Effettuata la fase di calibrazione si passa nella pratica con lo scatto delle foto nelle varie posizioni e direzione. L'area di sovrapposizione tra un fotogramma e l'altro non dovrà essere inferiore al 60% e sarà possibile girare intorno all'oggetto da rilevare in modo da creare un modello fotografico a 360°. Affinchè vi siano una netta correlazione tra fotogramma e certificato di calibrazione sarà necessario attribuire ad ogni scatto il relativo obiettivo focale utilizzato.

Inoltre nella fase di campagna sono stati rilevati, con stazione totale, diversi punti di appoggio utilizzati per la successiva fase di restituzione fotogrammetrica.

I punti, con coordinate x, y e z, mantengono una relazione spaziale corretta fra di loro permettendo, così, la creazione futura delle cosiddette "coppie stereoscopiche".

Durante la fase di elaborazione dati dei punti di appoggio, questi sono stati interpolati con l'elaborazione dei dati del rilievo GPS in modo che fossero correlati ad un'unico sistema di riferimento (WGS84).

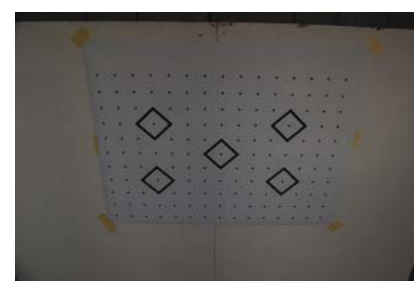
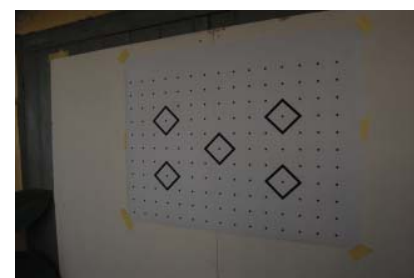
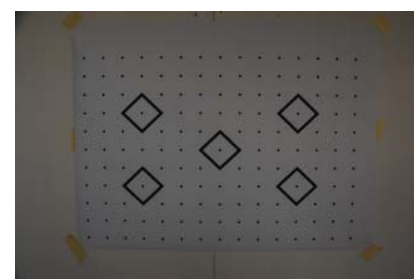
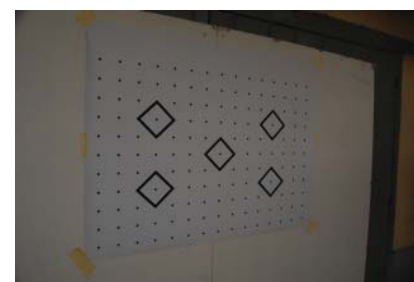
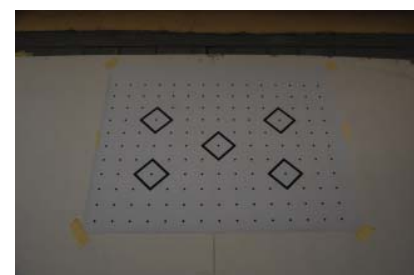
Dopo la fase di campagna si passa a quella di inserimento dati, immagini ed elaborazione dati.

Con l'ausilio del software ImageMaster PHOTO si passa alla fase di creazione di un nuovo lavoro, mediante l'inserimento delle foto e dei relativi certificati di calibrazione.

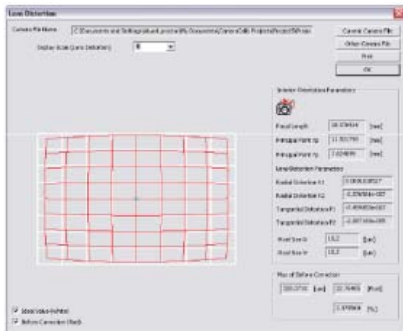
La fase successiva prevede l'individuazione dei punti omologhi, ovvero si passa alla fase dell'Orientamento Relativo.

Questa fase prevede il selezionamento delle immagini per effettuare la creazione delle stereocoppie⁴.

Creato il modello stereoscopico si passerà alla individuazione dei punti omologhi; lo stesso punto dovrà essere individuato su entrambi i fotogrammi in modo da poter effettuare il matching⁵ corrispondente. I punti omologhi seguiranno una numerazione progressiva e di volta in volta si



8.5 - Target per calibrazione fotocamera



procederà al loro calcolo di verifica; questi dovranno essere in numero non inferiore a 8/9 distribuiti sull'area di sovrapposizione di ogni singola stereocoppia, meglio se in prossimità dei punti di appoggio.

Questi punti sono collimati come se fossero GCP⁶, ma mancano delle informazioni numeriche delle tre coordinate: essi stabiliscono una relazione oggettiva tra punti omologhi sulle due foto.

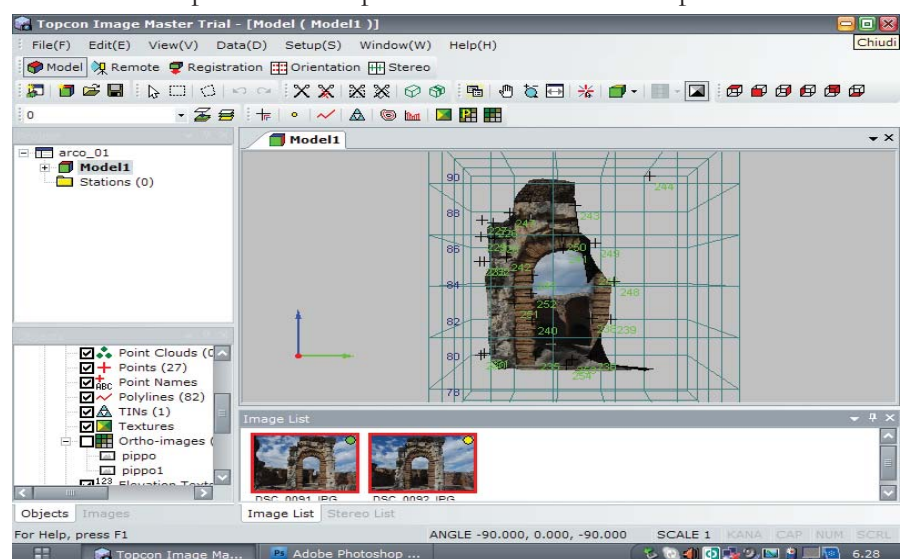
Individuati detti punti si passerà alla fase di verifica dell'orientamento relativo, il software permette di calcolare l'errore di parallasse⁷ e affinché si ottenga un buon risultato questi dovrà essere inferiore ad 1 pixel.

Dopo l'orientamento relativo si passa alla fase dell'orientamento assoluto. Per effettuare tale fase sarà necessario importare i file di testo con estensione .txt delle coordinate dei punti di appoggio preventivamente rilevati. Inserite le coordinate dei punti il programma genera in automatico un modello tridimensionale in cui è possibile visualizzare la posizione spaziale dei punti preventivamente digitati sulle foto (punti omologhi). Ripetendo l'operazione di calcolo per i punti di appoggio e verificato che il loro errore di parallasse e coordinate immagini sia inferiore di 1 pixel sarà possibile determinare il modello definitivo dell'oggetto da rilevare.

In particolar modo selezionando la coppia stereoscopica con sopra indicati i punti di appoggio si potrà estrapolare il TIN⁸.

Inoltre dopo la creazione del modello tridimensionale dal programma è possibile estrapolare il modello a curve di livello; stabile diversi piani di sezione ed esportare file in formato .dxf le sezioni del modello preventivamente creato.

Dal modello è possibile estrapolare ortofoto secondo i piani desiderati.



8.6 - Certificato di calibrazione fotocamera

8.7 - Elaborazione dati con Image Master Photo

8.3. Registrazione ed elaborazione dei dati per il rilievo scanner laser

Il rilievo laser scanner, nella complessità del contesto archeologico, si prefigge di, riducendo il tempo di lavoro, restituire l'oggetto da rilevare nelle sue tre dimensioni.

Il rilievo del complesso archeologico è stato effettuato utilizzando un laser scanner terrestre, senza contatto ad alta velocità, CAM2 laser scanner Focus3D.

Questo scanner rappresenta un efficace dispositivo per la misurazione e la documentazione tridimensionale. Il risultato della scansione è una nuvola di punti 3D in grado di restituire immagini 3D dettagliate e precise dell'oggetto che si è rilevato.

Il CAM2 laser scanner Focus3D⁹ è molto più di un semplice strumento di misura professionale oltre alle dimensioni compatte e alla facilità di trasporto e di configurazione si caratterizza per un principio di funzionamento molto intuitivo e facile da capire.

Inoltre la fotocamera digitale integrata scatta fotografie che possono essere utilizzate per attribuire alla nuvola di punti dei valori di colore realistici. Tutte queste caratteristiche permettono di utilizzare il CAM2 laser scanner Focus3D in molti campi.

