

# RILIEVI (MISURE) ED ELABORAZIONI

**Roberto Gabrielli**

**Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali**





*ITABC – Area della ricerca di Roma 1*

**L'ITABC** afferisce al Dipartimento Patrimonio Culturale del CNR e si occupa di **Definizione, sperimentazione ed applicazione di metodologie e tecniche multidisciplinari integrate per la conoscenza, gestione, fruizione e valorizzazione del Patrimonio Culturale**. L'istituto si divide in :  
Integrazione di tecniche avanzate di rilevamento, metodologie geofisiche, GIS e modelli numerici per la conoscenza dei siti archeologici e la caratterizzazione dei manufatti storici, sviluppo di metodologie multidisciplinari e strategie progettuali per l'analisi, la conservazione e il riuso del patrimonio costruito, metodologie e tecniche integrate di catalogazione, analisi, datazione e studio di manufatti mobili archeologici, storici e artistici, tecnologie digitali integrate per la conoscenza, la valorizzazione e la comunicazione dei beni culturali attraverso sistemi di realtà virtuale. **L'attività di ricerca svolta dal nostro gruppo si inquadra, soprattutto in un ambito archeologico e topografico.**

## Presentazioni

### Roberto Gabrielli

- Progetto Pilota MIUR-MAE “Petra Medievale”. Direttore Rilievo Topografico e Aerofotogrammetrico
- Progetto Pilota MAE “Conservazione delle Tombe Nabatee”. Codirettore Progetto
- Progetto conservativo del Colle Paltino. Direttore Rilievo e Restituzione degli Ipogei.
- Progetto Archeologia Preventiva Cantieri della Metro Roma. Direttore Scientifico per lo studio e lo sviluppo di un protocollo di rilievo e catalogazione (GIS).
- Progetto Archeologia Preventiva Cantieri della Metro Napoli. Direttore Scientifico per lo studio e lo sviluppo di un protocollo di rilievo.
  
- AND .....

## ATTIVITA' SVOLTE



## Ringraziamenti

- ISPRA reparto Formazione
- Aziende che hanno partecipato
- Menci Software – Arezzo (Fotogrammetria)
- Team Informatica – Deruta (GIS)
- FaroEurope CAM2 – Torino (Laser Scanner)
- GEXCEL Spin-off Univ. Brescia (Software 3D)
- Amici: M. Aversa, M. Fea, S. Gusmano

# KIT Sopravvivenza

- Area della Ricerca di Roma 1
- Treno FR1

Trastevere-Ostiense-Tuscolana- Tiburtina- Nomentana- N. Salaria  
**si scende alla Fermata**

Piana Bella di Montelibretti (dopo Monterotondo)

- [www.mlib.cnr.it](http://www.mlib.cnr.it)
- [roberto.gabrielli@itabc.cnr.it](mailto:roberto.gabrielli@itabc.cnr.it)
- Attrezzatura

Indumenti da lavoro

## Indice Argomenti

1. Considerazioni generali
2. Problematiche (Progetto, Domande)
3. Topografia
4. Fotogrammetria
5. Laser scanner 3D
6. Applicazioni GPS & Fotogrammetriche
7. Elaborazioni 3D

## Considerazioni Generali

### Concetto di Misura

**Vocabolario Internazionale di Metrologia** (1993) una grandezza è definita come "la proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza, che può essere distinta qualitativamente e determinata quantitativamente".

**Vocabolario Internazionale di Metrologia** (2007), una grandezza è la proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza, che può essere espressa quantitativamente mediante un numero e un riferimento.

**SI (Sistema internazionale di unità di misura)**, adottato per legge in Italia dal 1976 ed obbligatorio negli atti pubblici, le grandezze si dividono in 7 grandezze base e numerose grandezze derivate dalle precedenti mediante opportuna combinazione lineare.



## Considerazioni Generali

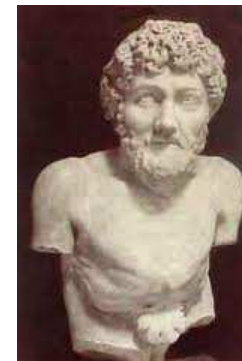
### In sintesi

Fissata l'unità di misura, la quantità di tale grandezza per un qualsiasi altro sistema potrà dunque essere univocamente specificata da un valore numerico ottenuto dal rapporto con la proprietà scelta come campione di riferimento.

## Considerazioni Generali

### Concetto di Misura

Da Esopo



“Quanto ci vuole per arrivare a Messene?” chiese il viandante fermandosi presso un vecchio che sonnecchiava ai ciglio della strada.

“Cammina, cammina” rispose il vecchio.

Paziente, il viandante ripeté la domanda.

“E cammina!” si spazientì il vecchio”.

Sconcertato, il viandante riprese la sua strada.

“Ti ci vorranno due ore” lo raggiunse la voce del vecchio dopo una ventina di passi.

“E perché non me lo hai detto subito?”

**“Come potevo dirtelo prima di vedere a che velocità cammini?”**

## Considerazioni Generali

### Errori di Misura

L'incertezza di misura è il grado di indeterminazione con il quale si ottiene nella misurazione un valore di una proprietà fisica. Il risultato di misurazione pertanto non è un unico valore bensì l'insieme dei valori probabili che assume il misurando. Il termine incertezza di misura viene spesso utilizzato come sinonimo di *errore di misurazione*.

Errore di misurazione ogni volta che si effettua una misura, si introducono diversi tipi di errori, quindi il valore che otteniamo è incerto.

**Gli errori accidentali** dovuti a cause che si possono immaginare in linea di principio ma di cui non si possono prevedere gli effetti.

**Gli errori sistematici** che influenzano il risultato della misura sempre nello stesso senso e non possono pertanto venire compensati facendo la media di più misurazioni.

## Considerazioni Generali

### Errori di Misura Accidentali

**Gli errori accidentali** hanno la proprietà di essere variabili sia in valore che in segno e si individuano ripetendo una misura diverse volte con gli stessi strumenti e in condizioni che, per quanto sta nelle facoltà dell'operatore, possono essere ritenute costanti.

## Considerazioni Generali

### Errori di Misura Sistematici

Gli errori sistematici (*detti anche errori strumentali*) dipendono dalle caratteristiche costruttive degli strumenti di misura o da problemi di taratura delle strumentazioni utilizzate.

Gli errori sistematici possono essere sempre determinati (eseguendo un'accurata indagine critica del metodo impiegato e delle apparecchiature usate) e risulta così possibile apportare le opportune correzioni al risultato della misura od almeno individuare l'incertezza che accompagna il risultato della misura.

