



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Fotogrammetria e Archiviazione

La fotogrammetria per la conoscenza, la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio culturale

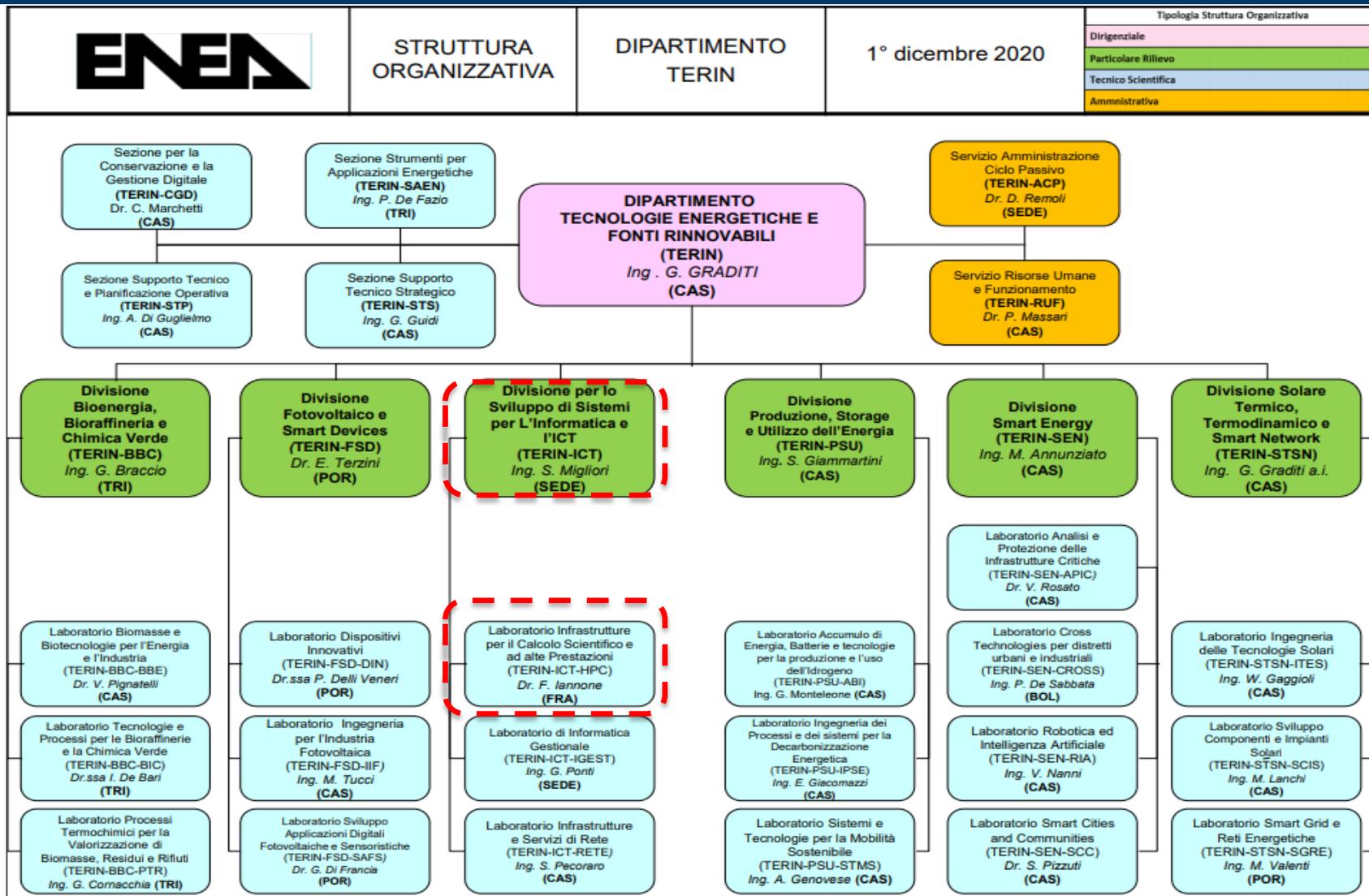
Progetto SUSA – SMART URBAN SUSTAINABLE AREA

Webinar, 7 Maggio 2021

Marialuisa Mongelli / TERIN-ICT-HPC



Il Dipartimento di Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili



L'infrastruttura di calcolo ICT dell' ENEA per i Beni Culturali

CRESCO6 Infrastructure (REsearch Computational center on COMplex System)



Computing power rating 1.4 PFLOPS
nodes: 434
cores: 20832

Each node

processors: 2xCPU Intel Xeon Platinum 8160 with 24 cores
clock: 2.1 GHz
memory: 192 GB (4 GB/core)

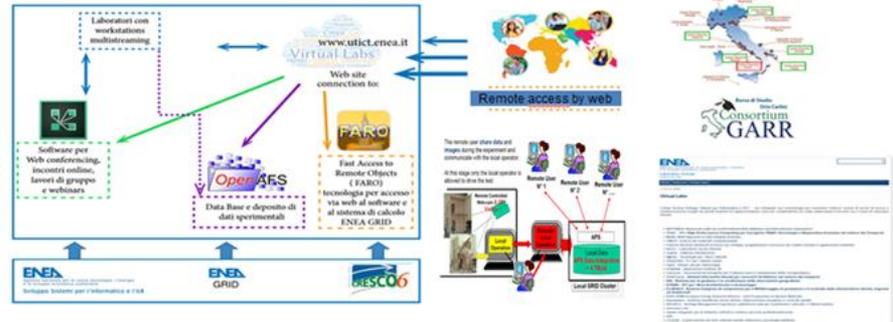
Network

Intel Omni-Path 15 switch with 46 ports
bandwidth: 100 Gb/s
latency: 100 ns



ENE Virtual Labs

Virtual Labs => Open Labs
Networking of instrumentation and skills to support research and industry