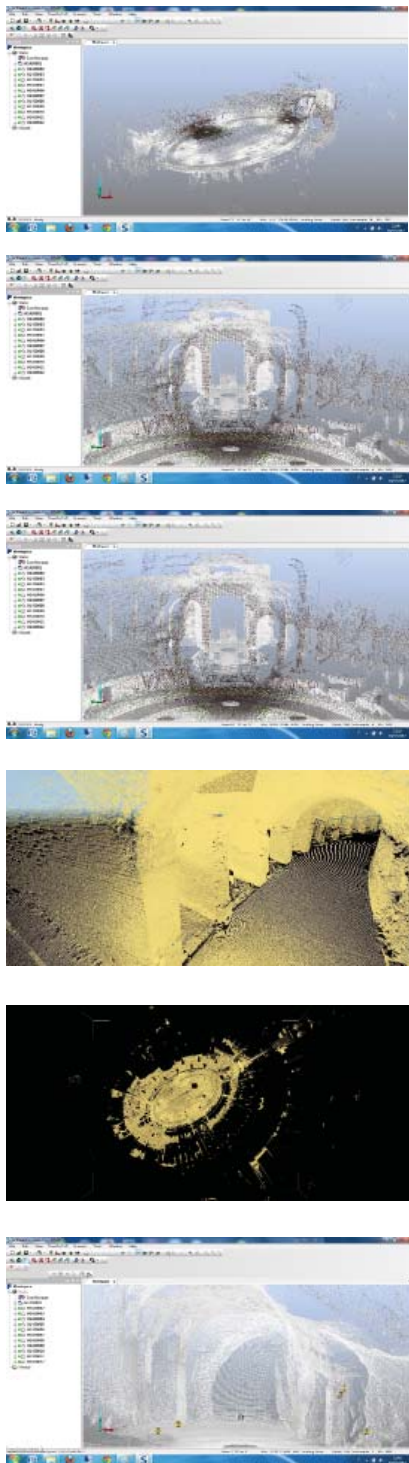
Dopo aver acceso e collegato lo scanner è possibile cominciare immediatamente le scansioni senza dover compiere nessuna altra operazione di preparazione. Il pulsante "Start Scan", che permette di avviare la scansione, è posto al centro del display touchscreen¹⁰; per avviare la scansione è sufficiente premere il pulsante. Prima però bisogna controllare le impostazioni correnti attraverso il menù a discesa posto sul display. È possibile visualizzare tutti i dati del progetto di lavoro, nonché tutti i parametri del profilo attivo e relativi parametri di scansione. Si tratta delle impostazioni di risoluzione e qualità, viene anche visualizzata la durata prevista del processo di scansione. La distanza minima, cui posizionarsi, per evitare lesioni agli occhi è sempre indicata. Si potrebbe descrivere l'area pericolosa intorno allo scanner come un cilindro in cui la distanza minima radiale è pari al raggio del cilindro mentre la distanza minima assiale è uguale all'asse longitudinale del cilindro a partire dal centro dello specchio.

È possibile modificare il profilo o regolare le impostazioni dei parametri direttamente dal menù in base alle proprie esigenze: ad esempio per velocizzare il processo di scansione è possibile diminuire la qualità. Prima

8.8 - Scanner laser

8.9 - Uno dei target sferici di rilievo





8.10 - Alcune elaborazioni delle nuvole di punti

di attivare lo scanner occorre indossare gli occhiali di protezione per il laser e delimitare l'area di sicurezza in modo che sia facilmente visibile da chiunque. A questo punto è possibile avviare lo scanner. Mentre il laser è in funzione, i led lampeggiano, il display mostra l'avanzamento dell'operazione, l'intera area circostante è digitalizzata, dopo una rotazione di 360°, a seconda delle impostazioni, lo scanner continua a ruotare salvando le foto a colori tramite la fotocamera digitale integrata. In seguito è possibile che il dispositivo effettui una ulteriore rotazione per la calibrazione degli inclinometri. Un segnale acustico indica il completamento della scansione, il risultato viene visualizzato sul display. È possibile ingrandire l'immagine ed osservare in dettaglio aree specifiche. I dati della scansione vengono archiviati su di una scheda di memoria SD. Per effettuare una registrazione tridimensionale completa di una struttura è necessario eseguire numerose scansioni da postazioni differenti per cui per il lavoro di scansione dell'anfiteatro abbiamo usato il seguente materiale: lo scanner, occhiali protettivi, batteria e batteria supplementare e treppiede per il posizionamento nei vari punti di stazione. Per il nostro progetto sono indispensabili ulteriori target (sferici o piani), quando si lavora in aree pubbliche è preferibile delimitare l'area di lavoro, ed installare apposita cartellonistica per la sicurezza rispetto al laser. Per avere una buona panoramica di tutte le scansioni necessarie occorre strutturare attentamente il progetto; è consigliabile raggruppare i files associati in folder, cartelle di progetto. È possibile creare la struttura dei folder direttamente sullo scanner. Il programma "CAM2 SCENE"¹¹ consente di registrare ed analizzare in un secondo momento i dati delle scansioni. Le strutture dei folder ed i nomi dei files principali utilizzati in ogni progetto sono definiti in anticipo. Nel nostro esempio è stato utile distinguere le scansioni interne da quelle esterne. Risoluzione e qualità sono i parametri che determinano la dimensione dei files e la durata delle scansioni, gli altri parametri delle scansioni riguardano le operazioni per la scansione a colori e le impostazioni dei filtri; un progetto così impostato viene richiamato dalla scheda SD sullo scanner. Per ottenere un risultato generale completo è consigliabile visionare in anticipo l'oggetto e individuare le diverse posizioni per la scansione, una planimetria dell'oggetto facilita l'individuazione di queste postazioni. Per i progetti costituiti da molteplici scansioni i target sono necessari in quanto oggetto di riferimento che consentono l'assemblaggio successivo delle singole scansioni in una nuvola globale. Per un assemblaggio preciso sono necessari quattro/cinque target che si sovrappongono nella scansione vicina. I target possono essere sfere o piani stampati su carta con un disegno a scacchi.

Dopo aver effettuato i preparativi, basta posizionare lo scanner, attraverso il treppiede, sul primo punto di stazionamento, impostare l'altezza strumentale in modo che il campo visivo copra quanto più possibile l'oggetto. E' necessario effettuare le operazioni di scansione sempre nella massima sicurezza. Le diverse scansioni effettuate nelle diverse posizioni ed angolazioni hanno reso acquisito l'anfiteatro in tutta la sua interezza. Durante lo spostamento da una stazione all'altra lo scanner non è stato mai spento ma si è provveduto affinché fosse assicurata la posizione verticale evitando colpi ed urti. Dopo aver effettuato tutte le scansioni premere il pulsante di alimentazione per spegnere lo scanner, contestualmente tutti i dati sono stati salvati nella scheda di memoria SD.

I dati immagazzinati vengono elaborati con il software "CAM2 SCENE", la struttura del progetto creata in anticipo facilita la registrazione delle singole scansioni in un unico modello 3D. Dopo la memorizzazione, le singole scansioni non presentano nessuna relazione spaziale l'una con l'altra. Il processo che stabilisce questa disposizione spaziale viene definito "registrazione", per prima cosa è necessario conoscere i riferimenti presenti nelle scansioni. I riferimenti corrispondenti sono individuati nelle scansioni in modalità automatica, non sempre funzionante, oppure in modalità manuale, fase operativa consigliata. I riferimenti, come già detto, sono individuabili attraverso le sfere oppure nei punti d'angolo o in altri individuabili nelle scansioni. Attraverso i punti di riferimento corrispondenti è possibile determinare la posizione e l'orientamento di ciascuna scansione rispetto alle altre. È possibile effettuare la colorazione delle nuvole dopo averle collegate tra di loro, in modalità automatica o manuale, facendo sovrapporre i target piani o sferici l'uno sull'altro. Il risultato è una nuvola di punti allineati dell'oggetto della scansione. Grazie al supporto delle numerose funzionalità di CAM2 SCENE nello spazio virtuale è possibile effettuare ulteriori misurazioni geometriche di ogni tipo. È possibile trasferire le nuvole di punti ad un programma CAD e utilizzarle come base per la modellazione oppure estrapolare ortofoto.

Note

¹ La tecnica VRS è una soluzione di rete che utilizza il dato ricevuto da tutte le stazioni permanenti attive come base di calcolo per stimare e calcolare la correzione migliore da fornire all'utente sul campo, piuttosto che operare trasmettendo i dati provenienti dalla stazione permanente più vicina.

² L'accuratezza si indica con il termine RMS (Root Mean Square Error) e si compone generalmente di due parti, per tenere conto della degradazione di tale parametro all'aumentare della distanza tra rover e base. In particolare, il primo termine esprime l'entità dell'errore di posizionamento planimetrico (σ_{Hor}) a distanza zero dalla base, mentre il secondo termine (ppm, parti per milione) esprime l'errore aggiuntivo man mano che ci allontaniamo dalla base.

³ Cfr. Rete Regionale GNSS, in [http:// http://gps.sit.regione.campania.it/index-main.php](http://gps.sit.regione.campania.it/index-main.php).

⁴ Stereocoppia: Insieme delle due immagini R e L che costituiscono una immagine stereoscopica.

⁵ L'elaborazione di immagini digitali stereoscopiche avviene automaticamente con procedure di image matching basate sul riconoscimento di forme, intensità di toni di grigio o colore di zone corrispondenti delle immagini.

⁶ GCP, Ground Control Point, nella pratica vengono collimati i punti a terra, raccolti con la stazione totale, inserendo le coordinate x, y e z.

⁷ Parallasse è l'angolo sotteso da un punto oggetto nella visione binoculare.

⁸ TIN: Triangulated Irregular Network.