## Considerazioni Generali

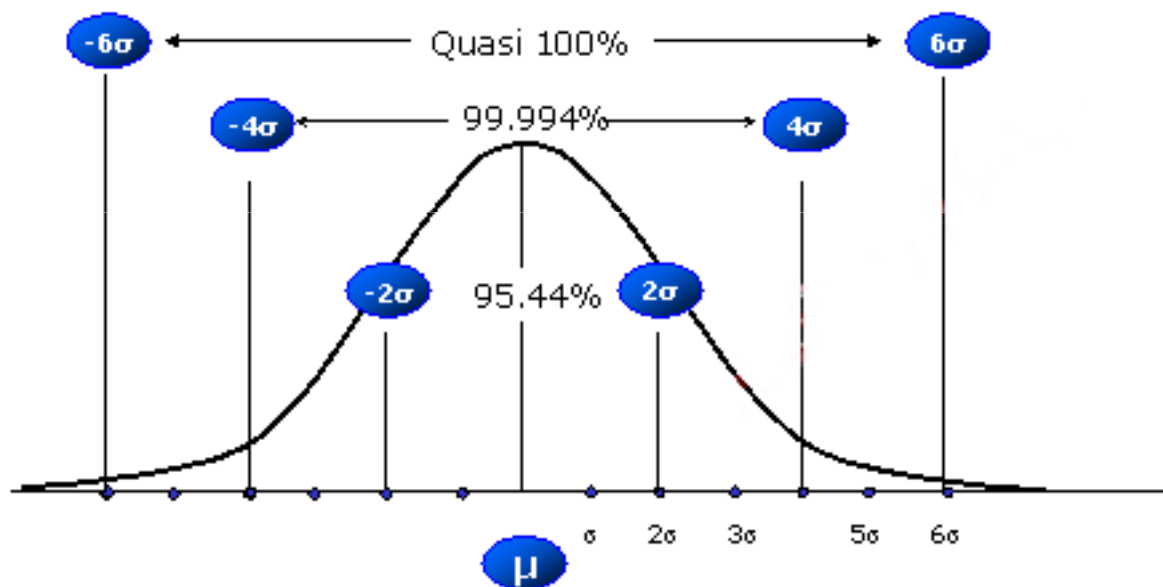
### Trattamento Statistico

La Standard deviation o scarto tipo o scarto quadratico medio è un indice di dispersione delle misure sperimentali (vale a dire una misura di variabilità di una popolazione di dati o di una variabile casuale) derivato direttamente dalla varianza, ha la stessa unità di misura dei valori osservati (mentre la varianza ha come unità di misura il quadrato dell'unità di misura dei valori di riferimento).

La deviazione standard misura la dispersione dei dati intorno al valore atteso. In statistica la precisione si può esprimere come deviazione standard.

## Considerazioni Generali

### Trattamento Statistico



## Considerazioni Generali

### Interpolazione Spaziale

In matematica, e in particolare in analisi numerica, per interpolazione si intende un metodo per individuare nuovi punti del piano cartesiano a partire da un insieme finito di punti dati.



## Considerazioni Generali

### Interpolazione Spaziale

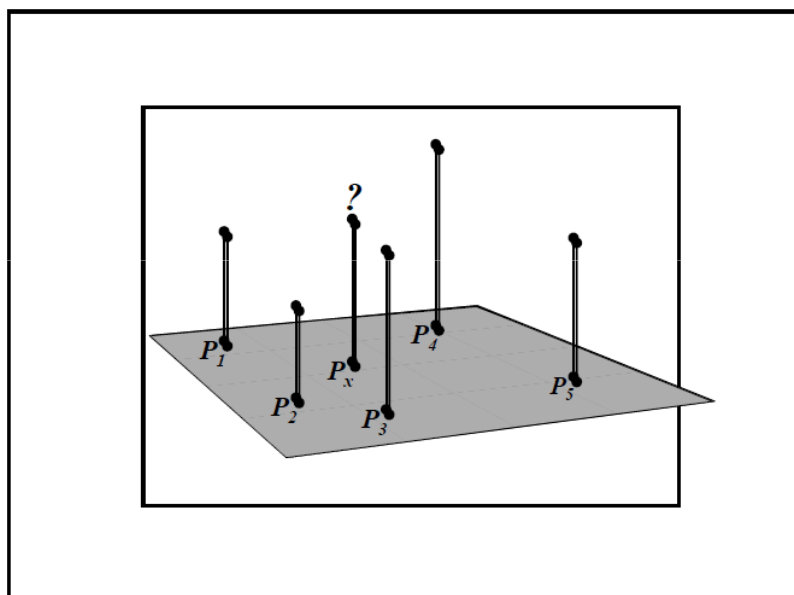
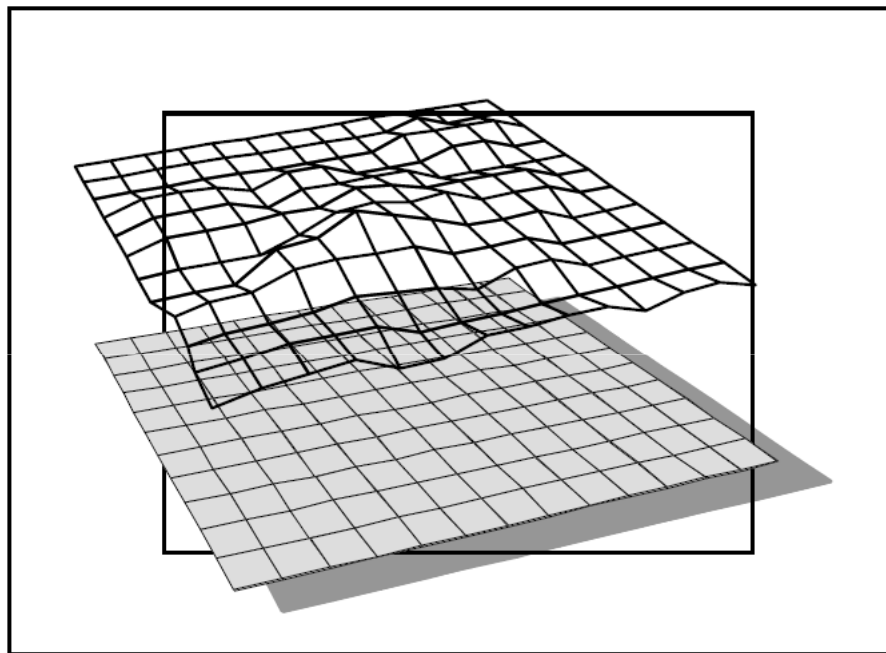


Fig. 26.2 - Processo di interpolazione spaziale. Dato uno spazio, vi si posizionano i punti di valore noto, e il valore non noto del punto  $P_x$  viene determinato sulla base dei valori noti dei punti circostanti.

## Considerazioni Generali

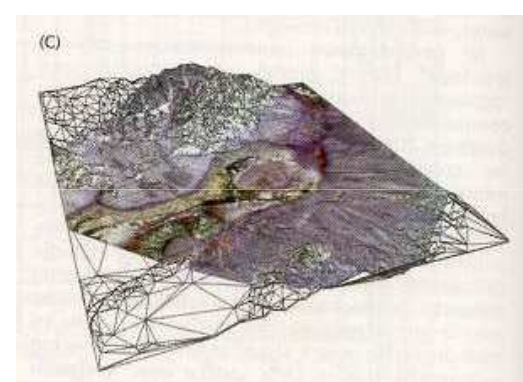
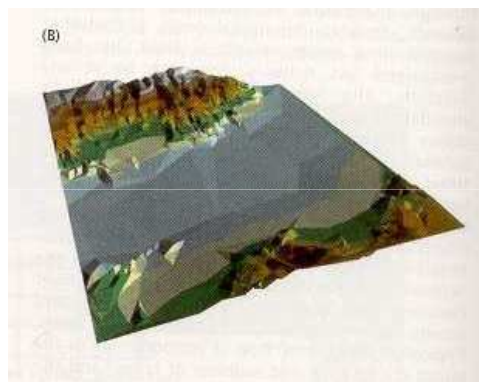
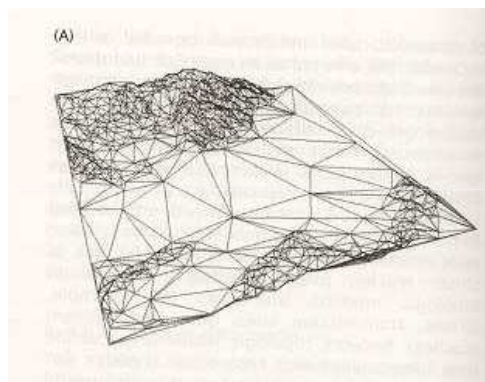


**Fig. 26.3**

Rappresentazione di una superficie statistica  $S$ , funzione delle coordinate  $x$ ,  $y$  dei punti nel piano. Il valore assunto da tale funzione è espressione del valore della grandezza considerata, variabile nel piano. Si tratta di una superficie curva rappresentabile in uno spazio tridimensionale.

