

ENEA ICT: EVOLUZIONE DI UN PERCORSO PER LA CATENA DEL VALORE DEI BENI CULTURALI³

1. CRESCO6 e i Virtual Lab

CRESCO6, sviluppata da ENEA, è la più importante infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni del sud d'Italia: è, infatti, presente nella lista dei "Top500 Supercomputer Sites", che elabora semestralmente una classifica tra i primi 500 siti con la maggior potenza di calcolo installata al mondo utilizzando sistemi standard di valutazione accettati dalla comunità *High Performance Computing* (HPC) ed è, inoltre, uno dei nodi della rete GARR (*Gruppo per l'Armonizzazione della Rete della Ricerca*) a banda ultra larga dedicata alla comunità dell'istruzione, della ricerca e della cultura. Tale infrastruttura è in grado di fornire servizi computazionali avanzati all'insieme dell'utenza ENEA e dei suoi partner pubblici e privati in tutti gli ambiti applicativi nei quali l'Agenzia è attiva: applicazioni energetiche (combustione, fluidodinamica), codici nucleari e della fusione, modelli climatologici e ambientali, struttura della materia, modellistica per reti e infrastrutture critiche, remotizzazione di grandi strumenti e bioinformatica.

È una infrastruttura complessa, in grado di erogare una potenza superiore ai 25 Teraflops, ed è basata su un cluster di 434 nodi (server), ciascuno dotato di risorse hardware di alto livello per un totale di 20832 *core*. Tutte queste risorse sono accessibili tramite un sistema remoto basato sul protocollo SSH, che consente agli utenti di lavorare con esse in un ambiente personale e condiviso. È dotata di un sistema di autenticazione unico e su File System GPFS (*General Parallel File System*), noto anche come IBM Spectrum Scale e AFS (*Andrew File System*).

Completamente immerse nell'infrastruttura CRESCO, sono state sviluppate delle piattaforme accessibili via web denominate "laboratori virtuali" (*Virtual Labs*) che hanno per obiettivo quello di mettere a sistema strumentazione d'eccellenza, risorse hardware e software, aree di *storage* virtualmente illimitate, al

¹ ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, Divisione ICT, Laboratorio HPC, marialuisa.mongelli@enea.it.

² ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, Divisione ICT, Laboratorio HPC.

³ Sebbene il testo sia il frutto del lavoro congiunto degli autori, sono da attribuire a Marialuisa Mongelli i paragrafi 1, 2, 3 e 6; a Marco Puccini i paragrafi 4 e 5.

fine di costituire veri e propri laboratori aperti per integrare e rafforzare competenze e facilitare la collaborazione di esperti che operano in un determinato settore.

I *Virtual Labs* sono accessibili attraverso un'interfaccia web di tipo *user friendly*, che può essere personalizzata in base alle specifiche esigenze del laboratorio virtuale, sviluppata con tecnologia chiamata FARO (*Fast Access to Remote Objects*), basata su JavaFX (e anche su HTML5, CSS3 e JavaScript), che utilizza il protocollo FREENX tramite un tunnel SSH per accedere a qualsiasi risorsa computazionale disponibile sulla griglia ENEA⁴.

2. Il Virtual Lab IT@CHA

Il laboratorio virtuale IT@CHA (*Italian Technologies for advanced applications on Cultural Heritage*), nato dall'omonimo progetto, ormai concluso, finanziato nell'ambito del Programma Nazionale (PON) *Ricerca e Competitività 2007-2013* (<http://www.progettoitacha.it>), è un laboratorio multimediale avanzato in continuo sviluppo, dedicato al settore dei beni culturali, con accesso web remoto in grado di condividere risorse hardware e software per la definizione di modelli numerici, dalle ricostruzioni 3D da nuvole di punti (*Digital Twins*) ai modelli agli elementi finiti (FE) per l'analisi strutturale (fig.1).

Il laboratorio virtuale opera sull'intera catena di modellazione numerica, secondo i principi FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) per l'uso integrato degli strumenti, con l'obiettivo di evidenziare l'interoperabilità, la scalabilità e la versatilità. I principi FAIR nascono da una pubblicazione sulla rivista «Scientific Data» nel 2016, a opera di un consorzio di scienziati (Wilkinson et al., 2016). Da questa pubblicazione ha preso vita la *GO FAIR Initiative*, che si impegna nella diffusione di tali principi, ormai fatti propri dalla Commissione Europea. L'impatto stimato nell'adottare questi principi è pari a circa il 78% dei finanziamenti Horizon 2020 (EU Commission, 2019). È importante sottolineare che questi principi si riferiscono sia ai dati e metadati che alle infrastrutture che li gestiscono/organizzano/archiviano. Potenziando e arricchendo gli strumenti software, si sviluppano e si ampliano anche le opportunità che le loro applicazioni possono offrire ai beni culturali. Far propri questi principi significa adottare standard riconosciuti e aperti per i dati e metadati, per la loro trasmissione e comunicazione, e per i software utilizzati, e mettere a disposizione del resto della comunità scientifica e degli studiosi i propri dati e risultati ottenuti, in modo regolamentato, tutelando i diritti di attribuzione e favorendone la diffusione e lo scambio (Canciani, Saccone et al., 2020).