⁹ <http://www.faro.com/>

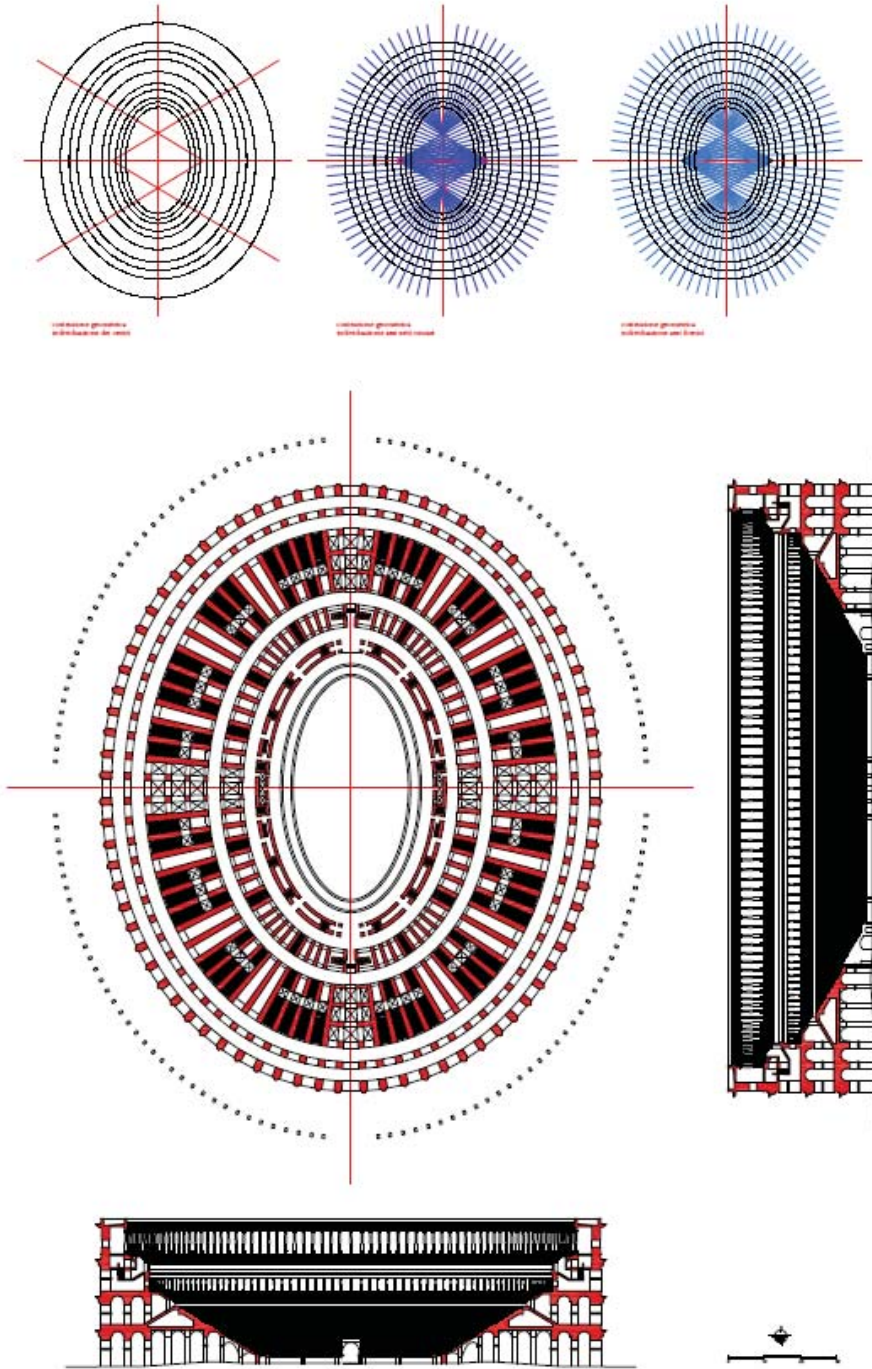
¹⁰ Touchscreen o schermo tattile, è un particolare dispositivo frutto dell'unione di uno schermo ed un digitalizzatore, che permette all'utente di interagire con una interfaccia grafica mediante le dita o particolari oggetti. Uno schermo tattile è allo stesso tempo un dispositivo di output e di input.

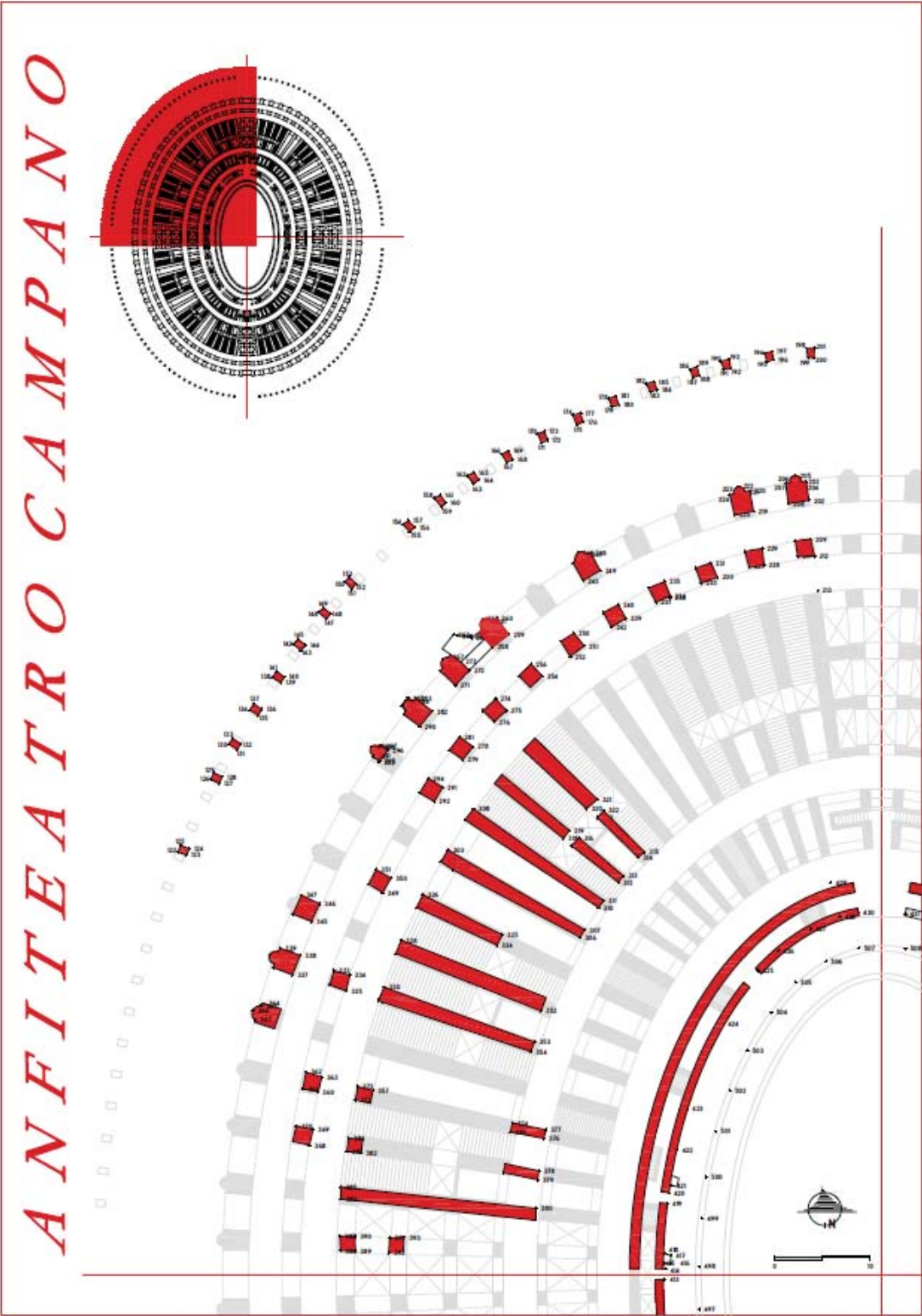
¹¹ <http://www.faro.com/it-IT/prodotti/rilievo-3d/laser-scanner-cam2-focus-3D/software#main>