## Considerazioni Generali

### Interpolazione Spaziale

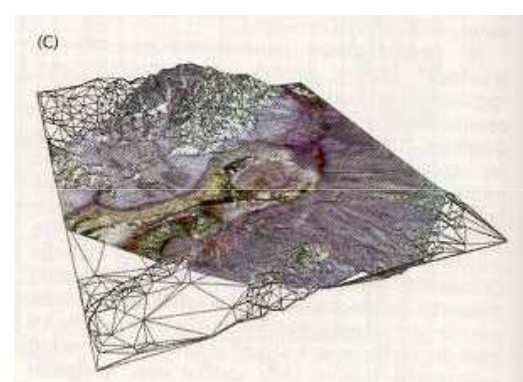
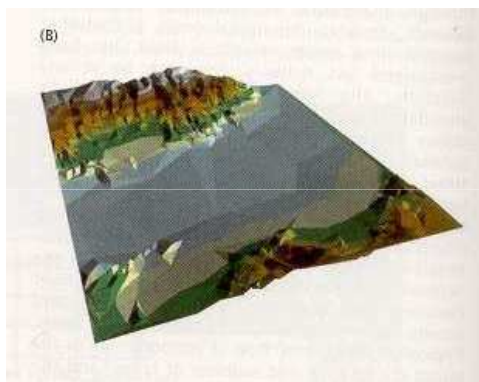
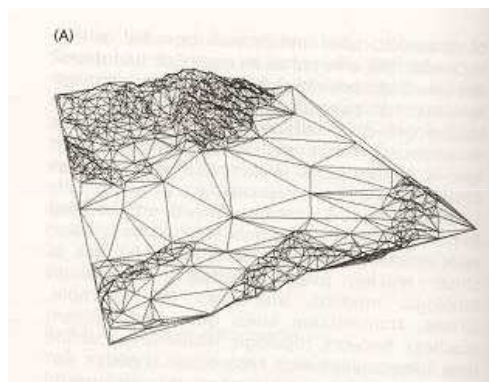


#### DERIVAZIONE DI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO: INTERPOLAZIONE TRAMITE TIN (TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK).

Un modello digitale del terreno (DTM, Digital Terrain Model) è una rappresentazione in 3 dimensioni della morfologia di un territorio. La tecnica più diffusa per la creazione di un modello digitale del terreno è quella del TIN (Triangulated Irregular Network). La struttura TIN, come lo stesso nome suggerisce, rappresenta una superficie con una serie di elementi triangolari non sovrapposti. Un TIN viene creato da una serie di punti

## Considerazioni Generali

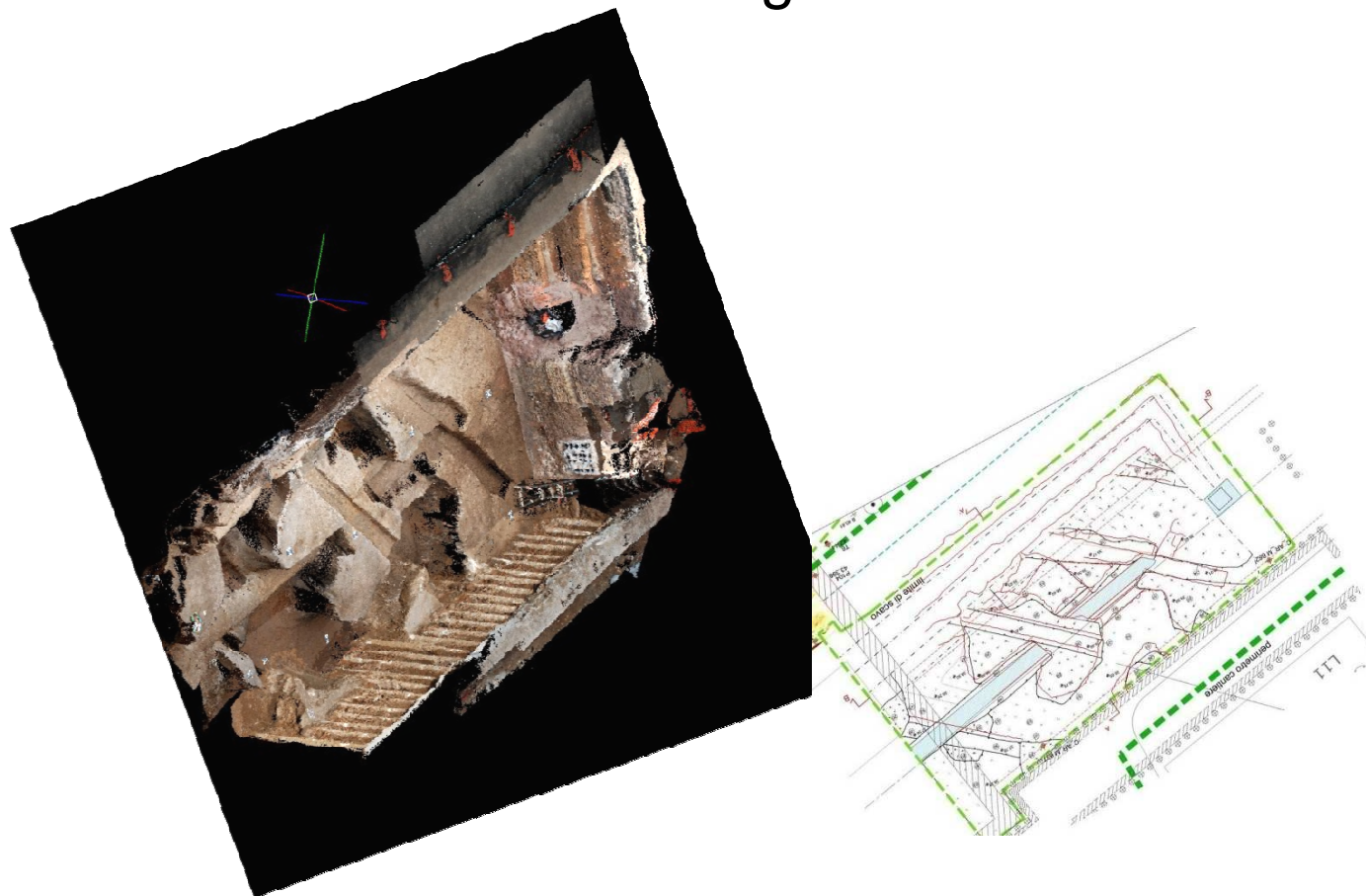
### Interpolazione Spaziale



#### DERIVAZIONE DI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO: INTERPOLAZIONE TRAMITE TIN (TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK).