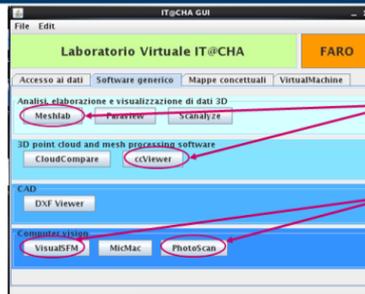


Graphic Interface named FARO2 (Fast Access to Remote Objects)

Access to CRESCO nodes Access to virtual labs Access to software and apps available CRESCO



IT@CHA Virtual lab for Cultural Heritage

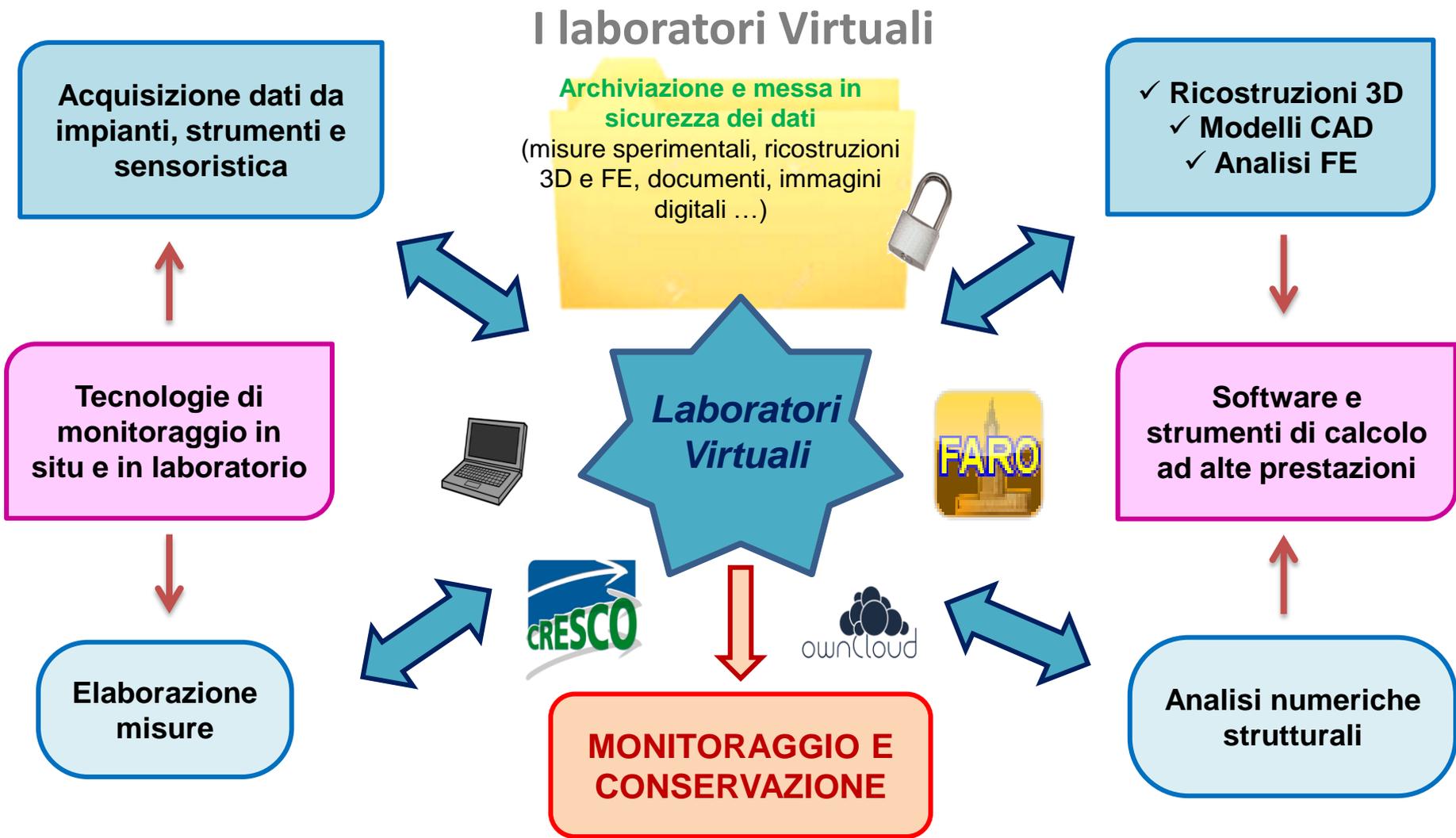


MESHLAB – CCVIEWER

PHOTO SCAN – VisualSFM



L'infrastruttura di calcolo ICT dell' ENEA per i Beni Culturali



Introduzione alla fotogrammetria

Cos'è la fotogrammetria?