APPENDICE

ELABORATI GRAFICI

ANFITEATRO CAMPANO





ANFITEATRO CAMPANO

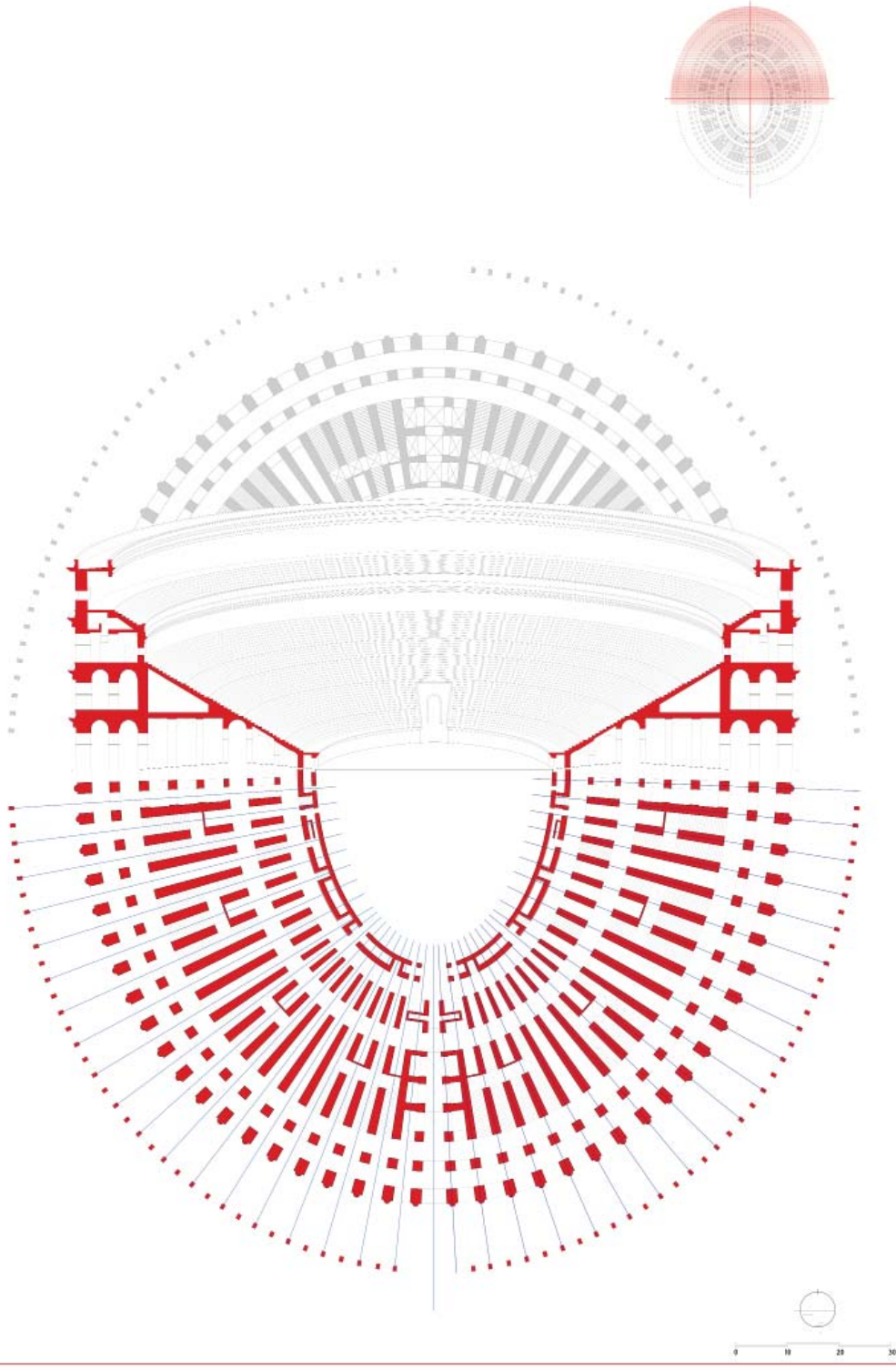
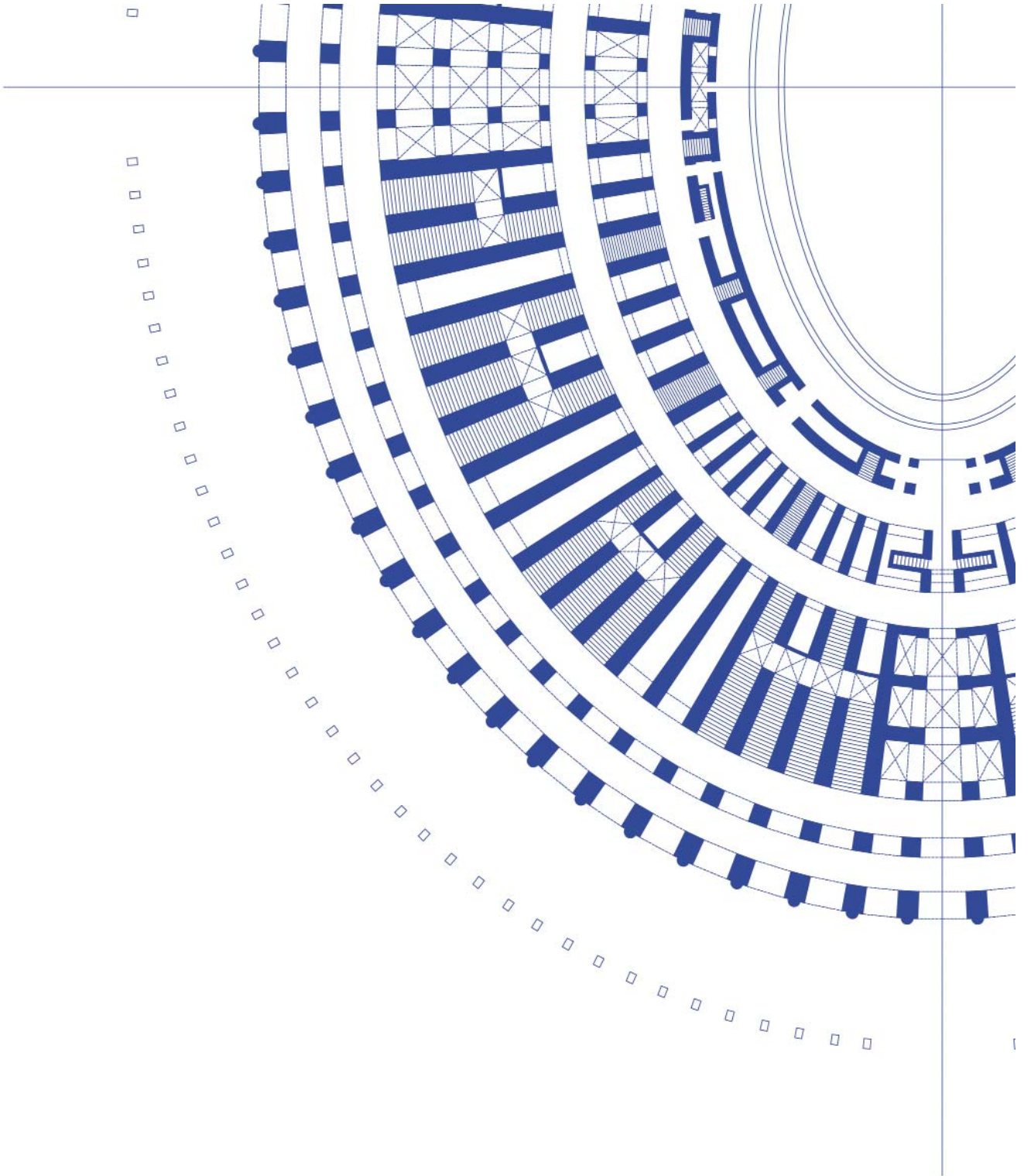


TAVOLA 3

APPENDICE

ELABORATI NUMERICI



LIBRETTO

FILE

: Anfiteatro

Nome	Codice / Identificativo	Coord. Nord (X)	Coord. Est (Y)	Quota
1	Pilastro	4548471.236	437009.676	79.525
2	Pilastro	4548472.084	437009.827	79.551
3	Pilastro	4548472.220	437009.128	79.492
4	Pilastro	4548471.293	437008.996	79.503
5	Pilastro	4548472.187	437005.384	79.525
6	Pilastro	4548472.941	437005.610	79.620
7	Pilastro	4548473.197	437005.052	79.642
8	Pilastro	4548472.362	437004.729	79.620
9	Pilastro	4548487.922	436967.441	79.476
10	Pilastro	4548488.575	436968.049	79.454
11	Pilastro	4548489.147	436967.463	79.453
12	Pilastro	4548488.387	436966.862	79.438
13	Pilastro	4548571.862	436931.892	79.195
14	Pilastro	4548571.970	436932.981	79.349
15	Pilastro	4548572.807	436933.030	79.201
16	Pilastro	4548572.797	436931.962	79.060
17	Pilastro	4548593.250	436934.255	79.106
18	Pilastro	4548593.042	436935.250	79.122
19	Pilastro	4548593.720	436935.438	79.043
20	Pilastro	4548594.048	436934.546	79.102
21	Pilastro	4548597.402	436935.170	78.818
22	Pilastro	4548597.161	436936.044	79.046
23	Pilastro	4548597.856	436936.280	79.065
24	Pilastro	4548598.161	436935.313	79.109
25	Pilastro	4548601.433	436936.075	78.937
26	Pilastro	4548601.216	436936.932	79.002
27	Pilastro	4548601.942	436937.190	78.759
28	Pilastro	4548602.259	436936.327	78.971
29	Pilastro	4548605.394	436937.232	78.861
30	Pilastro	4548605.103	436938.080	78.569
31	Pilastro	4548605.737	436938.289	78.878
32	Pilastro	4548605.996	436937.407	78.882
33	Pilastro	4548609.265	436938.410	78.933
34	Pilastro	4548609.000	436939.396	78.720
35	Pilastro	4548609.694	436939.589	78.684
36	Pilastro	4548610.072	436938.693	78.999
37	Pilastro	4548620.864	436943.983	79.203
38	Pilastro	4548620.413	436944.799	79.190
39	Pilastro	4548620.998	436945.277	79.194
40	Pilastro	4548621.585	436944.479	79.061

41	Pilastro	4548624.601	436946.018	78.873
42	Pilastro	4548624.040	436946.762	79.240
43	Pilastro	4548624.705	436947.245	79.260
44	Pilastro	4548625.249	436946.418	79.213
45	Pilastro	4548660.689	437041.706	79.060
46	Pilastro	4548659.860	437041.292	79.291
47	Pilastro	4548659.489	437041.888	79.066
48	Pilastro	4548660.327	437042.398	79.161
49	Pilastro	4548658.786	437045.505	79.141
50	Pilastro	4548657.951	437045.085	79.295
51	Pilastro	4548657.593	437045.750	79.298
52	Pilastro	4548658.425	437046.234	79.172
53	Pilastro	4548656.793	437049.302	79.148
54	Pilastro	4548656.049	437048.817	79.289
55	Pilastro	4548655.597	437049.410	79.224
56	Pilastro	4548656.343	437050.008	79.172
57	Pilastro	4548654.681	437052.747	79.211
58	Pilastro	4548653.905	437052.226	79.217
59	Pilastro	4548653.432	437052.829	79.259
60	Pilastro	4548654.116	437053.427	79.213
61	Pilastro	4548652.513	437056.354	79.114
62	Pilastro	4548651.763	437055.843	79.230
63	Pilastro	4548651.317	437056.426	79.216
64	Pilastro	4548652.059	437057.034	79.147
65	Pilastro	4548650.054	437059.759	79.171
66	Pilastro	4548649.277	437059.278	79.142
67	Pilastro	4548648.818	437059.818	79.173
68	Pilastro	4548649.573	437060.423	79.125
69	Pilastro	4548647.475	437063.213	78.995
70	Pilastro	4548646.678	437062.702	78.948
71	Pilastro	4548646.181	437063.112	78.997
72	Pilastro	4548646.803	437063.843	78.926
73	Pilastro	4548644.561	437066.060	78.935
74	Pilastro	4548643.885	437065.356	79.040
75	Pilastro	4548643.301	437065.789	79.038
76	Pilastro	4548643.954	437066.598	79.030
77	Pilastro	4548641.518	437069.229	79.067
78	Pilastro	4548640.960	437068.433	79.133
79	Pilastro	4548640.369	437068.797	79.099
80	Pilastro	4548640.844	437069.645	79.083
81	Pilastro	4548638.605	437071.987	79.215
82	Pilastro	4548637.904	437071.342	79.284
83	Pilastro	4548637.346	437071.797	79.249
84	Pilastro	4548638.015	437072.503	79.223
85	Pilastro	4548635.466	437074.821	79.257