⁴ Si veda il sito <https://www.eneagrid.enea.it> (ultimo accesso: novembre 2023).

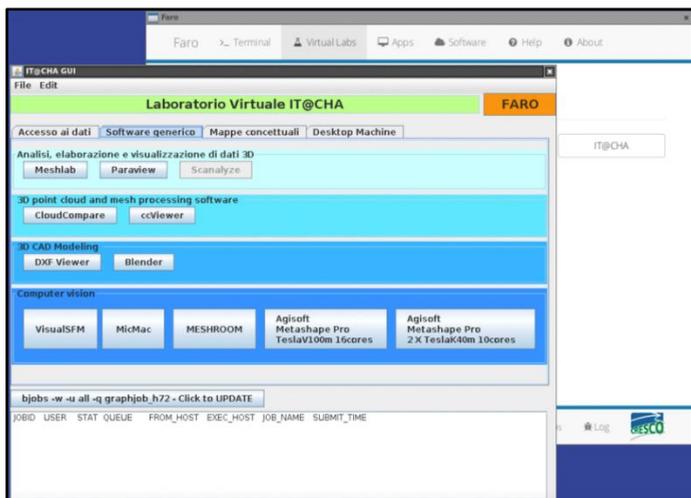


Figura 1. Interfaccia grafica del *Virtual Lab IT@CHA*.

Ciò premesso, il *Virtual Lab IT@CHA* offre capacità hardware e software per definire modelli 3D, nonché aree per condividere immagini, documenti, dati sperimentali e archiviare grandi volumi di dati, con capacità di calcolo virtualmente illimitata, su sistemi di file geograficamente distribuiti come AFS, GPFS o su ownCloud. Inoltre, un sistema innovativo denominato E3S (Enea *Sharing Staging Storage*) consente di caricare i risultati sperimentali e/o computazionali in un'area unica per renderli disponibili ai ricercatori (Iannone, Bellagamba et al., 2017).

IT@CHA sfrutta le risorse di calcolo di un *pool* di macchine dell'infrastruttura, dedicate alle applicazioni grafiche. In particolare, la piattaforma offre la possibilità di ottenere ricostruzioni fotogrammetriche attraverso il software *Agisoft Metashape*, la loro manipolazione tramite il software *Meshlab* (sviluppato da ISTI-CNR) oltre ad altri software *open source* per l'elaborazione grafica tridimensionale. Il controllo remoto di queste applicazioni è gestito da un componente software della piattaforma che ridirige il *rendering* sfruttando le risorse dei server remoti. Ciò permette, quindi, sia l'elaborazione intensiva che il *rendering* dell'ambiente grafico.

Nella tabella 1 sono mostrate le caratteristiche hardware delle macchine con le quali opera la piattaforma.

Hostname	CPU	Memory	GPU
cresco6-nvi1	2x Intel Xeon Platinum 8160 2.10GHz 48 cores	192 GB	Nvidia Tesla V100 32 GB
cresco6-nvi2	2x Intel Xeon Platinum 8160 2.10GHz 48 cores	192 GB	Nvidia Tesla V100 32 GB
cresco4-nvi1	2x Intel Xeon E5-2680 2.80 GHz 20 cores	64 GB	2x Nvidia K40m 12GB

Tabella 1. Caratteristiche hardware del *Virtual Lab IT@CHA*.

Grazie a IT@CHA, è possibile quindi lavorare in remoto con molti strumenti software, all'interno dello stesso ambiente, garantendo interoperabilità e integrazione. Nel corso degli anni sono state sviluppate nuove implementazioni e funzionalità, come un moderno database *NoSQL* dedicato per archiviare i metadati degli oggetti digitali, rendendoli disponibili per ulteriori lavori e ricerche e per integrarsi facilmente con servizi di visualizzazione avanzati come 3D HOP per la visualizzazione di oggetti 3D o il server *IIPImage* per immagini ad alta risoluzione di gigapixel. Queste nuove capacità sono ospitate su una macchina virtuale dedicata e gestita in un cluster VMWare per garantire ridondanza e *backup*⁵.

3. I Digital Twins per la protezione, la conservazione, la valorizzazione

Vengono qui di seguito illustrate alcune applicazioni *Digital Twins* di elementi mobili e immobili del patrimonio artistico, realizzati per differenti finalità, da remoto, mediante il *Virtual Lab* IT@CHA, grazie ad accordi con università, istituzioni ed enti museali intervenuti nello svolgimento di numerosi progetti finanziati nell'ambito del Distretto Tecnologico Beni e Attività Culturali del Lazio (*DTCLazio*)⁶.