Un modello digitale del terreno (DTM, Digital Terrain Model) è una rappresentazione in 3 dimensioni della morfologia di un territorio. La tecnica più diffusa per la creazione di un modello digitale del terreno è quella del TIN (Triangulated Irregular Network). La struttura TIN, come lo stesso nome suggerisce, rappresenta una superficie con una serie di elementi triangolari non sovrapposti. Un TIN viene creato da una serie di punti

## Applicazione del Rilievo tridimensionale Nel metodo Stratigrafico



Nell'ambito dello studio dei Beni Culturali, le metodologie operative della Geomatica offrono nuove prospettive di applicazione, sia per quanto riguarda la fase del rilievo sia per quanto concerne l'elaborazione e la successiva rappresentazione dei dati di manufatti di interesse storico-artistico.

## GEOMATICA

- Con il termine di Geomatica (coniato all'inizio degli anni '80 all'Università di Laval in Canada) si intende l'approccio sistemico integrato multidisciplinare da attuare per selezionare gli strumenti e le tecniche appropriate per acquisire (in modo metrico e tematico), integrare, trattare, analizzare, archiviare e distribuire dati spaziali georiferiti con continuità in formato numerico.



## PERCHE'

- Questa integrazione nasce dalla necessità-volontà di creare una accurata documentazione e catalogazione finalizzata allo studio, alla conservazione ed alla fruizione dei Beni Culturali.



## TESTO E CONTESTO

- In tale ambito disciplinare è opportuno analizzare il manufatto nella sua interezza e nella sua diretta relazione con il territorio circostante. Da qui nasce sia l'esigenza di effettuare documentazioni in formato numerico ad alta risoluzione necessarie per la visualizzazione dettagliata degli oggetti del mondo reale, che quella di collocare spazialmente un'opera in un contesto geometrico e geografico più ampio ai fini della sua comprensione.

## GIS

- Si tratta quindi di relazionare il “Bene Culturale” alla morfologia del terreno ed agli altri contesti storici ed architettonici presenti sull'area di indagine e il tutto dovrà essere georeferito in un unico sistema di riferimento.

## LO SCAVO ARCHEOLOGICO

- L'attendibilità di ogni ricostruzione storica fondata su dati provenienti dal terreno non si fonda su una astratta conoscenza archeologica, ma bensì sull'interpretazione delle tracce stratigrafiche lette sul terreno dagli archeologi, documentate e infine distrutte, per indagare le tracce sottostanti.

## INNOVAZIONE TECNOLOGICA

- Una corretta applicazione di tecnologie innovative alla ricerca archeologica non può pertanto ignorare la necessità di creare un rapporto profondo con le metodologie di indagine tradizionali, costruendo un flusso operativo completo che comprenda i vari step della ricerca.

## L'APPROCCIO METODOLOGICO

- E' certamente vero che le tecnologie non possono sostituire la corretta metodologia, ma forse è giunto il momento di chiedersi se la metodologia non possa essere modificata, accogliendo le novità che le tecnologie offrono ed evitando di “rifugiarsi” in una sorta di “classicismo metodologico”.

# PERCORSO OPERATIVO

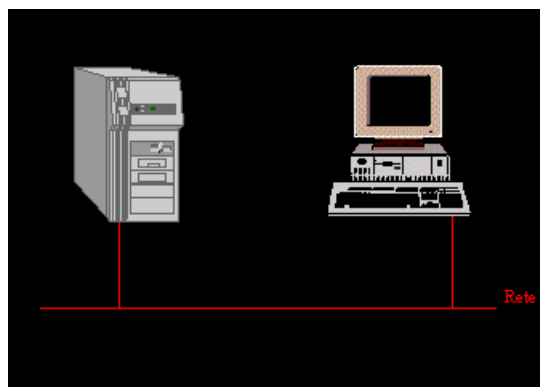
- Oggi infatti le tecnologie possono aiutarci ad ottenere più informazione dalla nostra **documentazione**, ad essere più trasparenti nella nostra **ricostruzione** e più efficaci nella **comunicazione** dei nostri risultati.

## ACQUISIZIONE COMUNICAZIONE

- Il lavoro si dovrà concentrare sulla gestione dell'intero processo di ricerca di uno scavo archeologico, dalla raccolta analitica della documentazione alla comunicazione dei risultati.
- Si dovrà ragionare su un possibile percorso che unirà metodologie innovative di acquisizione dei dati, di trattamento degli stessi, e di forme di comunicazione innovative, cercando in definitiva di tracciare con strumenti nuovi quello che dovrebbe essere il percorso tradizionale della ricerca: “dallo scavo all'edizione”.

## METODI INNOVATIVI E DATI DI ARCHIVIO

Considerando inoltre che la maggior parte della conoscenza archeologica si basa su scavi già conclusi, e la natura distruttiva dello scavo impedisce di ri-accedere ai dati originali.





## DOCUMENTAZIONE STRATIGRAFICA

- E' quindi di fondamentale importanza poter lavorare sugli archetipi, ovvero su quanto di più vicino c'è all'originale, ovvero la documentazione. Il metodo di indagine stratigrafico, ormai affermatosi come unico metodo scientifico di scavo, è caratterizzato infatti da una rigorosa metodologia di intervento che prevede la redazione di documentazione, la cui importanza è facilmente comprensibile data la natura distruttiva dell'operazione di scavo.

## PROTOCOLLI DI CONVERSIONE

- I disegni realizzati nelle campagne di scavo passate dovranno essere digitalizzati; la trasformazione in oggetti tridimensionali dei normali output grafici di uno scavo (piante, overlays, prospetti, ecc.) consentirà di creare un ambiente di gestione tridimensionale in cui saranno presenti tutti i dati di archivio. In questo lavoro sarà possibile definire dei protocolli che potranno essere utili in futuro per realizzare una documentazione 3D compliant anche in assenza di strumenti di rilievo tridimensionale.