86	Pilastro	4548634.779	437074.072	79.209
87	Pilastro	4548634.261	437074.522	79.148
88	Pilastro	4548634.830	437075.364	79.148
89	Pilastro	4548632.231	437077.517	79.052
90	Pilastro	4548631.704	437076.816	79.219
91	Pilastro	4548631.082	437077.195	79.129
92	Pilastro	4548631.555	437077.995	79.262
93	Pilastro	4548621.261	437083.771	79.153
94	Pilastro	4548620.719	437082.942	79.239
95	Pilastro	4548620.124	437083.316	79.224
96	Pilastro	4548620.556	437084.145	79.154
97	Pilastro	4548617.573	437085.580	78.957
98	Pilastro	4548617.168	437084.665	79.197
99	Pilastro	4548616.400	437084.786	79.257
100	Pilastro	4548616.842	437085.817	78.962
101	Pilastro	4548613.890	437086.982	79.057
102	Pilastro	4548613.428	437086.193	79.131
103	Pilastro	4548612.782	437086.435	79.179
104	Pilastro	4548613.076	437087.359	79.176
105	Pilastro	4548610.403	437088.461	79.178
106	Pilastro	4548610.026	437087.680	79.245
107	Pilastro	4548609.314	437087.843	79.319
108	Pilastro	4548609.272	437087.940	79.222
109	Pilastro	4548609.624	437088.801	79.193
110	Pilastro	4548606.639	437089.714	79.236
111	Pilastro	4548606.260	437088.813	79.284
112	Pilastro	4548605.586	437089.070	79.213
113	Pilastro	4548605.854	437090.006	79.298
114	Pilastro	4548602.640	437090.936	79.228
115	Pilastro	4548602.274	437090.140	79.221
116	Pilastro	4548601.585	437090.316	79.227
117	Pilastro	4548601.895	437091.229	79.130
118	Pilastro	4548598.902	437092.111	79.232
119	Pilastro	4548598.615	437091.278	79.307
120	Pilastro	4548597.878	437091.401	79.316
121	Pilastro	4548598.118	437092.387	79.274
122	Pilastro	4548524.425	437087.636	79.108
123	Pilastro	4548524.756	437086.771	79.387
124	Pilastro	4548524.108	437086.490	79.370
125	Pilastro	4548523.693	437087.406	79.312
126	Pilastro	4548516.805	437084.254	79.117
127	Pilastro	4548517.258	437083.366	79.423
128	Pilastro	4548516.522	437083.035	79.393
129	Pilastro	4548516.095	437083.923	79.247
130	Pilastro	4548513.100	437082.378	79.192

131	Pilastro	4548513.697	437081.496	79.331
132	Pilastro	4548513.070	437081.126	79.262
133	Pilastro	4548512.513	437081.950	79.140
134	Pilastro	4548509.536	437080.184	79.261
135	Pilastro	4548510.100	437079.314	79.345
136	Pilastro	4548509.446	437078.933	79.342
137	Pilastro	4548508.869	437079.767	79.280
138	Pilastro	4548506.104	437077.824	79.203
139	Pilastro	4548506.658	437076.932	79.323
140	Pilastro	4548506.051	437076.574	79.241
141	Pilastro	4548505.470	437077.374	79.211
142	Pilastro	4548502.594	437075.634	79.226
143	Pilastro	4548503.265	437074.858	79.298
144	Pilastro	4548502.736	437074.366	79.232
145	Pilastro	4548502.075	437075.138	79.201
146	Pilastro	4548499.263	437072.998	79.266
147	Pilastro	4548499.988	437072.179	79.138
148	Pilastro	4548499.397	437071.717	79.066
149	Pilastro	4548498.807	437072.498	79.113
150	Pilastro	4548496.047	437070.241	79.177
151	Pilastro	4548496.834	437069.552	79.225
152	Pilastro	4548496.268	437069.086	79.213
153	Pilastro	4548495.566	437069.783	79.187
154	Pilastro	4548490.032	437064.193	79.273
155	Pilastro	4548490.791	437063.501	79.406
156	Pilastro	4548490.346	437062.934	79.360
157	Pilastro	4548489.629	437063.626	79.367
158	Pilastro	4548487.295	437060.919	79.247
159	Pilastro	4548488.202	437060.145	79.487
160	Pilastro	4548487.750	437059.733	79.248
161	Pilastro	4548486.930	437060.296	79.071
162	Pilastro	4548484.931	437057.448	79.146
163	Pilastro	4548485.765	437056.829	79.426
164	Pilastro	4548485.334	437056.274	79.374
165	Pilastro	4548484.549	437056.771	79.166
166	Pilastro	4548482.657	437053.891	79.146
167	Pilastro	4548483.522	437053.346	79.364
168	Pilastro	4548483.188	437052.749	79.380
169	Pilastro	4548482.306	437053.174	79.365
170	Pilastro	4548480.499	437050.140	78.990
171	Pilastro	4548481.457	437049.714	79.277
172	Pilastro	4548481.180	437049.116	79.329
173	Pilastro	4548480.257	437049.426	79.414
174	Pilastro	4548478.535	437046.461	79.117
175	Pilastro	4548479.563	437046.041	79.376

176	Pilastro	4548479.234	437045.383	79.376
177	Pilastro	4548478.326	437045.649	79.402
178	Pilastro	4548476.800	437042.687	79.431
179	Pilastro	4548477.652	437042.333	79.388
180	Pilastro	4548477.457	437041.653	79.335
181	Pilastro	4548476.530	437041.940	79.365
182	Pilastro	4548475.218	437038.770	79.441
183	Pilastro	4548476.077	437038.335	79.403
184	Pilastro	4548475.853	437037.641	79.364
185	Pilastro	4548475.014	437037.980	79.407
186	Pilastro	4548473.710	437034.184	79.324
187	Pilastro	4548474.590	437033.911	79.404
188	Pilastro	4548474.361	437033.234	79.393
189	Pilastro	4548473.425	437033.459	79.510
190	Pilastro	4548472.881	437030.979	78.998
191	Pilastro	4548473.693	437030.655	79.405
192	Pilastro	4548473.593	437029.928	79.419
193	Pilastro	4548472.649	437030.083	79.476
194	Pilastro	4548471.998	437026.420	79.886
195	Pilastro	4548472.929	437026.162	79.548
196	Pilastro	4548472.690	437025.492	79.557
197	Pilastro	4548471.830	437025.631	79.515
198	Pilastro	4548471.513	437022.008	79.741
199	Pilastro	4548472.459	437021.878	79.548
200	Pilastro	4548472.499	437021.223	79.544
201	Pilastro	4548471.483	437021.191	79.612
202	Pilastro	4548487.428	437021.730	79.799
203	Pilastro	4548485.428	437022.038	79.790
204	Pilastro	4548485.442	437022.562	79.800
205	Pilastro	4548484.821	437023.171	79.783
206	Pilastro	4548485.614	437023.700	79.777
207	Pilastro	4548485.630	437024.189	79.766
208	Pilastro	4548487.798	437023.895	79.806
209	Pilastro	4548491.495	437021.551	79.853
210	Pilastro	4548491.696	437023.160	79.746
211	Pilastro	4548493.311	437022.896	79.675
212	Pilastro	4548493.281	437021.144	79.756
213	Pilastro	4548496.921	437020.804	79.873
214	Pilastro	4548494.156	437026.533	79.766
215	Pilastro	4548492.558	437026.623	79.735
216	Pilastro	4548492.811	437028.415	79.762
217	Pilastro	4548494.464	437027.978	79.683
218	Pilastro	4548489.004	437029.530	79.812
219	Pilastro	4548488.588	437027.528	79.748
220	Pilastro	4548486.493	437027.915	79.767

