

Rilievo critico dell'Arco di Traiano – Ancona relazione tecnica

**PROGETTO INTERREG IT-HR “REMEMBER - REstoring
the Memory of Adriatic ports sites. Maritime
culture to foster Balanced tErritorial growth”
CUP J32D18000110005**

UNIVPM – DICEA

Università Politecnica delle Marche

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Architettura

Via Brece Bianche - Ancona

25/01/2021

**PM e responsabile scientifico del progetto:
prof. Paolo Clini**

**delegata per lo steering committee:
prof.ssa Ramona Quattrini**

**coordinatori operativi:
arch. Giorgio Domenici
Ing. Romina Nespeca**

**collaboratori:
ing. Renato Angeloni
tec. Luigi Sagone
tec. Floriano Capponi
tec. Gianni Plescia**

**analisi termografiche e ultrasuoni:
prof. Gian Marco Revel (DIISM)
Ing. Rachele Napolitano (DIISM)
Ing. Giuseppe Pandarese (DIISM)**

Sommario

La strumentazione	2
La fase di acquisizione dei dati	3
Rilievo fotogrammetrico da drone e rilievo topografico con GPS	3
Rilievo laser scanning	4
Rilievo fotogrammetrico da terra.....	6
La fase di elaborazione dei dati.....	7
Nuvola di punti da drone e georeferenziazione.....	7
Allineamento, pulizia, filtraggio e mappatura nuvola da laser	8
Allineamento, nuvola densa e texturizzazione da fotogrammetria da terra.....	11
La fase di integrazione dei dati.....	12
L'indagine tomografica.....	19
La strumentazione.....	19
La fase di acquisizione dei dati.....	19
La fase di elaborazione e di analisi dei dati.....	20
ALLEGATI	24



La strumentazione

L'acquisizione in situ dei dati è stata eseguita tramite l'integrazione di diverse tecniche e strumenti. Per garantire il migliore risultato geometrico e colorimetrico sono state eseguite scansioni tramite laser scanner, acquisizioni di panoramiche con macchina esterna per la mappatura della nuvola, acquisizioni fotografiche con tecnica fotogrammetrica da terra e da drone, acquisizione topografica di una rete di appoggio per la georeferenziazione. Gli strumenti utilizzati hanno le seguenti caratteristiche:

SCANNER LASER LEICA P40



scanner laser TOF,
50.000 punti/sec
portata massima 270m
risoluzione massima 1mm x 1mm
accuratezza 3mm@50m
fotocamera a colori 4Mpx per ogni singolo scatto (dimensione 17°x17°);
700Mpx per immagine panoramica
possibilità di allineamento tramite: target, scansioni libere, intersezione inversa, poligonale

SCANNER LASER LEICA RTC360



tempo di volo migliorato dalla tecnologia di digitalizzazione della forma d'onda, (WFD)
2.000.000 punti/sec
portata massima 130 m
accuratezza 1.9 mm @ 10 m
3 fotocamere HDR, 36Mpx per ogni singolo scatto; 432Mpx per panoramica
Allineamento automatico delle nuvole di punti basato sul Visual Inertial System (VIS) tramite unità di misura inerziale

FOTOCAMERA PANORAMICA ISTAR NCTECH



4 sensori da 10 Mpx,
50 Mpx panoramica
formato foto raw + equirettangolari jpeg
FOV 360° x 274°
HDR e ISO automatici
visione live in remote e wifi
bussola interna e integrazione sensore GPS
tempo di cattura <5sec per pano
autobilanciamento del bianco

MACCHINA FOTOGRAFICA SONY ALPHA9



	risoluzione	24 megapixel
	tipo sensore ottico	CMOS full-frame
	dimensione sensore ottico	36 x 24 mm
	fattore di riduzione visuale	1
	sensibilità ottica	iso 100-6400
	tempo max di otturazione	1/4000 sec
	formato video digitale	avi
	formato fermo immagine	jpeg, raw + jpeg, nef (raw)

DRONE PARROT ANAFI

	Video 4k HDR	
	Fotocamera 21 Mpx e navicella a orientamento verticale a 180°	
	Sensore CMOS da 1/2.4"	
	Autonomia 25 min di volo	
	dimensione sensore ottico	15.8 x 23.6mm
	motori a elevate prestazioni ed eliche pieghevoli	
	sistema di geoposizione gps e glonass	
	telaio in carbonio con bracci pieghevoli e antenne dual band	

LEICA GPS1200

	Tecnologia smart RTK
	Bluetooth, Compact flash, Doppia frequenza, Gps, Glonass, Radio UHF ext., RS232, UHF

In aggiunta, ci si è serviti di treppiedi per il posizionamento in stazione e di una testa sferica Nodal Ninja 3, per il corretto posizionamento della macchina fotografica rispetto al laser scanner.