Nello specifico, si vuol porre in evidenza l'utilizzo integrato di diverse tecnologie digitali in supporto anche alla diagnostica.

3.1. Il modello 3D fotogrammetrico del Ninfeo Ponari (Cassino)

Tra i casi studio selezionati nei progetti ADAMO (*Analisi, Diagnostica e Monitoraggio*) ed ECODIGIT (*Ecosistema Digitale per la fruizione e la valorizzazione dei beni e delle attività culturali del Lazio*), è stato individuato il Ninfeo Ponari a Cassino, un edificio romano risalente tra il I e il II secolo a.C., composto da una stanza a volta completamente aperta su un lato verso uno spazio "atrio" con solo due pareti laterali opposte e senza soffitto.

Sull'opera è stato eseguito un intervento di monitoraggio strutturale. La metodologia operativa si è basata sull'integrazione di tre differenti tecniche di monitoraggio: definizione del modello 3D fotogrammetrico mediante tecnica *Structure from Motion* (SfM) (Gruen, 2012), rilievi topografici robotizzati e installazione di una rete di fessurimetri basati su sensori in fibra ottica FBG.

Il modello fotogrammetrico (fig. 2, a sinistra) ha permesso di poter evidenziare le lesioni principali (fig. 2, a destra) e produrre il modello strutturale agli elementi finiti (FE) (fig. 2, in basso).

⁵ Si veda heritagescience.portici.enea.it (ultimo accesso: novembre 2023).

⁶ Si veda <https://dtclazio.it> (ultimo accesso: novembre 2023).

È stato pertanto definito uno stato di riferimento zero al fine di ripetere le scansioni periodicamente nel tempo, monitorando così l'evoluzione delle lesioni già presenti ed eventualmente evidenziando la comparsa di nuove, in supporto a una pianificazione degli interventi di protezione e conservazione dell'opera.

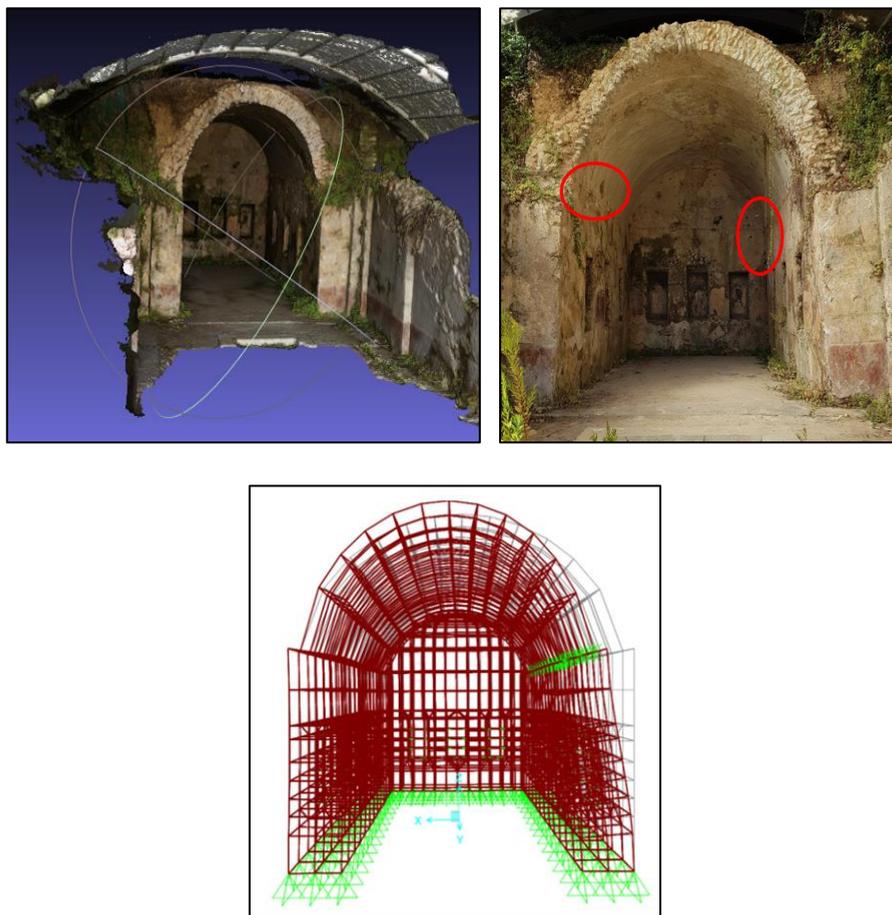


Figura 2. Dal rilievo fotogrammetrico al modello agli elementi finiti (FE). Rilievo fotogrammetrico (a sinistra); localizzazione delle lesioni (a destra) e modello FE (in basso).