221	Pilastro	4548486.522	437028.464	79.784
222	Pilastro	4548486.017	437029.123	79.732
223	Pilastro	4548486.795	437029.567	79.753
224	Pilastro	4548486.864	437030.020	79.731
225	Pilastro	4548488.971	437029.505	79.765
226	Pilastro	4548492.815	437028.413	79.755
227	Pilastro	4548494.424	437027.924	79.701
228	Pilastro	4548494.232	437026.427	79.721
229	Pilastro	4548492.491	437026.611	79.739
230	Pilastro	4548495.504	437031.295	79.754
231	Pilastro	4548494.005	437031.991	79.714
232	Pilastro	4548494.565	437033.544	79.736
233	Pilastro	4548496.128	437032.991	79.752
234	Pilastro	4548497.438	437036.237	79.701
235	Pilastro	4548495.979	437036.836	79.802
236	Pilastro	4548496.651	437038.504	79.698
237	Pilastro	4548498.159	437037.714	79.666
238	Pilastro	4548497.663	437036.252	79.702
239	Pilastro	4548499.843	437040.881	79.942
240	Pilastro	4548498.390	437041.656	79.683
241	Pilastro	4548499.245	437043.206	79.664
242	Pilastro	4548500.757	437042.359	79.654
243	Pilastro	4548495.891	437045.356	79.657
244	Pilastro	4548494.044	437046.383	79.572
245	Pilastro	4548493.770	437046.164	79.575
246	Pilastro	4548492.937	437045.848	79.675
247	Pilastro	4548493.119	437044.918	79.673
248	Pilastro	4548492.999	437044.569	79.607
249	Pilastro	4548494.822	437043.550	79.683
250	Pilastro	4548501.400	437046.313	79.626
251	Pilastro	4548502.738	437045.215	79.635
252	Pilastro	4548503.856	437046.669	79.811
253	Pilastro	4548502.260	437047.646	79.582
254	Pilastro	4548505.891	437049.601	79.715
255	Pilastro	4548505.883	437052.028	79.576
256	Pilastro	4548504.655	437050.782	79.579
257	Pilastro	4548502.014	437055.617	79.642
258	Pilastro	4548502.891	437054.809	79.628
259	Pilastro	4548501.556	437053.109	79.625
260	Pilastro	4548499.856	437054.375	79.638
261	Pilastro	4548500.097	437054.865	79.559
262	Pilastro	4548499.932	437055.806	79.611
263	Pilastro	4548501.564	437058.878	75.459
264	Pilastro	4548501.685	437058.483	76.542
265	Pilastro	4548501.942	437057.023	79.693

266	Pilastro	4548501.764	437057.189	79.612
267	Pilastro	4548503.970	437059.428	79.553
268	Pilastro	4548504.200	437060.033	79.564
269	Pilastro	4548505.099	437060.031	79.585
270	Pilastro	4548505.406	437060.260	79.552
271	Pilastro	4548506.888	437058.674	79.595
272	Pilastro	4548505.351	437057.241	79.596
273	Pilastro	4548504.451	437058.104	79.580
274	Pilastro	4548508.310	437054.461	79.593
275	Pilastro	4548509.533	437053.353	79.525
276	Pilastro	4548510.694	437054.604	79.654
277	Pilastro	4548509.559	437055.801	79.687
278	Pilastro	4548513.341	437056.835	79.622
279	Pilastro	4548514.673	437057.891	79.673
280	Pilastro	4548513.705	437059.312	79.559
281	Pilastro	4548512.302	437058.223	79.599
282	Pilastro	4548509.612	437061.111	79.618
283	Pilastro	4548508.277	437062.795	79.583
284	Pilastro	4548508.571	437063.071	79.573
285	Pilastro	4548508.226	437063.654	79.574
286	Pilastro	4548508.568	437063.928	79.583
287	Pilastro	4548509.040	437064.338	79.571
288	Pilastro	4548509.561	437063.846	79.566
289	Pilastro	4548509.964	437064.079	79.571
290	Pilastro	4548511.204	437062.396	79.618
291	Pilastro	4548517.588	437060.000	79.609
292	Pilastro	4548519.094	437060.874	79.659
293	Pilastro	4548518.200	437062.410	79.604
294	Pilastro	4548516.669	437061.483	79.618
295	Pilastro	4548514.858	437066.594	79.579
296	Pilastro	4548513.708	437065.741	79.553
297	Pilastro	4548513.211	437066.446	79.550
298	Pilastro	4548513.403	437066.654	79.791
299	Pilastro	4548513.364	437067.453	79.559
300	Pilastro	4548514.255	437067.189	79.568
301	Pilastro	4548514.428	437067.279	79.564
302	Pilastro	4548514.931	437066.656	79.577
303	Pilastro	4548524.166	437059.428	79.581
304	Pilastro	4548525.399	437060.164	79.623
305	Pilastro	4548526.235	437058.913	80.226
306	Pilastro	4548533.292	437045.586	80.455
307	Pilastro	4548532.509	437045.123	80.484
308	Pilastro	4548519.850	437056.772	79.620
309	Pilastro	4548521.004	437057.656	79.653
310	Pilastro	4548530.170	437043.662	80.647

311	Pilastro	4548529.450	437043.125	80.707
312	Pilastro	4548527.534	437041.600	80.564
313	Pilastro	4548526.851	437041.087	80.588
314	Pilastro	4548524.914	437039.530	80.527
315	Pilastro	4548524.335	437038.880	80.494
316	Pilastro	4548522.890	437045.715	80.446
317	Pilastro	4548523.685	437046.524	80.054
318	Pilastro	4548522.931	437047.354	80.030
319	Pilastro	4548522.101	437046.723	80.413
320	Pilastro	4548519.808	437044.952	80.381
321	Pilastro	4548518.826	437043.811	79.035
322	Pilastro	4548519.999	437043.188	80.028
323	Pilastro	4548520.743	437043.803	80.364
324	Pilastro	4548534.136	437054.292	80.446
325	Pilastro	4548533.057	437053.719	80.474
326	Pilastro	4548528.873	437062.038	79.619
327	Pilastro	4548530.203	437062.695	79.597
328	Pilastro	4548533.622	437064.317	79.658
329	Pilastro	4548535.038	437064.852	79.631
330	Pilastro	4548538.557	437066.090	79.661
331	Pilastro	4548539.931	437066.651	79.602
332	Pilastro	4548540.134	437066.219	79.963
333	Pilastro	4548536.840	437071.315	79.657
334	Pilastro	4548537.323	437069.648	79.613
335	Pilastro	4548538.956	437070.036	79.656
336	Pilastro	4548538.348	437071.783	79.638
337	Pilastro	4548537.290	437075.677	79.589
338	Pilastro	4548535.244	437074.859	79.580
339	Pilastro	4548534.493	437076.941	79.590
340	Pilastro	4548534.898	437077.183	79.624
341	Pilastro	4548535.206	437078.038	79.590
342	Pilastro	4548536.097	437077.584	79.667
343	Pilastro	4548536.514	437077.671	79.617
344	Pilastro	4548530.902	437075.608	79.558
345	Pilastro	4548531.683	437073.683	79.597
346	Pilastro	4548529.812	437072.844	79.578
347	Pilastro	4548528.922	437074.740	79.585
348	Pilastro	4548527.760	437067.713	79.625
349	Pilastro	4548528.662	437066.244	79.622
350	Pilastro	4548527.113	437065.399	79.608
351	Pilastro	4548526.242	437066.916	79.639
352	Pilastro	4548541.039	437049.658	80.435
353	Pilastro	4548544.283	437050.364	80.522
354	Pilastro	4548545.294	437050.717	80.494
355	Pilastro	4548552.853	437052.600	80.531

356	Pilastro	4548553.658	437052.764	80.509
357	Pilastro	4548549.379	437067.228	80.340
358	Pilastro	4548548.985	437068.742	79.750
359	Pilastro	4548550.327	437069.133	79.712
360	Pilastro	4548549.586	437073.027	79.674
361	Pilastro	4548549.249	437074.567	79.694
362	Pilastro	4548547.489	437074.232	79.644
363	Pilastro	4548547.991	437072.574	79.695
364	Pilastro	4548540.319	437078.685	79.668
365	Pilastro	4548540.557	437078.935	79.658
366	Pilastro	4548541.024	437079.815	79.700
367	Pilastro	4548542.028	437079.563	80.117
368	Pilastro	4548555.139	437073.854	79.692
369	Pilastro	4548553.523	437073.477	79.705
370	Pilastro	4548553.129	437075.235	79.687
371	Pilastro	4548549.499	437072.916	79.393
372	Pilastro	4548550.374	437069.058	79.719
373	Pilastro	4548548.995	437068.808	79.708
374	Pilastro	4548552.790	437052.629	80.547
375	Pilastro	4548553.716	437052.872	80.529
376	Pilastro	4548554.406	437049.343	80.581
377	Pilastro	4548553.481	437049.156	80.499
378	Pilastro	4548557.800	437049.856	80.611
379	Pilastro	4548558.748	437049.971	80.669
380	Pilastro	4548561.721	437050.161	80.582
381	Pilastro	4548557.989	437053.549	80.530
382	Pilastro	4548555.921	437068.478	80.358
383	Pilastro	4548555.809	437069.955	79.740
384	Pilastro	4548554.419	437069.740	79.758
385	Pilastro	4548559.532	437070.588	79.752
386	Pilastro	4548560.793	437070.577	79.747
387	Pilastro	4548564.677	437070.668	79.716
388	Pilastro	4548566.184	437070.597	79.768
389	Pilastro	4548566.229	437069.050	79.632
390	Pilastro	4548564.701	437069.068	79.667
391	Pilastro	4548564.867	437065.459	79.811
392	Pilastro	4548566.407	437065.548	80.040
393	Pilastro	4548564.777	437063.940	79.840
394	Pilastro	4548606.378	437016.353	79.425
395	Pilastro	4548606.201	437017.171	79.462
396	Pilastro	4548605.879	437018.231	79.369
397	Pilastro	4548603.084	437023.471	79.471
398	Pilastro	4548600.312	437026.701	79.554
399	Pilastro	4548598.816	437027.930	79.634
400	Pilastro	4548594.453	437030.644	79.494