- E' una tecnica di rilievo 3D alternativa alla topografia tradizionale
 - Obiettivo: realizzare una copia digitale tridimensionale “Digital Twin” a partire da immagini fotografiche bidimensionali.
 - Finalità: studio, restauro, conservazione, protezione, valorizzazione, fruizione

Campi di applicazione:

- Architettura
- Ingegneria
- Archeologia
- Beni Culturali
- Geologia
- Scena del crimine e incidentistica



Cosa serve?

- Una fotocamera, un metro, un computer, un software

Introduzione alla fotogrammetria

Perché la fotogrammetria?

- E' il metodo più **rapido** per poter effettuare un rilievo.
- E' una tecnologia non distruttiva, non invasiva, **economica, senza contatto**.
- Può essere applicata anche in **condizioni ambientali sfavorevoli**.
- Restituisce un modello 3D con **informazioni metriche precise** e buona qualità dell'aspetto cromatico
- Applicabile sia **su superfici estese** (complessi architettonici) **che su piccoli oggetti** (statue, quadri, affreschi...)
- Elaborazione delle immagini **automatica o semi automatica** con software commerciali, gratuiti e **"open source"**.
- Utile per costituire una **banca dati** implementabile, per successive, periodiche valutazioni nel tempo

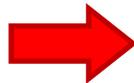
Introduzione alla fotogrammetria

Definizione FOTOGRAMMETRIA:

tecnica di rilievo che consente di fissare posizione, forma e dimensioni degli oggetti sul terreno, utilizzando le informazioni contenute in opportune immagini fotografiche degli stessi oggetti, riprese da punti diversi

La fotogrammetria viene classificata in base a:

- tipo di presa utilizzata
- tipo di elaborazione
- tipo di fotografia utilizzata



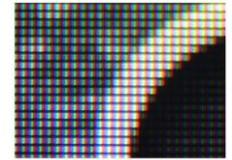
Tipo di presa	Tipo di elaborazione	Tipo di fotografia
Fotogrammetria terrestre Le prese avvengono da terra; in questo caso gli oggetti si trovano a distanze inferiori a 200 m; per cui si parla anche di <i>fotogrammetria dei vicini</i> (rilievo di edifici)	Fotogrammetria analogica La ricostruzione degli oggetti rilevati si ottiene con <i>dispositivi fisici</i> (bacchette metalliche, raggi luminosi) che riproducono all'inverso il fenomeno della presa	Fotogrammetria classica Le fotografie sono ottenute dallo <i>sviluppo</i> di emulsioni fotosensibili su <i>pellicola</i> , o su <i>lastre</i> di vetro (in negativo e in positivo)
Fotogrammetria aerea Le prese avvengono da un aereo; in questo caso il terreno si trova a distanze superiori a 200 m; per cui si parla anche di <i>fotogrammetria dei lontani</i> (rilievo del territorio)	Fotogrammetria analitica La ricostruzione degli oggetti rilevati si ottiene elaborando numericamente (con moderni strumenti di calcolo) opportune <i>misure</i> effettuate direttamente sui fotogrammi	Fotogrammetria digitale Le fotografie sono ottenute sotto forma <i>numerica</i> e organizzate in un <i>grigliato</i> di pixel. Possono essere ottenute sia da una <i>macchina digitale</i> , sia per <i>scansione</i> di una fotografia tradizionale

La fotogrammetria si basa sul principio della visione stereoscopica: la visione dell'oggetto da due punti di vista

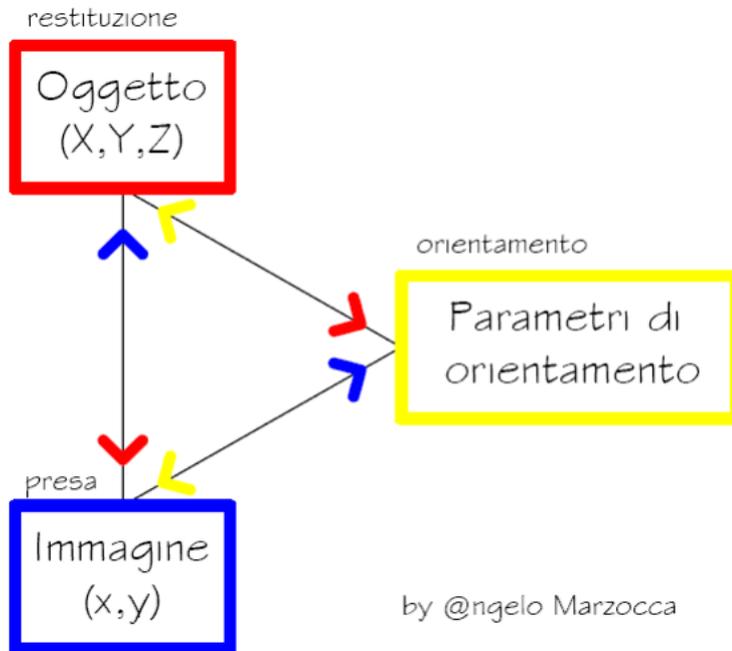
Il processo fotogrammetrico

Fotogrammetria digitale

- Restituzione del modello 3D partendo da immagini 2D, ottenute sotto forma numerica ed organizzate in modo da comporre un griglia fissa rettangolare (pixel)
 - La risoluzione dell'immagine è descritta in PPI (pixel per pollice)
- Approccio multi-immagine
- Da un set di immagini digitali 2D, (ottenute con una comune macchina fotografica o con uno smartphone) che vengono elaborate dal software, si estraggono dati tridimensionali.
- Tecnica di elaborazione “Structure from Motion” (SfM):
 - Basata su algoritmi di Computer Vision, la SfM estrae i punti notevoli dalle singole foto, li incrocia, trovandone le coordinate nello spazio.
 - Per poter ricostruire la tridimensionalità di una scena è necessario ricostruire la posizione di scatto delle singole fotografie, la cosiddetta geometria di presa.