La fase di acquisizione dei dati

Rilievo fotogrammetrico da drone e rilievo topografico con GPS¹

L'acquisizione si è svolta il 28 luglio 2020 ed ha interessato tutta l'area del corridore, dall'accesso all'area Fincantieri fino alla porta Clementina.

Tramite GPS, è stata realizzata una rete topografica di appoggio per la georeferenziazione tramite GCP (Ground Control Point). Lo strumento Leica GPS1200 ha lavorato in RTK con appoggio alla rete Italpos. Di seguito, si riportano gli 8 punti battuti:

¹ Per questa parte del lavoro si ringrazia la collaborazione dell'ing. Gianluca Gagliardini.



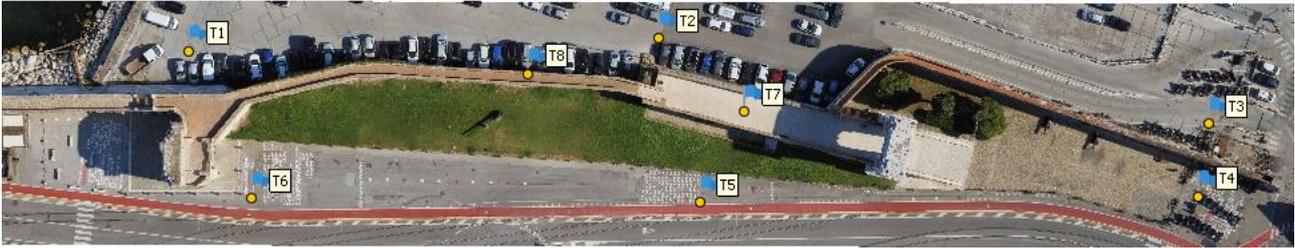


FIGURA 1 LOCALIZZAZIONE PLANIMETRICA DEI GCP ACQUISITI CON GPS.

Quindi, è stato pianificato un volo con strisciate verticali per ricoprire l'intera area, ottenendo 84 scatti, impostando un'altezza di volo media di 45 m e calcolando un GSD di circa 1 cm/pix.

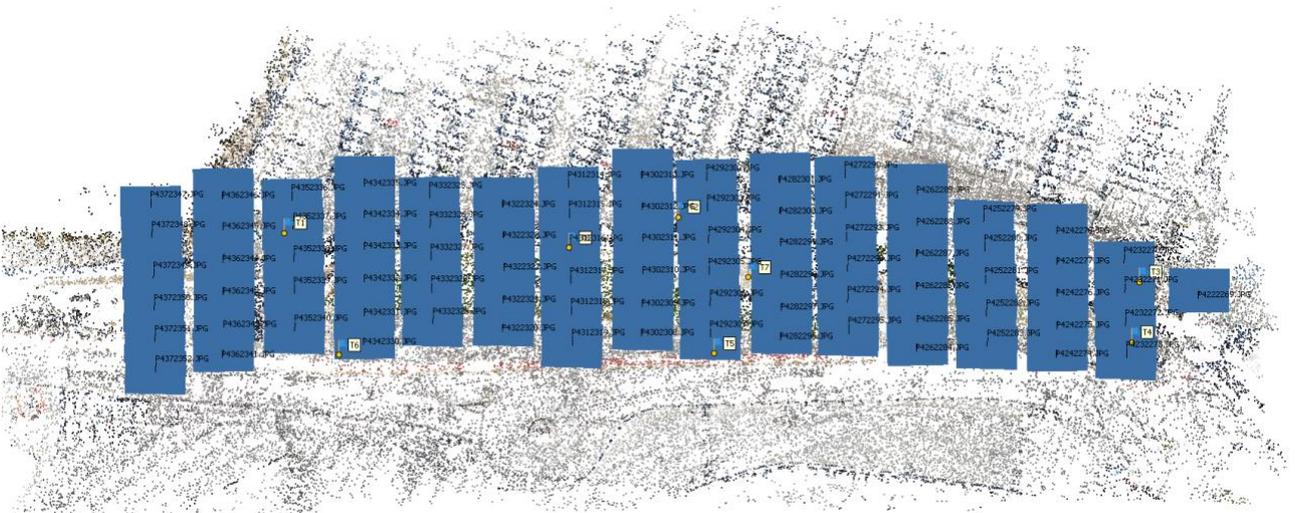


FIGURA 2 DISPOSIZIONE DEGLI SCATTI REALIZZATI CON IL DRONE.