Grazie al *Virtual Lab IT@CHA*, sono state elaborate 703 immagini da 9 MB ciascuna ottenendo una ricostruzione 3D a scala reale. Come risultato finale è stato ottenuto un modello con una nuvola densa di 54.951.276 punti; le principali lesioni sono state localizzate, misurate e, successivamente, monitorate mediante l'utilizzo di FBG.

La ricostruzione fotogrammetrica è stata, inoltre, utilizzata per mettere in evidenza la presenza di macchie di muffa, distacco di piastrelle e intonaco, deterioramento/sfaldamento del colore qualitativo e macchie di umidità.

3.2. Il busto di Bernini (Galleria Corsini-Roma)

Il progetto WeACT3 (*Agire insieme-Tecnologie per l'Arte, la Cultura, il Turismo e il Territorio*), firmato congiuntamente dall'Associazione CIVITA, di cui l'ENEA è membro onorario, e dalle Gallerie Nazionali Barberini e Corsini, ha avuto come scopo quello di migliorare la visibilità di opere d'arte poco conosciute, attirare diversi tipi di pubblico e arricchire la documentazione del sito web del museo.

Nell'ambito di questo progetto è stato realizzato il modello 3D fotogrammetrico di un busto in terracotta, ritratto di Alessandro VII Chigi, attribuito a Gian Lorenzo Bernini, situato presso la Galleria Corsini a Roma. Il busto è posizionato su un tavolo, di fronte a una parete che consente solo una vista frontale; per questa ragione, il primo obiettivo di questo studio era creare un modello 3D completo in cui fossero disponibili i dettagli nascosti non facilmente accessibili.

Una ditta specializzata ha spostato il busto movimentandolo in diverse posizioni che hanno consentito di scattare molte foto anche del retro e della base, di solito non visibili. Di conseguenza, la restituzione virtuale 3D è stata ottenuta collegando le diverse ricostruzioni provenienti da scansioni digitali 2D frontali, posteriori e alla base.

Sono state acquisite più di 500 immagini 2D, circa 400 sono state elaborate: 223 immagini in posizione verticale e 161 in posizione orizzontale.

La definizione del modello 3D fotogrammetrico (Mongelli, Bellagamba et al., 2022), metricamente corretto, ha permesso di misurare la lunghezza e la larghezza delle cricche esistenti sulla scultura in terracotta, anche nelle parti nascoste.

Inoltre, il modello 3D ha messo in luce le impronte digitali di Gian Lorenzo Bernini lasciate sulla "papalina" di Alessandro VII Chigi durante la realizzazione della scultura (fig. 3).

L'elaborazione del modello 3D tramite tecnica fotogrammetrica non è solo una soluzione valida per mostrare e studiare un elemento del patrimonio artistico, ma anche una tecnica estremamente utile per acquisire informazioni geometriche e strutturali in breve tempo, con costi ridotti, in modo non invasivo e per mettere in evidenza importanti dettagli.

Avendo a disposizione le risorse computazionali dell'infrastruttura di calcolo ENEA, le scansioni fotogrammetriche via SfM (*Structure from Motion*), periodicamente ripetute, mediante il confronto tra i modelli messi a punto dalle ricostruzioni 3D, rappresentano una metodologia veloce e non invasiva, anche laddove non è possibile l'utilizzo di tecnologie più costose e/o invasive.



Figura 3. Ricostruzione 3D fotogrammetrica. Rilievo delle cricche alla base (in alto); rilievo delle cricche sulla spalla (al centro) e impronte digitali (in basso). (Fonte: fotografie ed elaborazioni a cura della divisione ICT dell'ENEA).

3.3. Il Fregio delle Sfingi (Mercati traianei-Roma)

Nell'ambito del progetto COBRA (*Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la CONservazione dei Beni CultuRALi, basati sull'applicazione di radiazioni e di tecnologie abilitanti*), mediante le *facility* di calcolo del *Virtual Lab IT@CHA*, è stata realizzata, un'ipotesi di ricostruzione virtuale 3D del "Fregio delle Sfingi", al Foro di Traiano a Roma. Il "Fregio delle Sfingi", uno dei fregi dell'epistilio posizionati nell'abside della Basilica Ulpia, raffigurava sfingi sedute, con candelabri dietro di loro, il cui motivo si ripeteva per tutta la sua lunghezza come mostrava un disegno reso disponibile dalla Soprintendenza per i Beni Culturali del Comune di Roma.

Partendo da 15 frammenti, 14 dei quali riconducibili al fregio e 1 relativo all'architrave di un altro fregio dalle caratteristiche simili, l'obiettivo di questo lavoro, oltre quello di implementare la documentazione museale e la conoscenza degli esperti, mirava a mostrare l'efficacia dell'integrazione delle nuvole di punti ottenute con la fotogrammetria e le tecnologie a luce strutturata per definire un modello numerico 3D metricamente corretto, riposizionando alcuni degli elementi messi a disposizione come pezzi di un puzzle su un disegno fornito dalla sovrintendenza capitolina.