Il processo fotogrammetrico



3 Sistemi

Presa, dall'oggetto nello spazio (X,Y,Z) e con una macchina di parametri noti si giunge alla definizione dell'immagine (x,y) ;

Orientamento, dall'oggetto nello spazio (X,Y,Z) e dall'immagine (x,y) si determinano i parametri dell'orientamento;

Restituzione, dall'immagine (x,y) e dai parametri dell'orientamento si ricavano le coordinate spaziali dell'oggetto (X,Y,Z) .

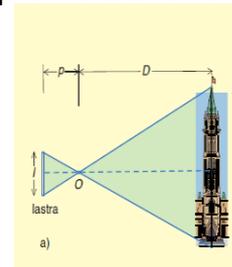
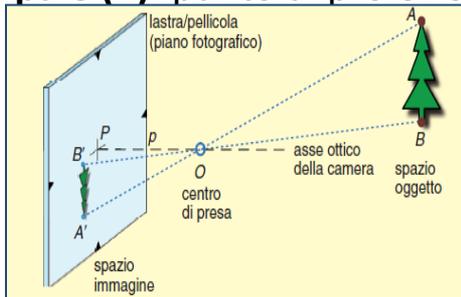
Definire la relazione (**proiettività**) che lega in modo univoco:

- ❖ i punti $P (X,Y,Z)$ dello **spazio oggetto 3D**
- ❖ I punti $p (x,y)$ dello **spazio immagine 2D**
- ❖ I parametri di **orientamento** (funzione della presa fotografica)

Il processo fotogrammetrico

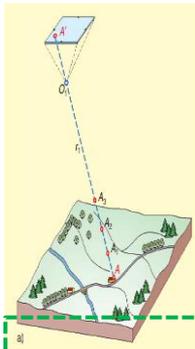
DEFINIZIONI:

- **Centro di presa O:** punto dell'obiettivo della camera
- **Distanza principale (p):** distanza di O dal piano della lastra $p =$ distanza focale dell'obiettivo
- **Punto principale (P):** punto di proiezione di O sul piano della lastra

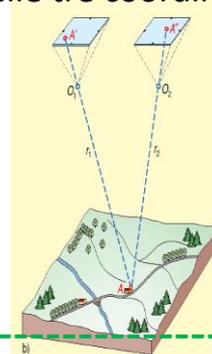


$$PO = p$$

- Da ogni punto dello spazio oggetto (definito da tre coordinate) è possibile determinare il relativo punto immagine (in due coordinate)
- **Dallo spazio immagine non esiste una soluzione univocamente determinata**, ma una infinità di soluzioni, ottenute fissando un valore arbitrario ad una delle tre coordinate spaziali.



- ❑ Una sola immagine nel piano non contiene informazioni sufficienti a definire la posizione e le dimensioni di un oggetto 3D



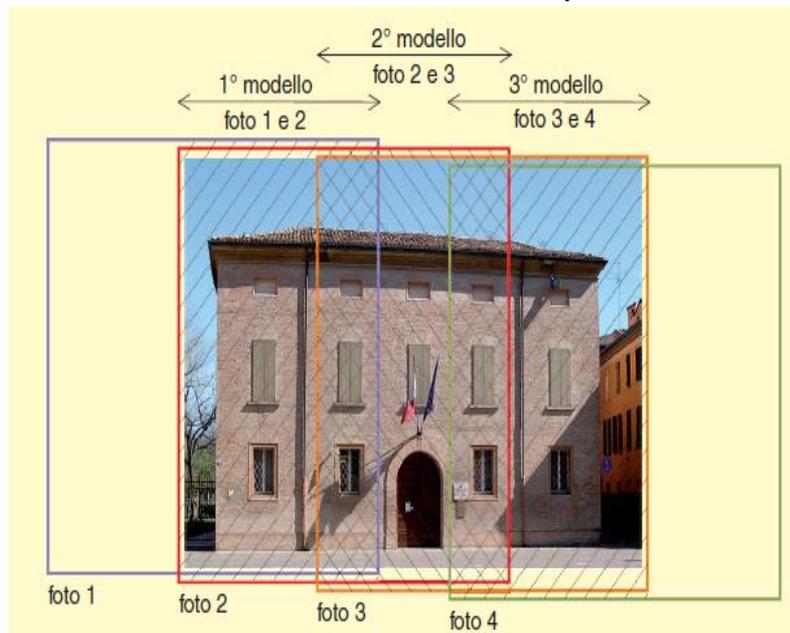
- ❑ Sono necessarie almeno due immagini che riprendono lo stesso oggetto (due punti di presa), osservato da due differenti punti di presa O1 e O2

Le rette r_1 e r_2 rappresentano il sistema di equazioni di "COLLINEARITA'" ottenute da relazioni di geometria analitica (fotogrammetria analitica)

Il processo fotogrammetrico

Le fasi del rilievo fotogrammetrico

- **ACQUISIZIONE:** operazioni riguardanti la presa delle immagini fotografiche (scansione fotogrammetrica), effettuate con opportune macchine fotografiche, dette camere, e opportune tecniche;
- **ORIENTAMENTO:** nella quale si posizionano le prese fotografiche e si risale al loro orientamento
- **RESTITUZIONE:** operazioni che consentono di effettuare misure sul modello 3D dell'oggetto ricostruito, utilizzando software specifici



OSSERVAZIONE: Affinché gli stessi punti dell'oggetto siano ripresi in **due fotogrammi consecutivi**, è necessario che questi presentino un'area (detta di **sovrapposizione**) in cui **entrambi** contengano la stessa porzione di oggetto.