401	Pilastro	4548589.777	437032.835	79.592
402	Pilastro	4548589.468	437032.363	79.424
403	Pilastro	4548588.833	437032.551	79.573
404	Pilastro	4548589.017	437033.081	79.693
405	Pilastro	4548584.759	437034.596	79.519
406	Pilastro	4548584.088	437034.795	79.559
407	Pilastro	4548580.346	437035.662	79.662
408	Pilastro	4548580.286	437035.180	79.658
409	Pilastro	4548579.472	437035.261	79.653
410	Pilastro	4548579.458	437035.750	79.656
411	Pilastro	4548576.926	437036.244	79.549
412	Pilastro	4548575.934	437036.379	79.643
413	Pilastro	4548569.179	437036.672	79.804
414	Pilastro	4548568.048	437036.602	79.922
415	Pilastro	4548567.470	437036.734	79.655
416	Pilastro	4548567.514	437036.098	79.492
417	Pilastro	4548566.620	437036.016	79.455
418	Pilastro	4548566.451	437036.732	79.589
419	Pilastro	4548561.194	437036.374	79.597
420	Pilastro	4548560.071	437036.241	79.632
421	Pilastro	4548559.330	437035.929	79.837
422	Pilastro	4548555.586	437035.388	79.595
423	Pilastro	4548551.281	437034.314	79.585
424	Pilastro	4548542.302	437030.600	79.698
425	Pilastro	4548536.767	437026.972	79.475
426	Pilastro	4548534.686	437024.839	79.577
427	Pilastro	4548532.406	437021.489	79.716
428	Pilastro	4548531.058	437018.448	79.433
429	Pilastro	4548527.505	437019.400	79.837
430	Pilastro	4548530.706	437016.488	79.177
431	Pilastro	4548530.849	437011.591	79.391
432	Pilastro	4548528.012	437008.820	79.814
433	Pilastro	4548528.880	437009.110	79.788
434	Pilastro	4548530.699	437009.152	79.369
435	Pilastro	4548531.568	437009.297	79.394
436	Pilastro	4548531.951	437008.576	79.547
437	Pilastro	4548533.185	437006.307	79.474
438	Pilastro	4548534.940	437003.829	79.575
439	Pilastro	4548536.279	437002.342	79.638
440	Pilastro	4548537.261	437001.391	79.525
441	Pilastro	4548536.691	437000.615	79.475
442	Pilastro	4548535.408	436999.506	79.561
443	Pilastro	4548534.571	436998.603	79.795
444	Pilastro	4548536.271	436997.411	79.789
445	Pilastro	4548536.866	436998.295	79.625

446	Pilastro	4548537.896	436999.653	79.471
447	Pilastro	4548538.490	437000.251	79.502
448	Pilastro	4548541.318	436998.442	79.504
449	Pilastro	4548547.051	436995.224	79.526
450	Pilastro	4548550.170	436994.062	79.506
451	Pilastro	4548553.702	436992.998	79.482
452	Pilastro	4548555.454	436992.509	79.484
453	Pilastro	4548560.261	436991.660	79.419
454	Pilastro	4548560.121	436990.702	79.497
455	Pilastro	4548559.524	436989.005	79.801
456	Pilastro	4548559.337	436988.001	79.846
457	Pilastro	4548561.045	436987.782	79.821
458	Pilastro	4548561.135	436988.849	79.862
459	Pilastro	4548560.965	436990.667	79.485
460	Pilastro	4548561.087	436991.519	79.458
461	Pilastro	4548561.856	436991.487	79.423
462	Pilastro	4548561.964	436991.970	79.421
463	Pilastro	4548563.468	436991.951	79.417
464	Pilastro	4548563.444	436991.324	79.434
465	Pilastro	4548564.629	436991.237	79.405
466	Pilastro	4548565.806	436991.185	79.390
467	Pilastro	4548567.987	436991.093	79.458
468	Pilastro	4548569.263	436991.087	79.479
469	Pilastro	4548572.569	436991.206	79.480
470	Pilastro	4548575.983	436991.493	79.478
471	Pilastro	4548576.202	436990.597	79.503
472	Pilastro	4548576.504	436988.921	79.719
473	Pilastro	4548576.582	436987.791	79.918
474	Pilastro	4548577.497	436987.858	79.880
475	Pilastro	4548577.305	436988.900	79.698
476	Pilastro	4548577.051	436990.604	79.531
477	Pilastro	4548576.927	436991.590	79.467
478	Pilastro	4548578.128	436991.759	79.441
479	Pilastro	4548580.899	436992.313	79.344
480	Pilastro	4548583.891	436993.006	79.358
481	Pilastro	4548587.979	436994.204	79.360
482	Pilastro	4548592.341	436995.924	79.358
483	Pilastro	4548596.826	436998.417	79.416
484	Pilastro	4548598.897	436999.609	79.567
485	Pilastro	4548599.426	436999.009	79.599
486	Pilastro	4548600.286	436997.636	79.762
487	Pilastro	4548602.967	437013.868	79.270
488	Pilastro	4548602.671	437016.743	79.238
489	Pilastro	4548601.104	437019.995	79.246
490	Pilastro	4548599.089	437022.833	79.306

491	Pilastro	4548595.990	437025.635	79.271
492	Pilastro	4548592.493	437027.786	79.359
493	Pilastro	4548588.716	437029.582	79.386
494	Pilastro	4548584.926	437030.948	79.316
495	Pilastro	4548581.281	437031.811	79.330
496	Pilastro	4548577.077	437032.616	79.301
497	Pilastro	4548572.304	437033.047	79.435
498	Pilastro	4548567.793	437033.069	79.402
499	Pilastro	4548562.705	437032.778	79.447
500	Pilastro	4548558.396	437032.326	79.484
501	Pilastro	4548553.647	437031.354	79.352
502	Pilastro	4548549.350	437029.888	79.407
503	Pilastro	4548545.132	437028.058	79.355
504	Pilastro	4548541.133	437025.593	79.290
505	Pilastro	4548537.923	437023.011	79.325
506	Pilastro	4548535.743	437019.867	79.345
507	Pilastro	4548534.322	437016.418	79.367
508	Pilastro	4548534.436	437011.578	79.314
509	Pilastro	4548536.811	437007.126	79.074
510	Pilastro	4548539.402	437003.927	79.309
511	Pilastro	4548542.467	437001.797	79.255
512	Pilastro	4548545.828	436999.821	79.240
513	Pilastro	4548549.273	436998.247	79.354
514	Pilastro	4548553.797	436996.679	79.372
515	Pilastro	4548558.227	436995.619	79.298
516	Pilastro	4548564.372	436995.066	79.250
517	Pilastro	4548575.110	436995.118	79.342
518	Pilastro	4548580.095	436995.857	79.150

CONCLUSIONI



Conclusioni

La ricerca ha voluto verificare, su un caso di studio reale, le potenzialità delle moderne tecniche geomatiche (limiti e vantaggi, integrabilità, ecc.)

Lo studio vuole dare un contributo verso la definizione di metodologie e linee guida nel rilevamento per i Beni Culturali, necessarie per sistematizzare un'attività spesso frammentaria e non guidata da criteri scientifici nella scelta delle tecniche, delle tecnologie, delle procedure, dei prodotti finali più opportuni in situazioni molto diversificate.

Il lavoro illustrato fa riferimento soprattutto alle tecniche di rilevamento con stazione totale, rilevamento satellitare, fotogrammetria digitale e laser scanner, ma fa parte di una più ampia ricerca orientata all'integrazione di molteplici tecniche geomatiche. Soprattutto, per quanto riguarda il confronto ed il rapporto fra fotogrammetria digitale e laser, si vuole nuovamente sottolineare la ricchezza che un approccio integrato fra le due tecniche può portare, in termini di maggiore accuratezza e leggibilità dei prodotti finali; la fotogrammetria può aiutare la comprensione del dato laser e facilitare la pulitura del rumore e di quei dati che non possono essere eliminati in modo automatico dal software: la possibilità di texturizzare il modello con

Conclusioni

una foto orientata dell'oggetto permette di unire dato metrico e descrittivo.

In un approccio multi-disciplinare sta il futuro del rilievo nel campo dei Beni Culturali; la fusione in un unico sistema di riferimento di dati provenienti da diverse tecniche (fotogrammetria, GPS, telerilevamento, laser scanner) permette la lettura e la comprensione di ogni oggetto di interesse non solo come caso a sé, ma nel contesto in cui questo si trova, approfondendone le possibilità di studio e comprensione.

La possibilità di utilizzare il modello tridimensionale di un oggetto anche per scopi diversi dalla semplice documentazione e rappresentazione, come ad esempio, per valutazioni di tipo strutturale, diagnostica dei materiali, stato di degrado.

Infine lo studio condotto lascia pensare all'utilizzo combinato e soprattutto di compensazione di una strumentazione rispetto ad un'altra, in termini soprattutto di risultati finali e prodotto utile allo studio delle varie problematiche.

Bibliografia

Scritti sulla storia dell'Anfiteatro e Archeologia

- ADAM J. P., L'arte del costruire presso i romani, Longanesi, Milano, 2011.
- ADRIANI E., Storia del teatro antico, Carocci, Roma, 2005.
- BANDELLI B. R., Introduzione all'archeologia, Editori Laterza, Bari, 2011.
- BIANCHINI M., Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia, Aracne, Roma, 2008.
- BROCKETT O. G., Storia del teatro, Marsilio, Venezia, 1988.
- DOCCI M., Rilevamento integrato e modelli virtuali 3D: modellazione ed esplorazione interattiva dell'architettura e della città, Gangemi editori, Roma, 2004.
- DOCCI M., MIGLIARI R., Il rilevamento dell'Amphyteatrum Flavium, nuove conoscenze per il restauro, atti del seminario di studi, Arti tipografiche, Napoli, 1999.
- DOTTO E., Il disegno degli ovali armonici, Le nove muse editrice, Catania, 2002.
- GOLVIN J. C., Amphitheatre Romain. Essai sur la the orisation de sa forme et de ses fonctions. Diffusion de Boccard, Pris 1988.
- MANACORDA D., Prima lezione di archeologia, Editori Laterza, Bari, 2009.
- MANACORDA D., Lezioni di archeologia, Editori Laterza, Bari, 2008.
- MASCILLI M., Terra di lavoro i luoghi della storia, Elio sellino editore, Avellino, 2009.