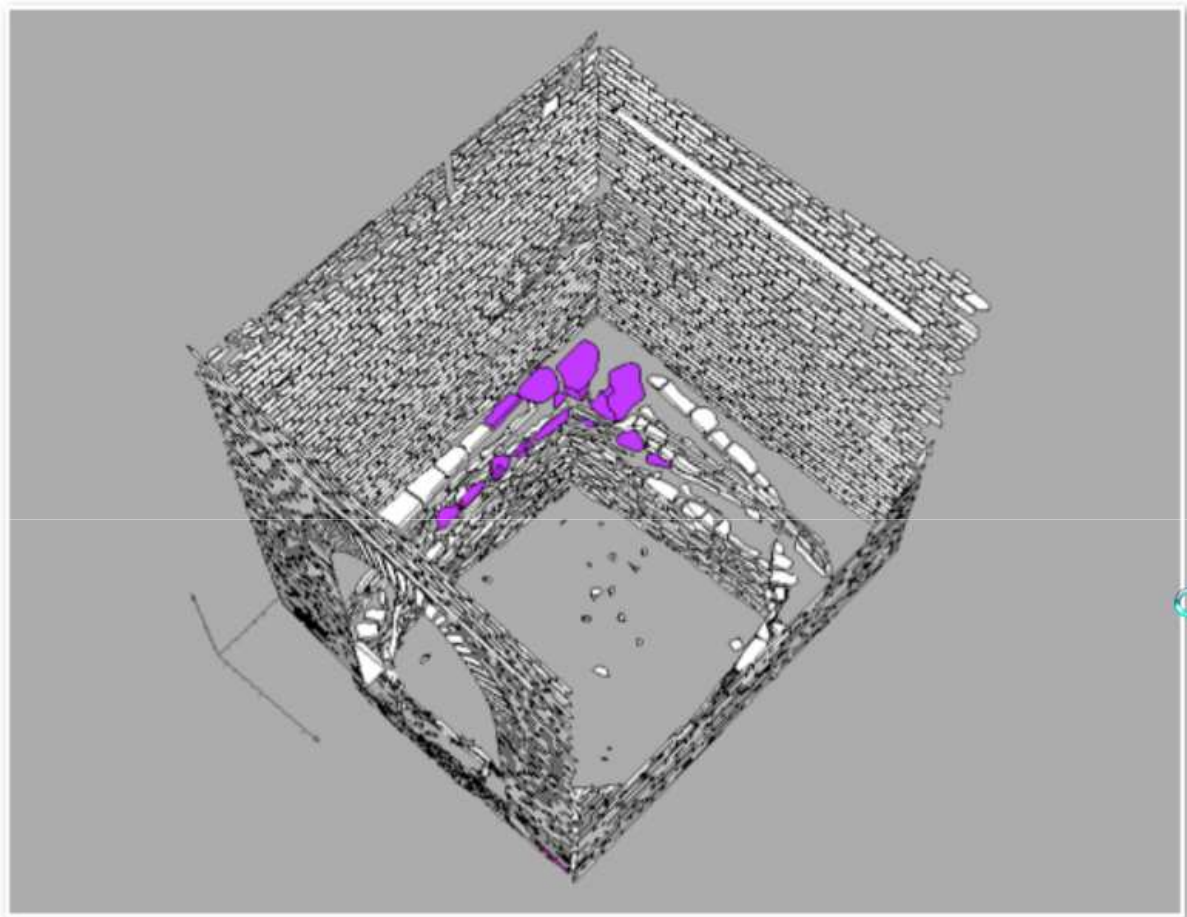


Fig. 2 – Sito di San Severo (loc. Classe, Ravenna). Visualizzazione in ambiente GIS degli elementi che costituiscono i paramenti interni del campanile, con indicazione dei diversi tipi di materiale (in bianco: il laterizio; in viola: la pietra).

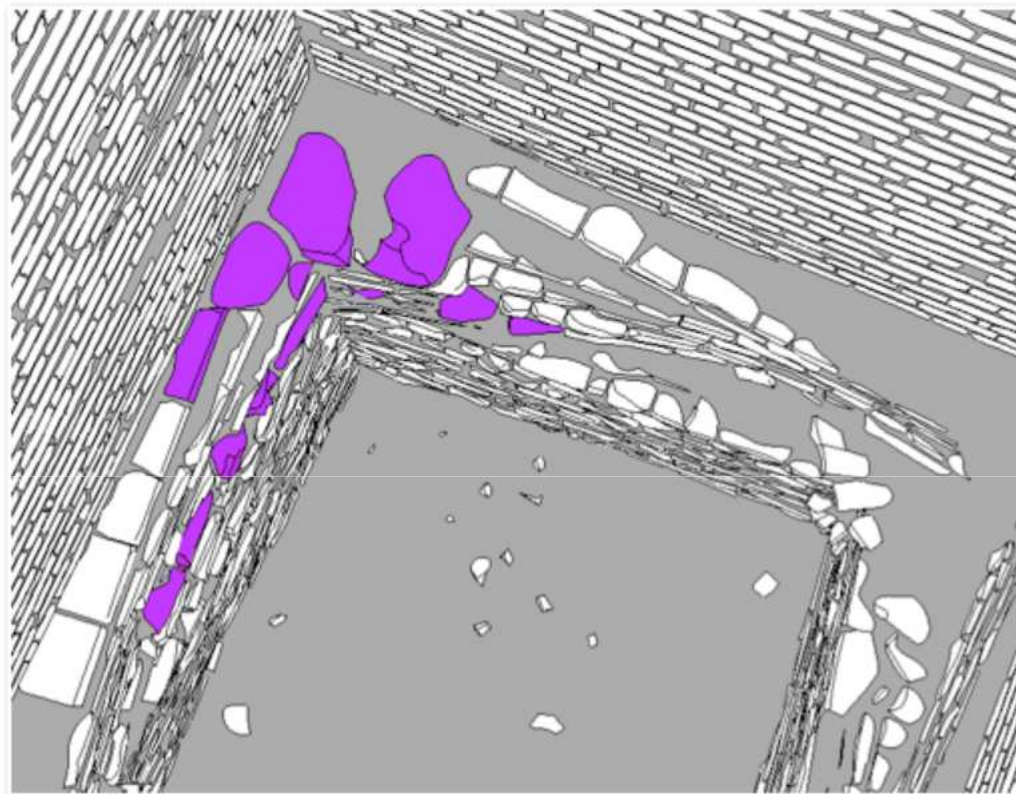


Fig. 3 – Sito di San Severo (loc. Classe, Ravenna). Visualizzazione in ambiente GIS degli elementi che costituiscono i paramenti interni del campanile, con indicazione dei diversi tipi di materiale (in bianco: il laterizio; in viola: la pietra). Nell'immagine si apprezza il livello di dettaglio formale del modello: tutte le facce visibili di un elemento sono descritte con punti (scelti in corrispondenza degli angoli principali o delle discontinuità formali) collegati da linee curve o rette.