Come primo passo, è stato ottenuto un modello numerico 3D di ciascun frammento acquisito mediante luce strutturata; tutti i modelli sono stati scalati geometricamente sulla base delle misure reali. Successivamente, per procedere con la ricostruzione del fregio, le *mesh* dei singoli file sono state alleggerite riducendo significativamente il numero degli elementi.

Le ricostruzioni 3D di alcuni frammenti sono state sovrapposte e allineate semi-automaticamente sul disegno, mentre altre parti, sono state elaborate manualmente, mediante operazioni di *cleaning* e *editing* utilizzando diversi software (*Mesblab* e *CloudCompare*, ecc.) disponibili su griglia ENEA. Inoltre, la ricostruzione fotogrammetrica 3D del frammento relativo all'architrave attribuito a un altro fregio, ma con caratteristiche simili a quello delle Sfingi, è stato integrato e sovrapposto al disegno: il risultato finale è stato ottenuto utilizzando il software *Blender*.

Lo studio condotto attraverso l'analisi di immagini digitali 2D, con tecnologie complementari, ha permesso, inoltre, di produrre i file adeguati a elaborare una possibile ipotesi di ricostruzione 3D del fregio e due stampe 3D (fig. 4) in poliammide per consentire una fruizione del modello 3D anche a un pubblico diversamente abile (Pierattini, Calosso et al., 2018).

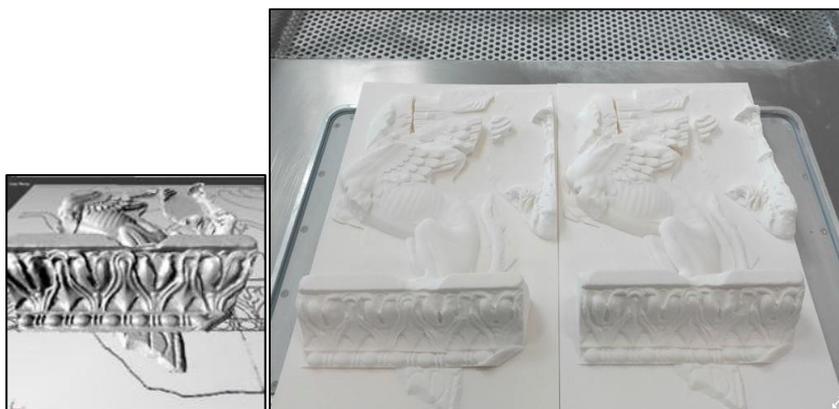


Figura 4. Ipotesi di ricostruzione 3D (a sinistra) del fregio e stampe 3D (a destra). (Fonte: elaborazioni e foto a cura della divisione ICT dell'ENEA).

4. Ottimizzazione della piattaforma IT@CHA

L'ottimizzazione della piattaforma IT@CHA fa parte del progetto di ricerca promosso da ENEA e dall'Università Roma Tre per studi congiunti sul patrimonio culturale. L'obiettivo della collaborazione è stato quello di consentire l'acquisizione, la gestione e la presentazione di Digital Twins per i beni culturali, attraverso servizi software avanzati, integrati in un singolo ecosistema digitale dedicato alla conoscenza del patrimonio artistico (Puccini, Camassa et al., 2021).

Con questo obiettivo, sono state svolte attività sperimentali nel caso studio della Basilica di San Nicola in Carcere a Roma, riguardanti l'integrazione di diverse tecnologie di ricostruzione 3D. In particolare, è stato effettuato uno studio relativo all'ottimizzazione dei componenti dell'ecosistema dedicati all'acquisizione di *dataset* provenienti da rilievi strumentali effettuati con diverse metodologie e all'elaborazione di modelli analitici tridimensionali per supportare le attività di ricerca. A partire da alcune scansioni *laser* e fotogrammetriche, realizzate con la strumentazione dal Laboratorio RiTEC del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, mediante l'utilizzo remoto delle *facility* di calcolo disponibili sul *Virtual Lab* IT@CHA, sono state allineate le differenti nuvole di punti. Inoltre, sono state eseguite due campagne di rilievo fotogrammetrico, con l'obiettivo di elaborare, attraverso la metodologia SfM (*Structure from Motion*), una nuvola di punti densa e ortofotografie dettagliate della muratura all'interno della cripta.

Grazie alla disponibilità in griglia di una serie di software accessibili su IT@CHA è stato possibile definire una modalità di operazioni per la gestione delle nuvole di punti ottenute dal processo di acquisizione di dati. Inoltre, nel caso delle ricostruzioni fotogrammetriche sono state monitorate le risorse di calcolo impiegate e i tempi di esecuzione al fine di stimare le prestazioni dell'algoritmo SfM per ogni singolo *step* di elaborazione dei dati.