Principale svantaggio: richiesta di notevoli risorse hardware e software per l'elaborazione delle immagini

Il processo fotogrammetrico

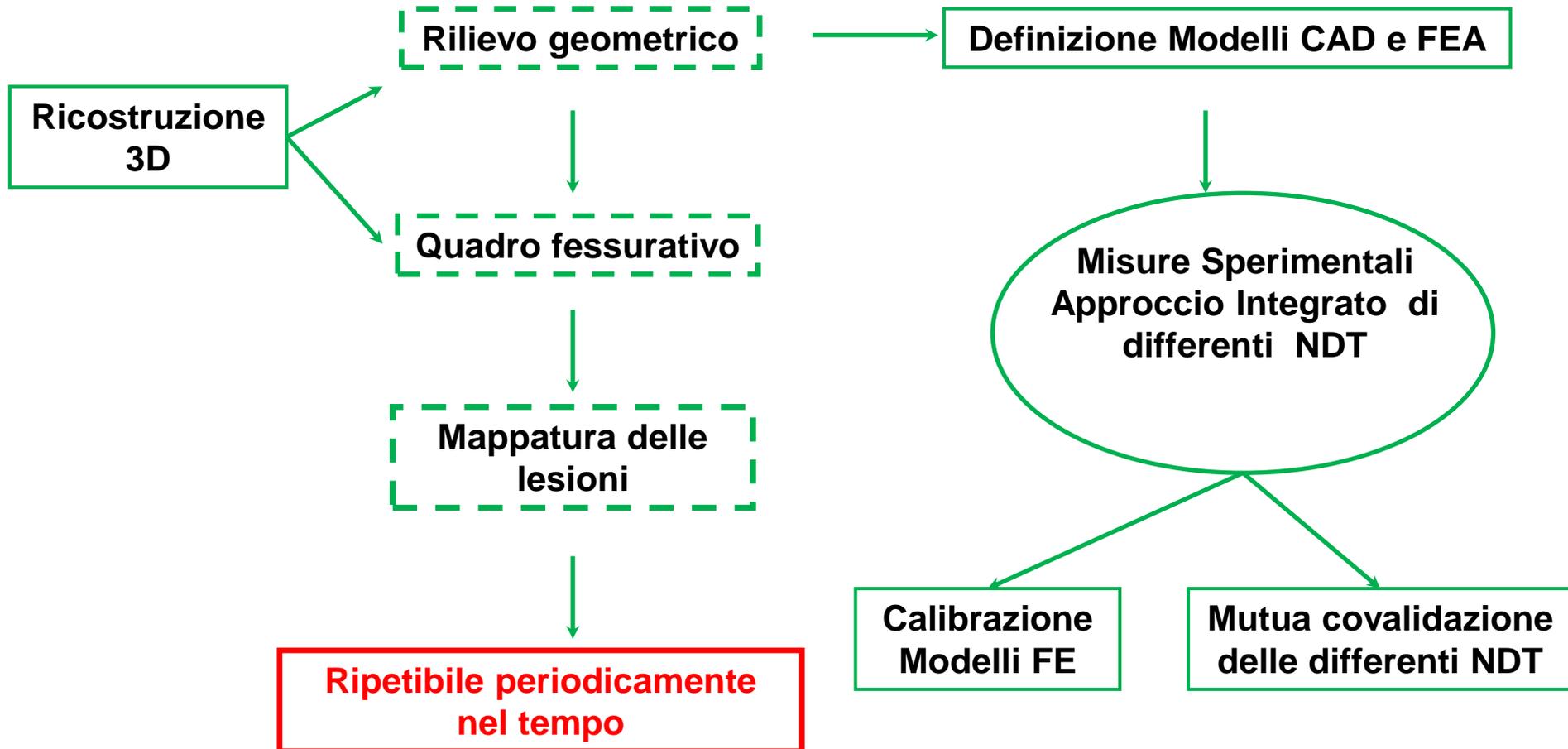
Restituzione 3D fotogrammetrica dalle immagini digitali 2D via SfM



Workflow base per la ricostruzione 3D

Il processo fotogrammetrico

**Approccio allo studio per l'analisi della possibile evoluzione del danno:
la catena di modellazione via ENEAGRID**



Rilievo fotogrammetrico della Sanguigna di Bernini Palazzo Chigi (Ariccia)