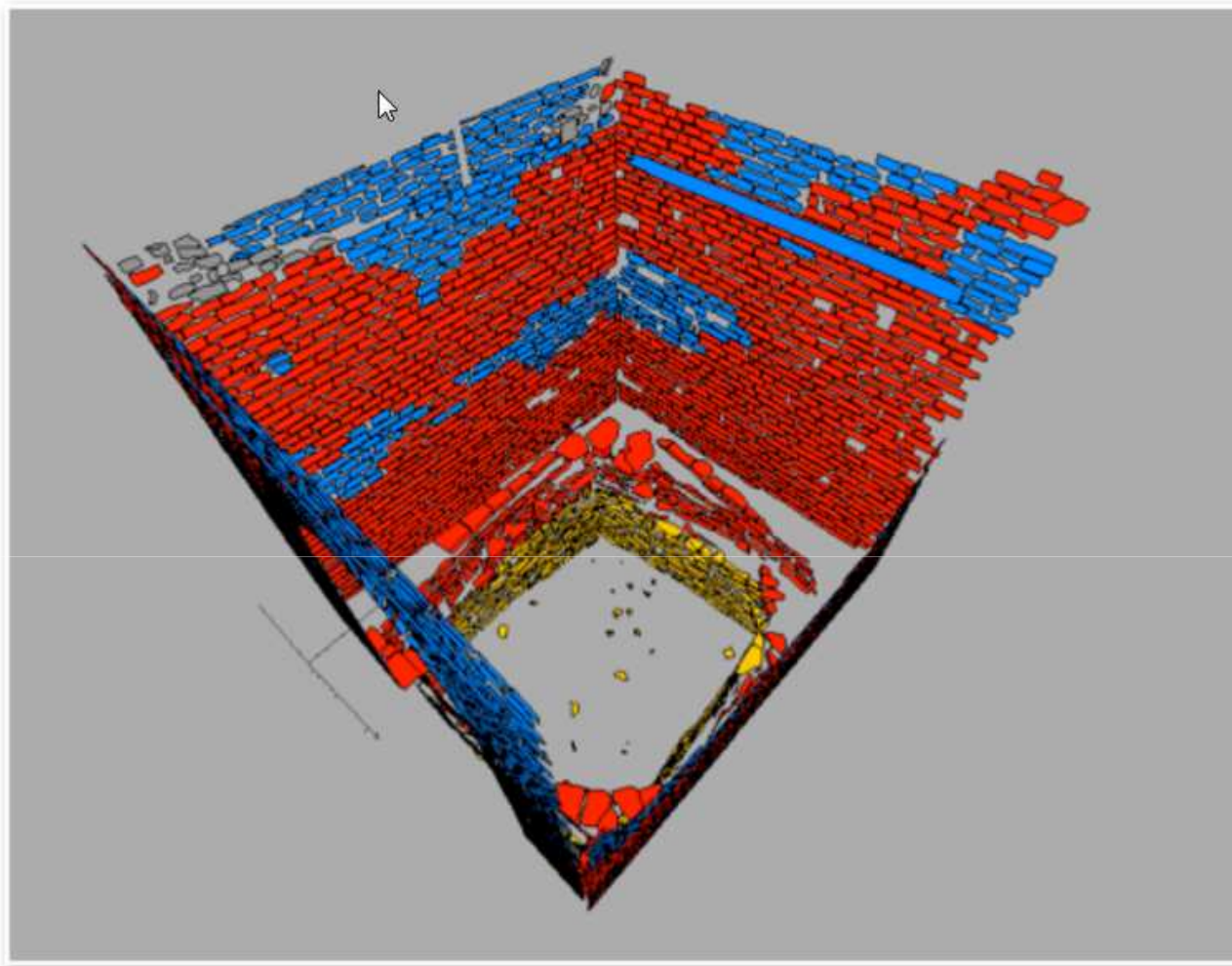
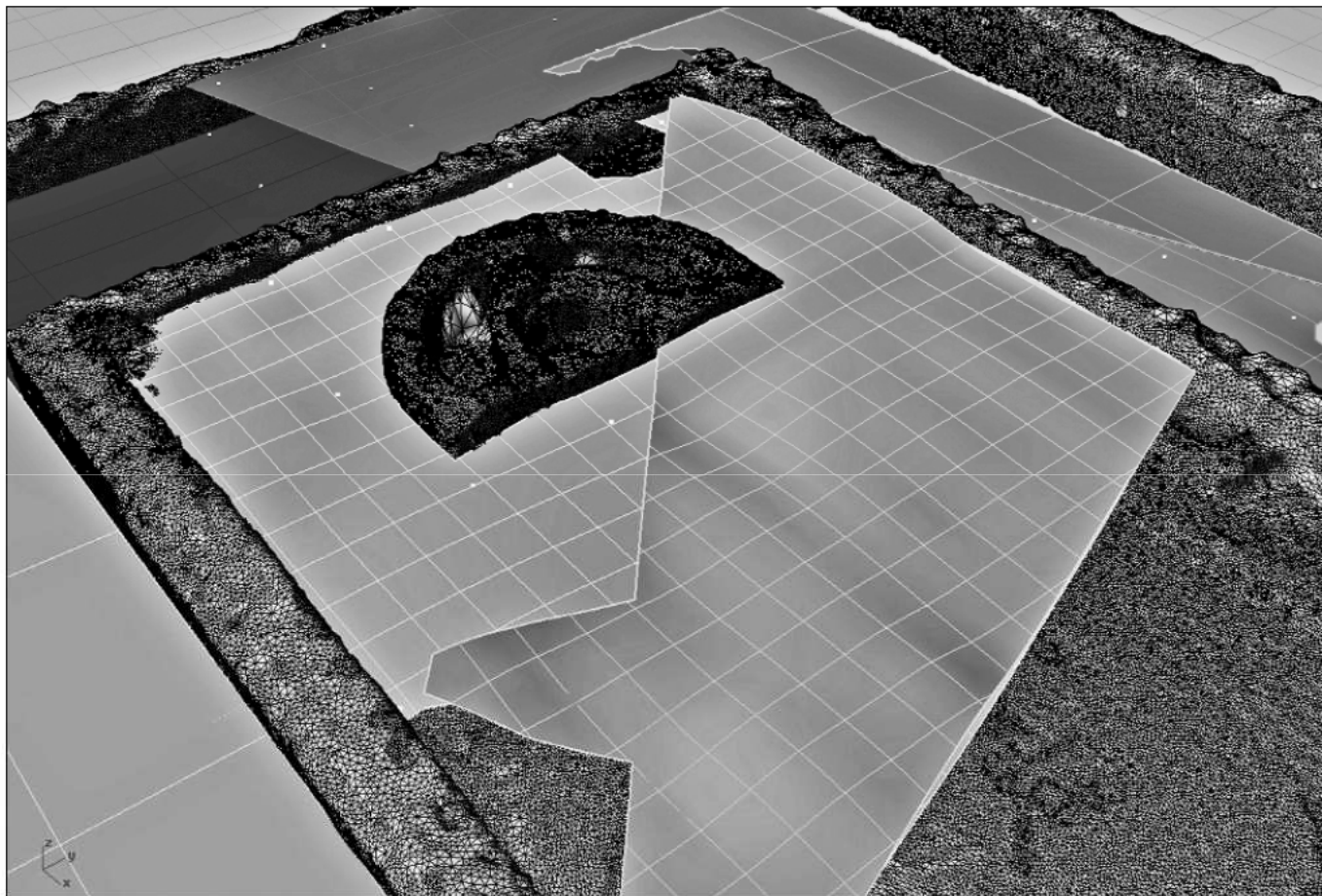


Fig. 4 – Sito di San Severo (loc. Classe, Ravenna). Visualizzazione in ambiente GIS degli elementi che costituiscono i paramenti interni del campanile, con indicazione delle diverse fasi edilizie (arancio: XII secolo; rosso: XVI secolo; grigio: degrado; blu: 1981-1991).



## PROTOCOLLI DI TRASFORMAZIONE

- I disegni realizzati nelle campagne di scavo passate dovranno essere digitalizzati; la trasformazione in oggetti tridimensionali dei normali output grafici di uno scavo (piante, overlays, prospetti, ecc.) consentirà di creare un ambiente di gestione tridimensionale in cui saranno presenti tutti i dati di archivio. In questo lavoro sarà possibile definire dei protocolli che potranno essere utili in futuro per realizzare una documentazione 3D compliant anche in assenza di strumenti di rilievo tridimensionale.