Rilievo laser scanning

Nella progettazione delle scansioni laser terrestre, i problemi più importanti da considerare sono la copertura di tutta la superficie dell'oggetto e il garantire le condizioni per cui le singole scansioni possano essere poi riferite ad un unico sistema di riferimento.

Per questo motivo è molto importante effettuare un'accurata fase di progettazione del rilievo, facendo particolare attenzione a questi aspetti:

- riduzione di ombre e occlusioni;
- buon angolo di acquisizione;
- buona sovrapposizione tra due scansioni da unire;
- risoluzione omogenea delle scansioni;
- visibilità dei target o delle *features* utilizzate per l'allineamento.

Una volta individuati i punti di presa adeguati ad un rilievo il più completo possibile, si posiziona il laser scanner in stazione ed è possibile iniziare la fase di acquisizione. Una risoluzione alta corrisponde ad una maggiore densità della nuvola di punti, e conseguentemente maggiore sarà la definizione della



rappresentazione dell'oggetto rilevato. Di contro, si avranno tempi di acquisizione più lunghi e nuvole con un ingente numero di punti da elaborare.

La fase di acquisizione dei dati con il laser Leica C10 si è svolta durante 3 giornate di presa (23-24-25/06/2020), con circa 9 ore complessive di lavoro, dedicate contemporaneamente alle scansioni laser e alle acquisizioni fotografiche sferiche collimate al centro di presa. Il numero e la dislocazione spaziale delle singole scansioni sono stati concepiti in modo da garantire il sufficiente ricoprimento di tutti i lati dell'Arco di Traiano, compreso l'intradosso interno. Complessivamente sono state realizzate 10 stazioni, disposte come illustrato nella Figura 3 e nella Figura 4.

La fase di acquisizione con il laser scanner Leica RTC360 si è svolta durante 2 giornate di presa (25-26/06/2020), con circa 16 ore complessive di lavoro. Le caratteristiche dello strumento hanno permesso di puntare ad una acquisizione massiva di tutta l'area portuale pubblica, con uno sviluppo lineare del percorso eseguito di circa 3,5 km (dalla lanterna rossa al Mercato Ittico del Mandracchio), effettuando 301 stazioni, ad una distanza media di 12 m l'una dall'altra, come riportando nella Figura 5.

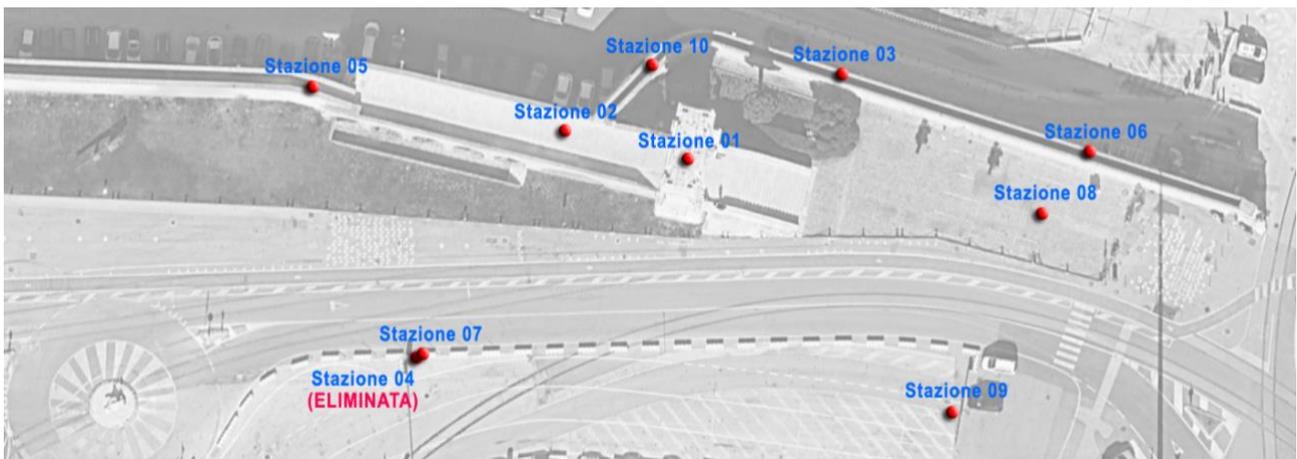


FIGURA 3 PLANIMETRIA CON INDICAZIONE DELLE STAZIONI DI SCANSIONE CON LASER LEICA C10.