Nello specifico, sono state monitorate le informazioni relative all'utilizzo della CPU e della GPU (fig. 2). Nella figura 5 si evidenzia il tempo trascorso nell'elaborazione dei singoli *step* dell'algoritmo SfM con e senza l'impegno della GPU. Grazie a questo studio e ad altre analisi, è stato progettato un flusso di lavoro ottimizzato e definita una politica di sottomissione dei *job* sulla piattaforma.

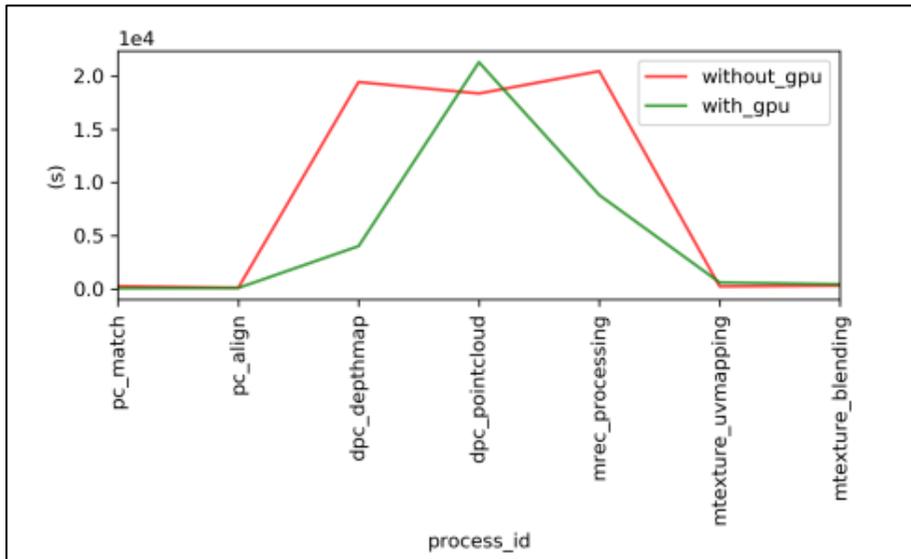


Figura 5. Tempi di elaborazione con e senza GPU per i singoli *step* dell'algoritmo SfM.

5. Il progetto D-TECH

Il progetto D-TECH (*Digital-Twin Environment for Cultural Heritage*), attualmente in corso, è diretto non solo alle istituzioni che tutelano il patrimonio culturale, ma anche a tutti coloro che lo studiano, svolgono attività di ricerca, lo valorizzano anche grazie allo sviluppo delle nuove tecnologie digitali.

In questo progetto la divisione ICT è impegnata nella definizione di una piattaforma per la gestione dei dati digitali del patrimonio culturale, progettata per essere un sistema di conoscenza distribuito dove ogni gestore del bene ha il suo ecosistema di gestione.

I dati risiedono dove il gestore decide che risiedano (eventualmente in *Cloud*), mentre le informazioni possono essere condivise con il resto dei gestori attraverso un unico portale, che svolge il ruolo di collettore di queste informazioni. Il sistema prevede l'integrazione di diversi strumenti e servizi avanzati per la gestione dei dati all'interno di un unico ambiente.

I gestori potranno quindi manipolare dati e modelli 3D per supportare sia la fase di conservazione del bene, sfruttando alcuni strumenti per misurare, monitorare e pianificare interventi diagnostici, sia la fase di valorizzazione

utilizzando strumenti per la pubblicazione di modelli 3D *online* e applicazioni mobile per la realizzazione di progetti di Realtà Aumentata e Virtuale.

La piattaforma *web-based* non richiede agli utenti l'installazione di software e offre strumenti lato client in grado di gestire diversi formati di modelli 3D garantendo la possibilità di associare ad essi molteplici formati di dati e contenuti GIS.

Per l'implementazione sull'infrastruttura ENEA, è stata scelta la tecnologia a microservizi con particolare attenzione alla portabilità e scalabilità anche su altre piattaforme; essa consente di eseguire operazioni CRUD (*Create, Read, Update, Delete*), con un sistema di autenticazione completamente configurabile. L'intero flusso, dall'inserimento di un nuovo dato nel *repository* della piattaforma, alla visualizzazione è governato dal *frontend* mediante applicativi *open source* che tramite API comunicano con la parte di *backend* e di *repository* dei dati e dei relativi metadati anagrafici/descrittivi. La piattaforma si basa su una logica funzionale, incentrata e semplificata sull'utente finale sia per le fasi di *data entry* che di visualizzazione dei dati.

I potenziali utilizzatori/clienti devono avere la possibilità di selezionare parte o l'intero *dataset* di loro competenza, al fine di autorizzare la condivisione delle informazioni con il *repository* centralizzato di ENEA. Tale funzionalità dovrà comportare solo la copia dei dati anagrafici/metadati nel *dataset* centralizzato della piattaforma Enea, rimandando l'eventuale visualizzazione dei dati nella piattaforma del cliente.