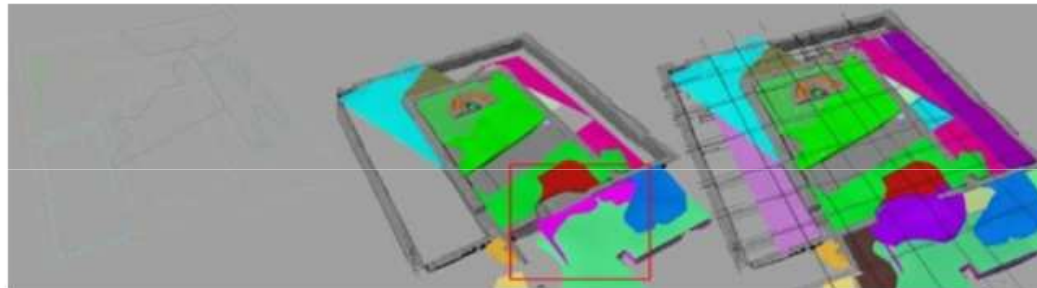


2. - Rilievo della *cenatio* della villa. Unione di *mesh* da scansione laser e da modellazione realizzata sulla base della documentazione di archivio.

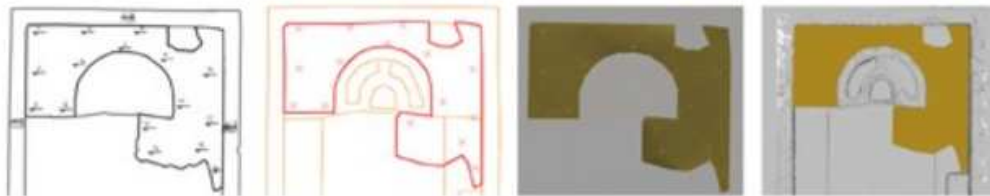
Progetto ITINERA Univ. di Foggia



I disegni realizzati nelle campagne di scavo sono stati digitalizzati; la trasformazione in oggetti tridimensionali dei normali output grafici di uno scavo (piante, overlays, prospetti, ecc.) ha consentito di creare un ambiente di gestione tridimensionale in cui fossero presenti tutti i dati di archivio. Sono state anche elaborate delle buone pratiche che possano essere utili in futuro per realizzare una documentazione 3D compliant anche in assenza di strumenti di rilievo tridimensionale.



Sequenza stratigrafica tridimensionale



Le diverse fasi della digitalizzazione



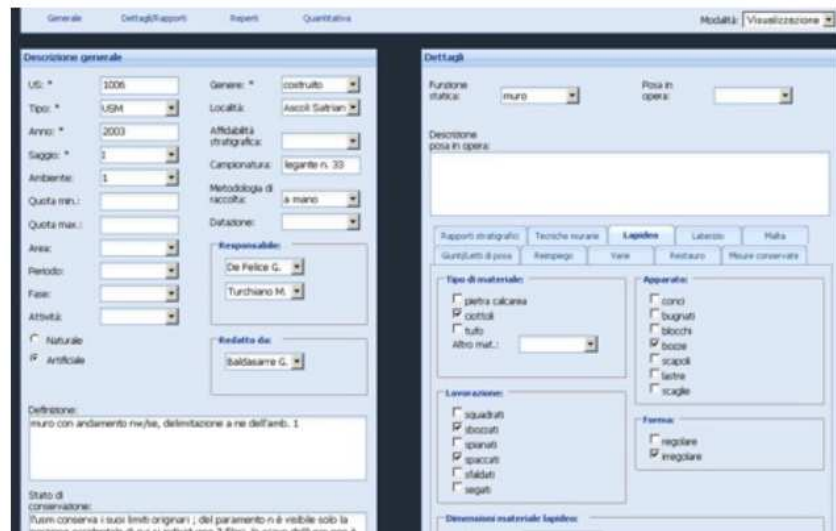
# DATABASE

## Il database

Per la gestione della documentazione schedografica d'archivio è stato disegnato e implementato, grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica del Politecnico di Bari, un database.

Basato su tecnologie web e sviluppato su una piattaforma open source IREMAS (Itinera Repository Management System) permette il facile accesso alla documentazione.

La tecnologia web based permette l'aggiornamento della base dati direttamente dal cantiere di scavo.



## ALCUNE RIFLESSIONI

- Tuttavia bisognerà sempre tenere presente che non tutte le documentazioni di scavo potranno essere concepite in questo modo a causa di diversi fattori, quali: i costi; competenze professionali; i tempi di esecuzione; la strumentazione necessaria.
- Per questa ragione si dovranno comunque sperimentare anche tecnologie più “povere”, mantenendo indiscussa l’esigenza di realizzare processi di documentazione tridimensionale dei dati di scavo.

## UNIONE DEI *SET* DI DATI DIVERSI

- Mesh originate dalla digitalizzazione degli overlay d'archivio e quelle provenienti dalle nuvole di punti rilevate sul campo saranno implementate insieme in un'unica piattaforma GIS. Il modello tridimensionale della stratigrafia così realizzato permetterà la fusione di dati di origine diversa in un unico contenitore.

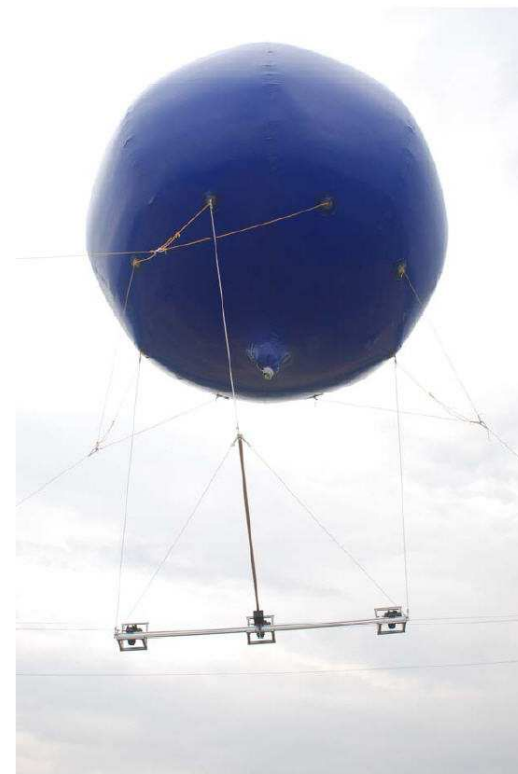
## SAPPIAMO CHE:

Raramente un sito archeologico è ascrivibile ad una sola fase di vita, e il suo stato di conservazione non è necessariamente il momento più significativo della sua storia. Ogni sito ha vissuto lunghe fasi di vita, accumulando e sovrapponendo tanti capitoli di una storia, la cui ricostruzione merita di essere raccontata.

## GIS E MODELLI VIRTUALI

- E solo le tecnologie di visualizzazione possono svolgere un ruolo importantissimo nel rendere visibile questa dimensione immaginaria, impossibile da cogliere nella realtà, a volte neanche visitando di persona un sito archeologico.

## IL RILIEVO: NASCITA DI UNA STRUMENTAZIONE



La ricerca portata avanti dalla nostra equipe si inserisce nell'ambito archeologico e topografico



Il gruppo di ricerca sviluppa tecniche e metodologie integrate (**DGPS, stazione totale, fotogrammetria automatica**), minimamente invasive e veloci ma anche versatili e precise applicate ai Beni Culturali.