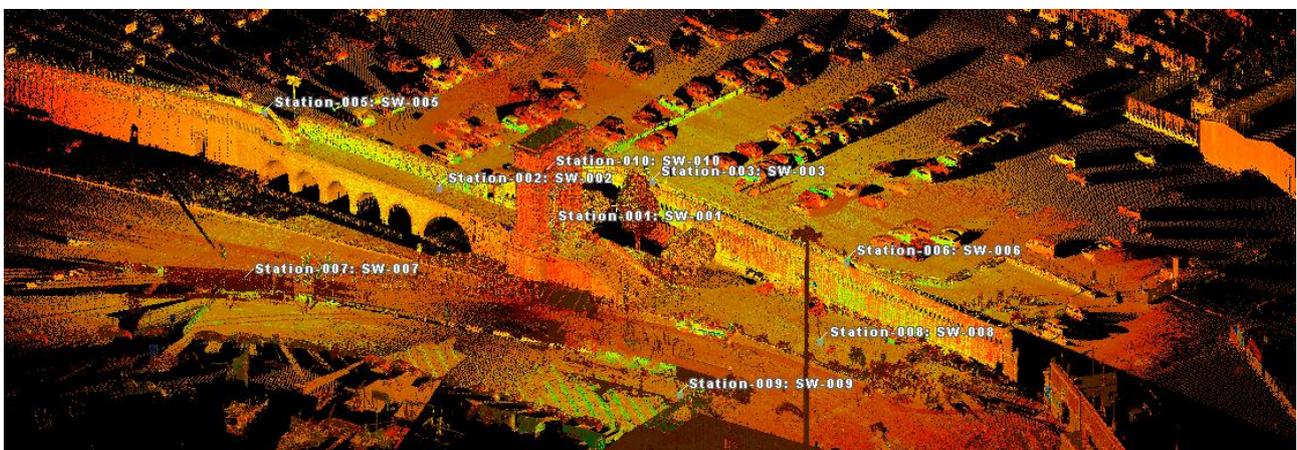


FIGURA 4 VISTA DELLA NUVOLE DI PUNTI IN FALSI COLORI CON INDICAZIONE DELLE STAZIONI DI SCANSIONE CON LASER LEICA C10.



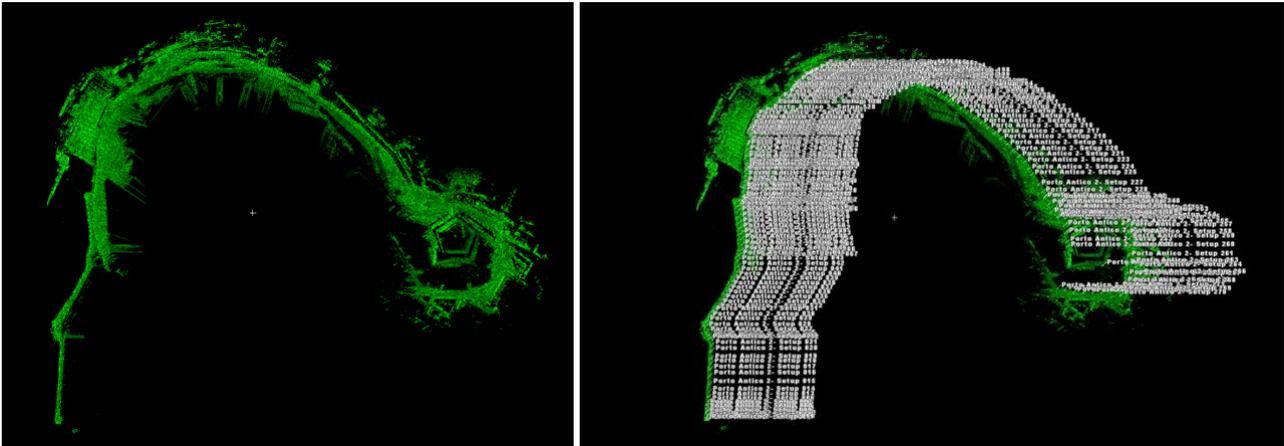


FIGURA 5 VISTA PLANIMETRICA DELLA NUVOLA OTTENUTA DA LASER LEICA RTC360 SENZA (SX) E CON (DX) INDICAZIONE DELLE STAZIONI DI SCANSIONE.