Obiettivo: documentare lo stato di conservazione dell'opera

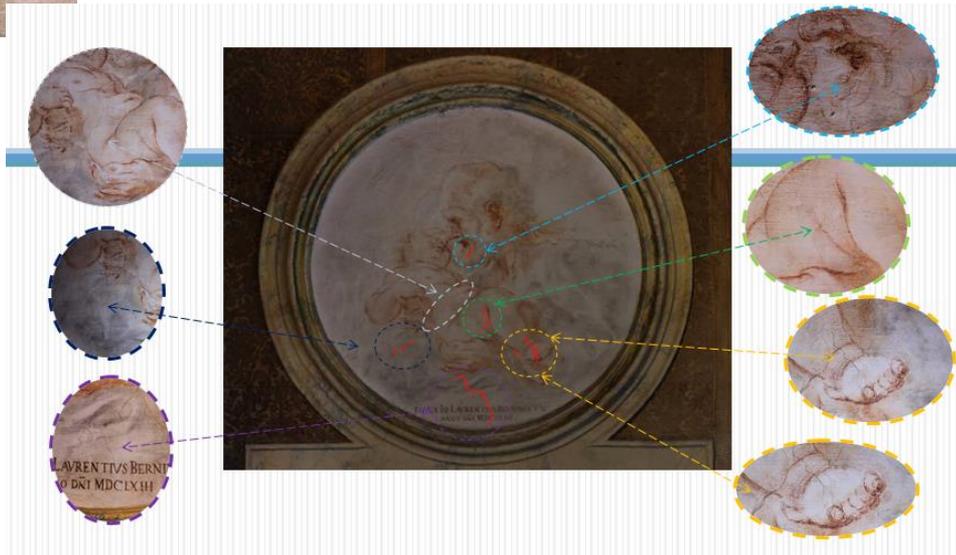


❖ FOTOGRAMMETRIA

- ❑ Canon D60,
- ❑ 136 immagini,
- ❑ Dimensioni 5184x3456 pixels
- ❑ 6MB ciascuna;
- ❑ Distanza focale 18mm



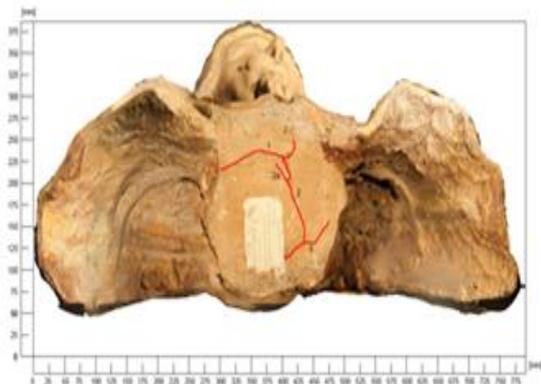
Lesione barba



Lesione piedino

Rilievo fotogrammetrico del busto in terracotta di Alessandro VII Chigi (Galleria Corsini – Roma)

Obiettivo: documentare lo stato di conservazione dell'opera e mettere in evidenza alcuni particolari nascosti



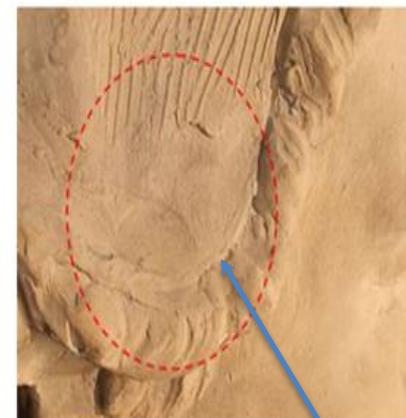
Crack at the basis	
Code	Length [mm]
1	142,4
2	115,1
2a	27,2
3	90,0



Arricchire la documentazione del museo



Crack on the right shoulder		7	25,0
Crack code	Length [mm]	8a	6,60
1	18,0	8b	8,70
2	24,5	8c	11,8
3a	7,50	9	21,3
3b	42,5	10	10,0
4	9,40	11	16,0
5	12,0	12a	5,30
6a	15,0	12b	6,60
6b	7,10	13	10,0
		14a	16,3
		14b	23,0

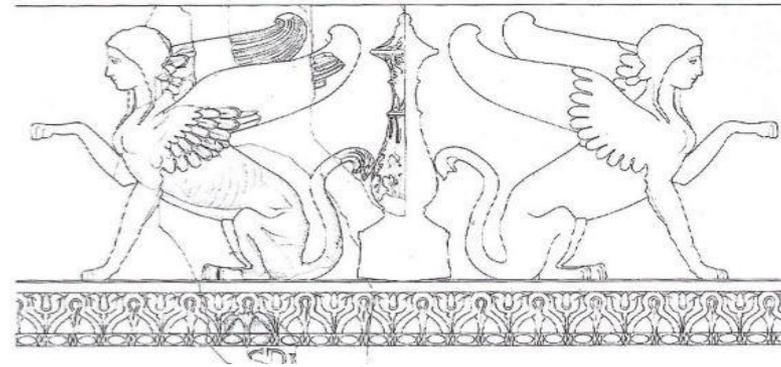


Impronte del Bernini

Il Fregio delle Sfingi: Museo dei Fori Imperiali – Foro di Traiano e Basilica Ulpia

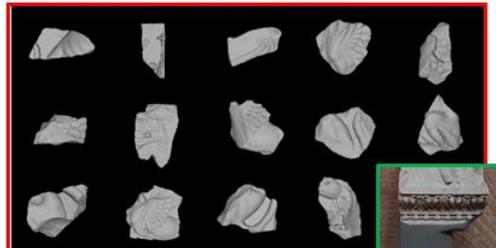


Obiettivo: proporre un' ipotesi di ricostruzione virtuale partendo da alcuni frammenti