- MEDRI M., Manuale di rilievo archeologico, Editori Laterza, Bari, 2008.
- MORACHIELLO P. - FONTANA V., L'architettura nel mondo romano, La terza, Bari, 2009.
- RENFER C., BAHN P., L'essenziale di archeologia, Zanichelli, Bologna, 2009.
- ROMANO P., NAPOTILANO P., Colosseo, Electa, Milano, 2012.
- SIRANO F., Il teatro di Teanum Sidicinum, Lavieri, Cava dei Tirreni, 2011.
- VALERIO V., Sul disegno e sulla forma degli anfiteatri in Disegnare idee immagini, 1993.
- ZERLENGA O., Il tracciamento delle "forme ovali" nella trattistica del XVI secolo. La pratica del "filo" e del " compasso", in "XY-dimensioni del disegno", 1996.

Scritti sulla storia dell'Anfiteatro di Capua

- AA.VV., Il Mediterraneo e la Storia. Epigrafia e archeologia in Campania: letture storiche. Luciano Editore, Napoli, 2012.
- AA.VV., Itinerari storici ed artistici in Terra di Lavoro, Edizioni Athena, Napoli, 1995.
- ALVINO F., Anfiteatro campano, restaurato ed illustrato dall'architetto Francesco Alvino, Stamperia e Cartiera del Fibreno, Napoli, 1833.
- CHIOFFI L., Il mediterraneo e la storia, Luciano Editori, Napoli, 2010.
- CORVESE F. - TESCIONE G., Itinerari storici artistici in Terra di Lavoro, Ed. Athena, Napoli, 1995.
- DE CARO S., La terra nera degli antichi campani., Guida archeologica della provincia di Caserta, prisma editrice politecnica napoli, Napoli, 2012.
- DE LAURENTIS M., Descrizione dello stato antico e moderno dell'anfiteatro campano, Tip. di Angelo Coda, Napoli, 1835.
- LICATESE A. P., Capua Antica, Edizioni Spartaco, Santa Maria Capua Vetere, 1997.
- OLIVIERO E., Pippo e la pietra, Grafica sammarinese, S. Maria C.V., 2009.
- PESCE G., I rilievi dell'anfiteatro campano, Governatorato di Roma, Roma, 1941.
- PUGLIESE CARRATELLI G., Storia e civiltà della Campania. L'Evo antico, Electa Napoli, Napoli, 1992.
- ROMANO M. - RICCIARDI F., Storia di Capua Antica e del suo Anfiteatro, Ed. Spartaco, S. Maria C.V., 1999.
- RUCCA G., Descrizione di tutti i monumenti di Capua Antica, Arnaldo Forni Editore, 1990.

Scritti sul rilievo e rappresentazione

- BACULO G. A., Quattro lezioni di disegno e rilievo, Liguori, Napoli, 1985.
- BACULO G. A., Architettura ed informatica, Electa Napoli, Napoli, 2000.
- BACULO G. A., Ermeneutica e disegno, in Baculo G. A., di Luggo A., Florio R., Napoli versus coelum La città e le sue cupole, Electa Napoli, Napoli, 1999.
- BENEVOLO L., Introduzione all'architettura, Laterza, Bari, 1960.
- CAMPI M., L'indagine multimediale della forma, Editrice Gaia, Npoli, 2007.
- CAMPI M., Disegno+Digitale, Editrice Gaia, Npoli, 2007.
- Capone M., Prospettiva e misura, Arte tipografica Editrice, Napoli, 2005.
- DE CARLO L. (a cura di), Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione, Gangemi Editore, 2007.
- DE FIORE G., Disegnare per conoscere, Il pensiero scientifico Editore, Roma, 1960.
- DE FIORE G., voce disegno in Dizionario del Disegno, Edizione La Scuola, Brescia, 1967.
- DE RUBERTIS R., Ermeneusi in De Rubertis R., Soletti A., Ugo V. (a cura di), Temi e codici del disegno d'architettura, Officina, Roma, 1992.
- DE RUBERTIS R., Il disegno dell'architettura, Edizione NIS, Roma, 1994.
- DE SIMONE M., Disegno, Rilievo, Progetto, Edizione NIS, Roma, 1990.
- DELL'AQUILA M., La rappresentazione del progetto di architettura, Giannini, Napoli, 1990.
- DELL'AQUILA M., Il luogo della geometria, Arte Tipografica, Napoli, 1999.
- DOCCI M., MIGLIARI R., Scienza della rappresentazione, Edizione NIS, Roma, 1992.
- DONGHI D. (a cura di), Manuale dell'architetto, Unione tipografico-Editrice torinese, Roma-Torino-Napoli, 1923 (I ediz. 1894).
- ECO U., I limiti dell'interpretazione, Bompiani, Milano, 1990.
- FLORIO R., Un'esperienza di conoscenza. Disegno e rappresentazione dell'architettura, Officina Edizioni, Roma, 2004.
- FLORIO R., Origini, evoluzioni e permanenze della classicità in architettura, Officina Edizioni, Roma, 2004.
- GIL F., voce rappresentazione, Enciclopedia Einaudi, Torino, 1980.
- KOENING G.K., Architettura e comunicazione, Libreria Editrice

- Fiorentina, Firenze, 1974.
- GRASSI G., *La costruzione logica dell'architettura*, Marsilio, Padova, 1967
- GREGOTTI V., *Tre forme di architettura mancata*, Einaudi, Torino, 2010
- GUILLERME J., *La figuration graphique en architecture*, 1981; ediz. it. G. Lopez, *La figurazione in architettura*, Milano, 1982.
- MEZZETTI C., *Il rilievo come strumento didattico pedagogico*, in A.A.V.V., *Il disegno, analisi di un linguaggio*, Roma, 1975, Munari B., *Fantasia*, Laterza, Bari, 1995 (I ediz. 1977).
- NERI G., *Le scale della rappresentazione: il linguaggio architettonico dall'unità al frammento*, in A.A.V.V., *Nel disegno*, Roma, 1992.
- PURINI F., *Il Disegno e il Rilievo*, in A.A.V.V., *Nel disegno*, Edizioni Gangemi, Roma, 1992.
- SACCHI L., *L'idea di rappresentazione*, Edizioni Kappa, Roma, 1994.
- SGROSSO A., *Il problema della rappresentazione attraverso i tempi*, Utet, Napoli, 1984.
- SGROSSO A., *La rappresentazione geometrica dell'architettura*, Utet, 1996.
- UGO V., *Fondamenti della rappresentazione architettonica*, Esculapio, Bologna, 1994.
- VACCARO C., *L'ordine classico dalla trattatistica alla modernità, dalla strutturalità alla citazione*, in A.A.V.V., *Nel Disegno*, Edizioni Gangemi, Roma, 1992.
- VAGNETTI L., *Disegno e Architettura*, Vitali & Ghianda, Genova, 1958.
- VAGNETTI L., *Il linguaggio grafico dell'architetto oggi*, Vitali e Ghianda, Genova, 1965.
- ZEVI B., *Il linguaggio moderno dell'architettura*, Einaudi, Torino, 1973.

Scritti sul rilievo fotogrammetrico

- AMERICAN SOCIETY OF FOTOGRAMMETRY, *Manual of photogrammetry*, Fourth Edition, U.S.A., 1980.
- AMERICAN SOCIETY OF FOTOGRAMMETRY, *Non-topographic photogrammetry*, Second Edition, U.S.A., 1989.
- ARUTA L., MARESCALCHI P., *Cartografia-lettura delle carte*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1992.
- BLACHUT T. J., BURKHARDT R., *Historical development of photogrammetry methods and instruments*, U.S.A., 1989.
- CUNDARI C., *Fotogrammetria architettonica*, Edizioni Kappa, Roma,

1983.

DADDABBO A., Il rilevamento stereofotogrammetrico, Edizioni Levante, Bari, 1983.

DOCCI M., MAESTRI D., Manuale di rilevamento architettonico e urbano, Edizioni Laterza, Roma, 2009.

DOCCI M., MAESTRI D., Il rilevamento architettonico, Edizioni Laterza, Roma, 1987.

DE LUCA L., La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie, flaccovio Editore, Palermo, 2011.

D'APOSTOLI R., Prontuario di topografia, Maggioli Editore, Repubblica San Marino, 2009.

DRAGONETTI A., PROCINO F., ROSSI D., Topografia e disegno topografico, Mursia, Milano, 1991.

FONDELLI M., Manuale di topografia, Edizioni Laterza, 1991 (Vol. I,II,III)

FONDELLI M., Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica, Edizioni Laterza, Roma-Bari, 1992.

MORI A., Le carte geografiche, Libreria Goliardica, Pisa, 1990.

ROSI M., La cartografia tematica per l'architettura e l'urbanistica, Giannini Editore, Napoli, 2001.

Articoli e saggi

DE LUCA L., Relevè et multi-représentations du patrimoine architectural. Définition d'une approche hybride de reconstruction d'édifices. Thèse de Doctorat del l'ENSAM (Ecole Nazionale Supérieure d'Arts et Metiers) d'Aix-en-Provence, 31 Marz 2006.

REMONDINO F., EL-HAKIM S., Image-based 3D Modeling: a Review, Photogrammetric Record, 21(115), 2006, pp. 269-291.

RICCA F., TONELLA P. (a cura di), Reverse Engineering di sistemi software. Limiti e potenzialità nel mondo digitale, n. 3, Settembre 2006.

VOLTOLINI F., REMONDINO F., PONTIN M., GIRARDI S., RIZZI A., GONZO L., Integrazione di fotogrammetria e laser scanner per la documentazione di beni culturali, Conferenza progetto ASITA, Bolzano, 14-17 novembre, 2006.