6. Conclusioni e futuri sviluppi

Il lavoro svolto ad oggi dalla divisione ICT dell'ENEA per il settore dei beni culturali va nella direzione di progettare e sviluppare una piattaforma modulare multi *purpose* che possa esporre un insieme di strumenti utili nella gestione degli elementi del patrimonio culturale.

Tutte le attività di R&D&I, sopra descritte, sono in linea con i programmi di ricerca sperimentale e/o industriale, su tematiche strategiche previste nel PNR 2021-2027 del MUR e nel *Cluster Horizon Europe* per il Patrimonio Culturale, nell'ambito dell'*Heritage Science* (nanomateriali e nuove tecnologie per ricognizione, diagnosi, studio, restauro e per la gestione dei *Big Data* come condivisione aperta di tutti i risultati delle indagini effettuate) e del *Digital Heritage* (ricostruzioni 3D, realtà immersive, digitalizzazione per restauro e fruizione).

Per questo motivo, è fondamentale disporre di un buon set di software e hardware performanti che consentano la definizione di *Digital Twins* e l'arricchimento di informazioni correlate.

La possibilità di eseguire tutte le elaborazioni software in un singolo ambiente gestibile a distanza, l'identificazione di processi ottimizzati per le elaborazioni software e la capacità di calcolo garantita dalla piattaforma IT@CHA, consentono di delineare alcuni degli obiettivi futuri: tramite ulteriori sperimentazioni è prevista l'implementazione di successivi passaggi di software *open source* per l'analisi dimensionale e geometrica, il confronto e la visualizzazione

in modalità multi-risoluzione delle nuvole di punti, nonché il riconoscimento automatico di modelli di superficie e elementi costruttivi.

L'ottimizzazione e l'efficientamento delle risorse di calcolo mediante l'utilizzo dell'infrastruttura ICT sono assolutamente in accordo con le politiche per il *green deal* e la transizione digitale.

BIBLIOGRAFIA

- Marco Canciani, Mauro Saccone, Giovanna Spadafora, Silvio Migliori, Marialuisa Mongelli, Marco Puccini, Andrea Quintiliani, Arturo Gallia, Carla Masetti, *Modelli 3D e dati GIS: una loro integrazione per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali*, in «Archeomatica» XI (2020), n. 2, giugno, pp.18-23.
- Armin Gruen, *Development and Status of Image Matching in Photogrammetry*, in «Photogrammetric Record», XXVII (2012), n. 137, pp. 36-57.
- Francesco Iannone, Irene Bellagamba, Giovanni Bracco, Beatrice Calosso, Gabriele Giovanetti, Silvio Migliori, Marialuisa Mongelli, Antonio Perozziello, Samuele Pierattini, Andrea Quintiliani, Fiorenzo Ambrosino, Daniele Di Mattia, Agostino Funel, Guido Guarnieri, Giovanni Ponti, Fabio Simoni, Maurizio Steffé, *A Staging Storage Sharing System for Data Handling in a Multisite Scientific Organization*, in «Proceedings of Workshop on Cloud Service for Synchronisation and Sharinh. CS3 (Amsterdam, 30 gen.-1 febr. 2017)» https://iris.uniroma1.it/retrieve/e3835322-1b67-15e8-e053-a505fe0a3de9/Iannone_A-Staging_2017.pdf (ultimo accesso: novembre 2023).
- Marialuisa Mongelli, Irene Bellagamba, Beatrice Calosso, Giulia Chellini, Francesco Iannone, Silvio Migliori, Antonio Peroziello, Samuele Pierattini, Andrea Quintiliani, Alessandro Cosma, *Bernini's Bust Portrait of Pope Alessandro VII Chigi at Corsini Gallery in Rome. Improving Knowledge Using Digital Technologies*, in Sebastiano D'Amico, Valentina Venuti (a cura di), *Handbook of Cultural Heritage Analysis*, Berlin, Springer, 2022, pp. 1899-1914.
- Samuele Pierattini, Beatrice Calosso, Daniele Visparelli, S. Migliori, Marialuisa Mongelli, Luciano De Martino, G. Bracco, Marina Milella, Irene Bellagamba, Antonio Perozziello, Andrea Quintiliani, Lucrezia Ungaro, *Hypotesys of Virtual Reconstruction for the Sphinxes Frieaze at the Trajan's Forum in Rome*, in «Proceedings of the 4th International Conference Metrology for Archaeology and Cultural Heritage. MetroArcheo2018 (Cassino 22-24 ott. 2018)», s. 1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, pp. 379-384; https://ict.enea.it/pubblicazione_ict/hypotesys-of-virtual-reconstruction-for-the-sphinxes-frieaze-at-the-trajans-forum-in-rome (ultimo accesso: novembre 2023).
- Marco Puccini, Antonio Camassa, Marialuisa Mongelli, Samuele Pierattini, Silvio Migliori, Marco Canciani, Giovanna Spadafora, Mauro Saccone, *Integrated Survey and 3D Processing on Enea CRESCO Platform. The Case Study of San Nicola in Carcere in Rome*, in «Proceedings of the International Conference on Metrology for Archaeology

and Cultural Heritage. MetroArchaeo 2021 (Milano, 20-22 ott. 2021)», in «Journal of Physics. Conference Series», (2022), n. 2204, pp. 6;

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2204/1/012101/pdf>
(ultimo accesso: novembre 2023).