Analisi dei frammenti

- 14 frammenti appartenenti a figure orientate verso sinistra
 - > 2 non manovrabili per peso e posizione
- 1 elemento di un altro fregio-architrave del primo ordine della Basilica Ulpia



Ricostruzione 3D fotogrammetrica della base del fregio-architrave con un elemento di “ kimalessio trilobato ”

Immagine digitale 2D



Ricostruzione 3D via SfM



Particolare della Ricostruzione 3D



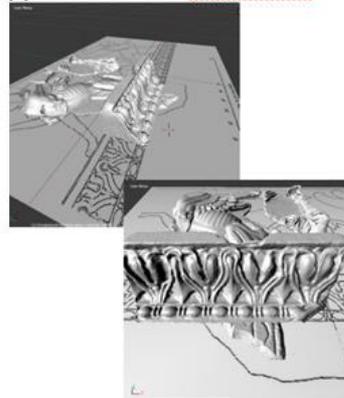
Il Fregio delle Sfingi: Museo dei Fori Imperiali – Foro di Traiano e Basilica Ulpia

Ipotesi di ricostruzione virtuale dalle restituzioni 3D



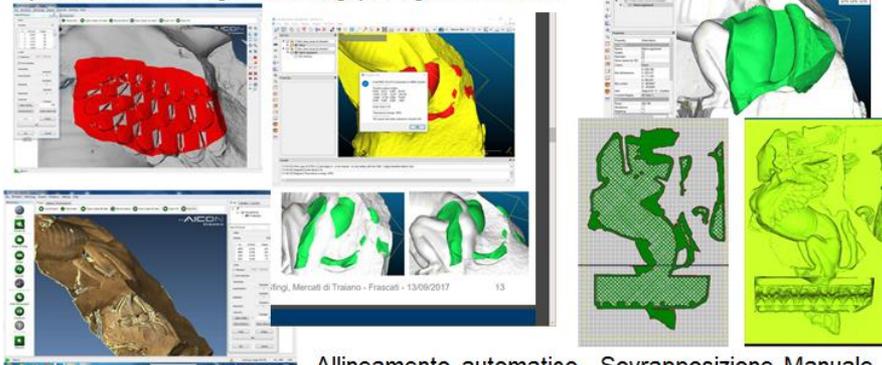
Allineamento manuale di 5 frammenti:
FT3662; FT3663; FT3664; FT3685; FT5954

Sovrapposizione del kimaesbio trilobato



Ipotesi di ricostruzione virtuale dalle restituzioni 3D

Operazioni di Editing e Cleaning per ogni frammento



Allineamento automatico - Sovrapposizione Manuale

Realizzazione di due stampe 3D



C.R. ENEA FAENZA

Approccio integrato: scansioni 3D a luce strutturata e fotogrammetria

Rilievo fotogrammetrico in supporto alla diagnostica Palazzo Vescovile (Frascati)

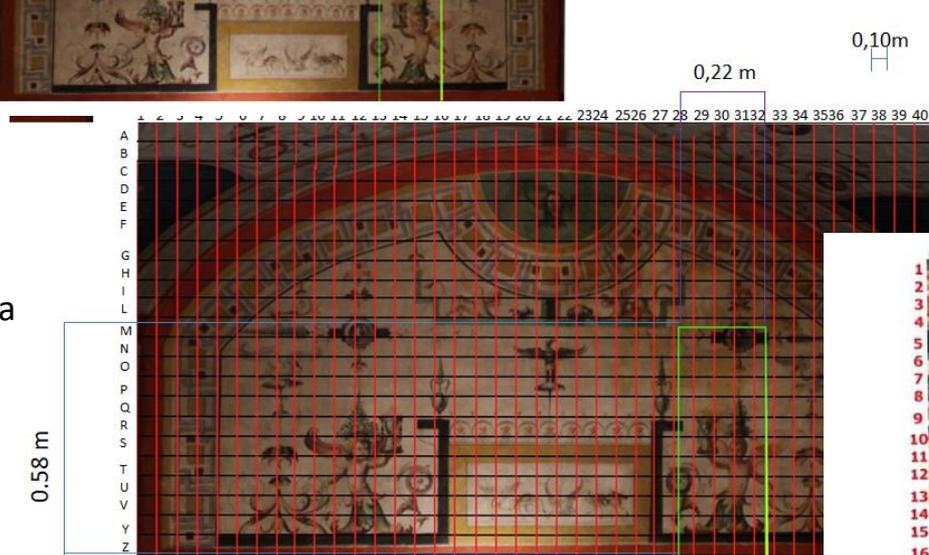
Rilievo 3D della volta a botte della sala denominata stufetta 1
Obiettivo: localizzare le aree di biodegrado e monitorarle nel tempo



Ricostruzione 3D fotogrammetrica



Nikon D60
160 immagini
10 Mpi



Approccio integrato: fotogrammetria – Fluorescenza indotta laser (LIF)

Le Mura Aureliane-Torre L2

Museo delle Mura (Porta San Sebastiano)

Obiettivo: monitoraggio e controllo dell'evoluzione del quadro fessurativo nel tempo - Torre L2