## CASO STUDIO: PETRA

**Progetto MAE-CNR .**

Prof. R. Franchi (Università di Urbino), Dott. R. Gabrielli (ITABC-CNR)

**Progetto RSTL del CNR**

Dott. R. Gabrielli



Petra (Giordania). Vista delle Tombe Reali ripresa dal Castello di Al Habis situato sopra il Tempio di Qasr al Bint e la via Colonnata





---

---

La **complessità della morfologia** del territorio in tutta la valle di Petra, e in particolare le dimensioni delle tombe monumentali, ha imposto l'esigenza di mettere a punto un **sistema di ripresa fotogrammetrico agile ed economico** che permettesse di integrare tutti gli elementi cartografici non disponibili in maniera dettagliata (i pianori dove erano presenti resti murari non documentati), di determinare gli andamenti morfologici del terreno in zone non raggiungibili con il GPS o stazione totale e di documentare lo stato di degrado delle parti architettoniche delle tombe reali

---

---

# CONTESTO TERRITORIALE

Petra è situata sul bordo del *Rift* del Mar Morto in una regione che presenta un contesto tettonico distensivo, infatti è presente un forte dislivello tra il *plateau* orientale (Scudo Arabo-Nubiano) ed il fondo del *Rift*.



- Nell'area è predominante una formazione massiva di arenaria priva di intercalazioni argillose e sezionata in prismi verticali a causa della intensa rete di faglie, per lo più dirette, legate al funzionamento del *Rift* (**ARENARIE NUBIANE**).
- Il degrado e l'alterazione dei monumenti di Petra sono collegati strettamente ad alcuni meccanismi geologici e principalmente all'idrogeologia.

<b>EDOMITA</b>	fine dell'VIII e l'inizio del VII secolo a.C.: primi insediamenti stabili a Petra si trovano a Umm al Beira e sulle colline vicino al sito
<b>NABATEO</b>	visto il vuoto di potere nel regno di Giuda causato dall'esilio babilonese (586 a.C.), Petra viene occupata nel VI secolo a.C. dalle popolazioni Nabatee
<b>ELLENISTICO</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Nel periodo ellenistico si assiste all'edificazione della maggior parte delle opere monumentali di Petra</li><li>•L'apogeo del mercato della città si ebbe nella metà del I sec. d.C. Attorno a Petra si costituì una decapoli, cioè una confederazione di dieci città-stato tenute sotto controllo dai re nabatei</li></ul>
<b>ROMANO</b>	I romani riuscirono a conquistare città dopo il 106 d.C. e il regno fu annesso all'impero sotto ordine di Traiano
<b>BIZANTINO</b>	Sono edificate molte chiese nel sito, il Deir è riutilizzato come cattedrale
<b>ISLAMICO-CROCIATO</b>	Si verifica un lento esodo degli abitanti, fino alla conquista dei Crociati-Franchi che eressero alcune fortezze quali Al-Wu'ayrah e Al-Habis



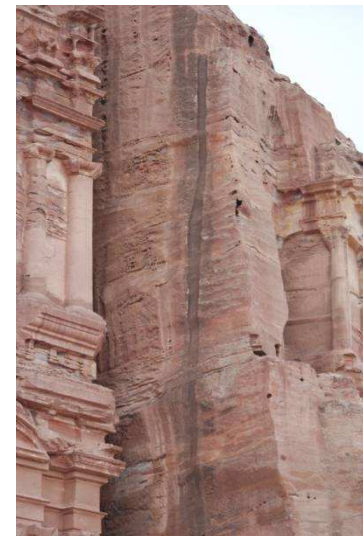
## ANTICA RETE IDRICA NABATEA



L'antica rete idraulica risale all'epoca nabatea e consiste in una serie di canali e vasche di raccolta costruiti nei pressi delle aree monumentali.

Viene descritto già in **Strabone** e **Diodoro Siculo**.

- Doppio scopo di dare una fornitura sicura di acqua alla città e contemporaneamente incanalare le acque atmosferiche di modo che non si riversassero sulle facciate delle tombe.
- L'opera di ingegneria idraulica non è attualmente più utilizzabile causa il forte degrado e dissesto dovuto a eventi tellurici, atmosferici, interramenti e crolli.



## CORRELAZIONE DELLE INFORMAZIONI

Senza una correlazione fra le informazioni archeologiche e quelle geoambientali non ci si spiegherebbe la presenza della rete idrologica e potrebbe esserci il rischio di un'interpretazione fuorviante.



Ancora oggi, pur essendo più scarse, le piogge sono la causa maggiore del dilavamento superficiale.

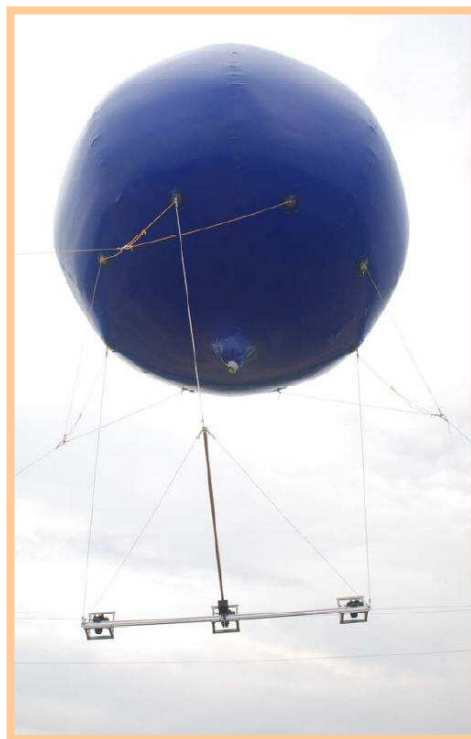
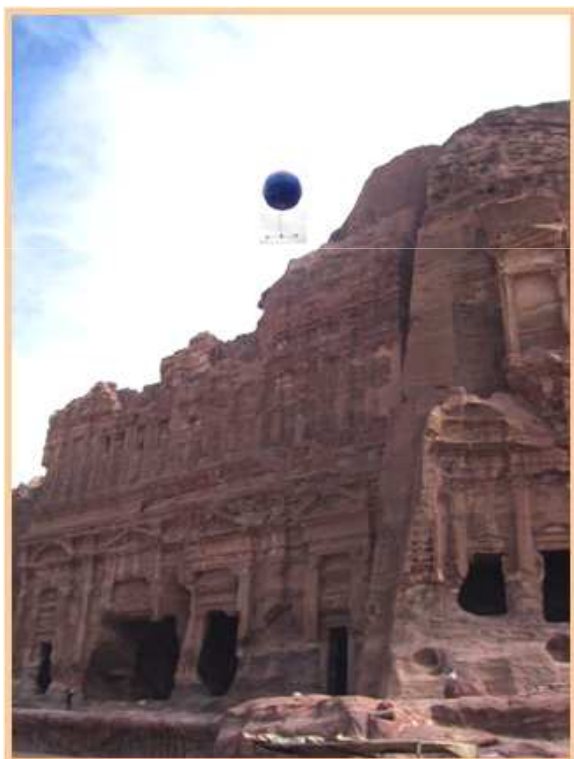


## PETRA LA TOMBA PALAZZO





## FLY-SCAN



## ACCORDO MINISTERO - CNR - METROC

- Grazie all'idea voluta fortemente dal Segretario Generale e Commissario per le Aree Archeologiche di Roma, Ostia Antica e Napoli Arch Roberto Cecchi del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC)
- In collaborazione con la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma (Dott.ssa Rossella Rea)

Formalizzato un accordo per lo studio e lo sviluppo di un protocollo di rilievo archeologico, finalizzato **all'archeologia preventiva**, nei cantieri interessati dalla costruzione di **grandi opere civili**





- Per informazioni
- [roberto.gabrielli@itabc.cnr.it](mailto:roberto.gabrielli@itabc.cnr.it)