Mark D. Wilkinson, Michel Dumontier, IJsbrand Jan Aalbersberg et al., 2016, *The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*, in «Scientific Data» (2016), n. 3, pp. 9.

(https://www.researchgate.net/publication/298345883_The_FAIR_Guiding_Principles_for_scientific_data_management_and_stewardship (ultimo accesso: novembre 2023)).

ENEA ICT: EVOLUZIONE DI UN PERCORSO PER LA CATENA DEL VALORE DEI BENI CULTURALI – Nell’ambito dei beni culturali, la digitalizzazione indica la “conversione digitale”, ossia la trasformazione di un oggetto da analogico a digitale, che consente di archiviare, elaborare e condividere i dati tramite le tecnologie dell’informazione. Con la “trasformazione digitale”, la digitalizzazione ha acquisito un significato più esteso: mira a ottimizzare le logiche di lavoro, ridisegnare le modalità di interazione tra gli utenti coinvolti, sviluppare e implementare nuovi modelli di “creazione del valore” nell’ambito degli ecosistemi che vengono abilitati da piattaforme digitali dedicate all’intera “catena del valore”, attivando così percorsi virtuosi per l’efficientamento nella gestione, conservazione e fruizione dei beni. La Divisione ICT dell’ENEA, partecipa da diversi anni alle attività di ricerca per il patrimonio culturale e ha sviluppato notevoli competenze nell’ambito di progetti regionali, nazionali ed europei. In particolare, l’infrastruttura ICT per i beni culturali denominata IT@CHA è accessibile, previa autenticazione, tramite un portale dedicato; essa è completamente immersa nel sistema di calcolo CRESCO6 (*Centro Computazionale di RicErca sui Sistemi Complessi*), e si basa sulla tecnologia dei “laboratori virtuali”, ossia su piattaforme fruibili via Internet, che mettono a sistema risorse hardware/software, capacità di calcolo per la definizione di copie digitali (*Digital Twins*), strumenti di visualizzazione, storage virtualmente illimitato, su file system geograficamente distribuiti di tipo AFS, GPFS o su *ownCloud*. I *Digital-Twins* svolgono un ruolo di supporto alle attività di conoscenza, ricerca, monitoraggio, diagnostica, per la salvaguardia e la valorizzazione anche volte alle iniziative di Realtà Virtuale e Aumentata. Nel progetto D-TECH (*Digital-Twin Environment for Cultural Heritage*), il laboratorio HPC è impegnato nella definizione di una piattaforma *web-based* per gli enti gestori dei beni dedicata alla gestione dei dati digitali, progettata per essere un sistema di conoscenza distribuito.

ENEA ICT: EVOLUTION OF A PATH FOR THE VALUE CHAIN OF CULTURAL HERITAGE – In the field of Cultural Heritage, the word “digitization” refers to “digital conversion”, which is the transformation of an analog object into a digital format that allows for storing, processing, and sharing data through information technologies. With “digital transformation”, digitization has taken on a broader meaning: it aims to optimize work processes, redesign the interaction methods among involved users, develop and implement new value creation models within ecosystems enabled by dedicated digital platforms along the entire “value chain”. This activates virtuous paths for the efficiency in managing, preserving, and accessing cultural assets. The ICT Division of ENEA has been participating in research activities for Cultural Heritage for several years and has

developed considerable expertise in regional, national, and European projects. In particular, the ICT infrastructure for cultural assets known as ITH@CHA is accessible, after authentication, through a dedicated portal; it is fully integrated into the CRESCO6 computing system and relies on “virtual laboratory” technology, meaning it utilizes internet-accessible platforms that combine hardware/software resources, computing power for the definition of digital copies (Digital Twins), visualization tools, virtually unlimited storage on geographically distributed file systems such as AFS, GPFS, or ownCloud. Digital Twins play a supportive role in knowledge, research, monitoring, and diagnostic activities aimed at safeguarding and enhancing initiatives, including Virtual and Augmented Reality. In the D-TECH project “Digital-Twin Environment for Cultural Heritage,” the HPC laboratory is committed to defining a web-based platform designed to be a distributed knowledge system for the managers of cultural assets aimed at managing digital data.

Parole chiave: *digital twin*; modellazione 3D; *data integration*; tecnologie digitali; infrastruttura HPC.

Keywords: Digital Twin; 3d Modelling; Data Integration; Digital Technologies; HPC Infrastructure.