Le Mura Aureliane



- Prima cinta urbana
- nasce come difesa sacrale non militare (VI secolo A.C. -Servio Tullio)
- successivamente assume caratteristiche difensive (III secolo A.C.)
- fortezza inespugnabile con 383 torri, 7020 merli, 5 postierle principali, 2066 grandi finestre esterne (VI secolo)
- 19 km di estensione
- caso studio: macroelemento "torre L2" "accessibile da "Porta Appia", oggi nota come "Porta S. Sebastiano"

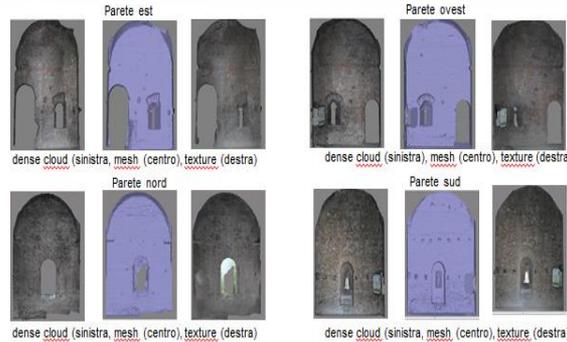


Porta San Sebastiano



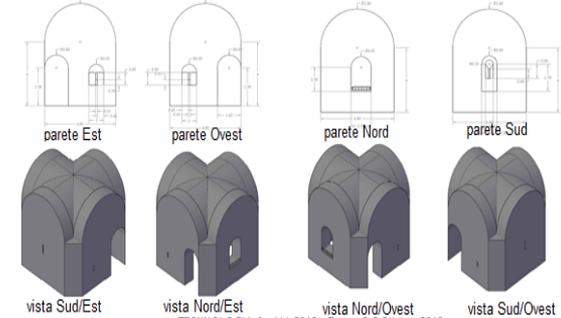
Inquadratura torre L2

Torre L2: Rilievo geometrico dalla restituzione 3D fotogrammetrica

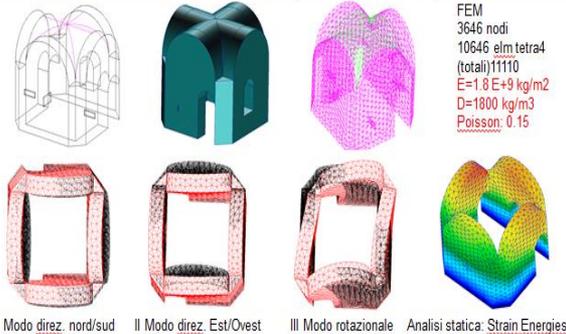


Torre L2: Rilievo geometrico Restituzione 3D fotogrammetrica

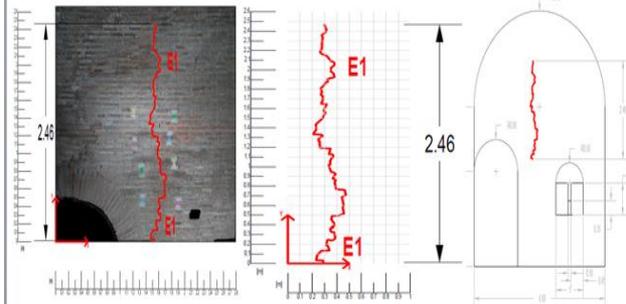
Elaborazione	Qualità	Cameras Aligned	Tie Points	Dense Cloud Points	3D Model Faces
Torre L2	Medium	293.293	79.889	10.042.153	1.794.696



Torre L2: Modello e analisi preliminare FE



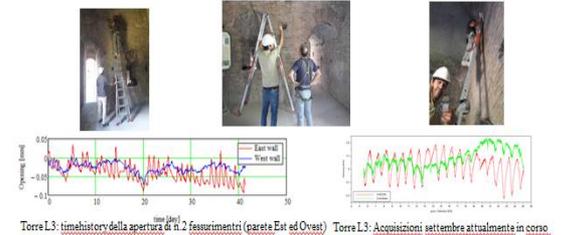
Torre L2: Quadro fessurativo parete est



Nuova campagna di misure con sensori FBG

Nuova installazione sensori FBG per il monitoraggio in continuo (settembre 2018)

- delle lesioni sulle pareti della torre L3
- in alcuni tratti del camminamento esterno



Approccio integrato: fotogrammetria e sensori FBG per il monitoraggio strutturale

Conclusioni

- ❖ L'uso della fotogrammetria, grazie al suo costo relativamente basso, permette la realizzazione di un rilievo 3D in modo rapido.
- ❖ E' di ausilio alle attività sperimentali in laboratorio e in campo.
- ❖ L'infrastruttura ICT, dell' ENEA, per il Patrimonio Culturale, già da tempo disponibile, via web, da remoto, consente, di fruire di risorse hardware e software, per la definizione e la visualizzazione dei modelli 3D, di aree per la condivisione e l'archiviazione dati, geograficamente distribuite e virtualmente illimitate
- ❖ L'integrazione delle tecnologie digitali, dell'informatica e della storia dell'arte, favorisce un arricchimento nella conoscenza per uno studio più approfondito del patrimonio culturale
- ❖ Le diverse applicazioni illustrate sono replicabili agli elementi del patrimonio culturale presenti nel VI municipio di Roma

Grazie!

Marialuisa Mongelli
marialuisa.mongelli@enea.it



```
1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000
```