Le due campagne di acquisizione sono state condotte in parallelo con due differenti scopi: la prima mirava ad acquisire il manufatto in oggetto con il maggior numero di dettagli possibili e con un ricoprimento completo di ogni superficie, la seconda aveva l'obiettivo di creare un modello 3D di base affidabile e accurato dell'intera area portuale, al quale agganciare i modelli 3D più dettagliati dei singoli manufatti, oggetto di successive altre acquisizioni.

Si riportano di seguito i registri di campagna:

CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE LASER LEICA C10

STATION	SCANWORD	SCAN	DESCRIPTION OF AREA SCANNED	SCAN	IMAGES	RESOLUTION SCAN
ST001-ST010	001 - 010	001 - 010	Target All 360°x290°	x	int + ext	5mm@max distance from Arch

CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE LASER LEICA RTC360

STATION	SCANWORD	SCAN	DESCRIPTION OF AREA SCANNED	SCAN	IMAGES	RESOLUTION SCAN
ST001-ST301	001 - 301	001 - 301	Target All 360°x290°	x	int	6mm@10m

Rilievo fotogrammetrico da terra

Per ottenere la massima risoluzione possibile della texture colorimetrica, al fine di ottimizzare la lettura critica del degrado materico superficiale, è stata parallelamente condotta una campagna di acquisizione fotogrammetrica da terra con camera full-frame e teleobiettivo.

Sono state scattate con la macchina fotografica Sony Ilce Alpha9 682 foto in totale, rispettivamente:

- 304 foto per il prospetto frontale (lato est);
- 117 foto per il prospetto posteriore (lato ovest);
- 104 foto per il prospetto sinistro (lato sud);
- 118 foto per il prospetto destro (lato nord).



Per i primi tre prospetti sono stati realizzati due gruppi di acquisizioni, uno utilizzando un obiettivo con una lunghezza focale di 70 mm e l'altro utilizzando un 200 mm, in modo da poter posizionare la camera lontana dal manufatto per avere maggiore visibilità delle parti nascoste dai cornicioni, garantendo contemporaneamente un adeguato GSD.

Per il prospetto destro, a ridosso del corridore, è stato necessario posizionarsi sul marciaronda ad una quota più elevata delle altre, ma ad una distanza ridotta, per cui si è utilizzato un obiettivo con lunghezza focale 35 mm.

La fase di elaborazione dei dati

Nuvola di punti da drone e georeferenziazione

Il processo fotogrammetrico è stato sviluppato con il software Agisoft Photoscan. Le immagini ottenute sono state allineate ed è stata creata la nuvola densa. I risultati sono riassumibili da questo report:

Number of images: 84; Flying altitude: 46.3 m; Ground resolution: 1.33 cm/pix; Coverage area: 0.0104 km²; Camera stations: 84; Tie points: 121,923; Projections: 375,804; Reprojection error: 1.42 pix.

I GCP sono stati localizzati sul modello come marker; sono state importate le coordinate, rototraslando e scalando il sistema di riferimento. L'errore medio risultante è di 0.002 m e 0,342 px, come riportato dalla seguente tabella:

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ T1	2399394.498000	4831369.398000	1.947000	0.000010	0.000652	21	0.224
✓ T2	2399476.173000	4831371.549000	2.145000	0.000010	0.003807	19	0.369
✓ T3	2399571.665000	4831356.722000	1.810000	0.000010	0.001810	9	0.781
✓ T4	2399569.847000	4831344.112000	1.906000	0.000010	0.002280	13	0.364
✓ T5	2399483.230000	4831343.048000	1.721000	0.000010	0.002669	22	0.317
✓ T6	2399405.376000	4831343.771000	1.732000	0.000010	0.001336	15	0.250
✓ T7	2399490.680000	4831358.758000	6.342000	0.000010	0.001276	19	0.216
✓ T8	2399453.625000	4831365.303000	10.143000	0.000010	0.001529	14	0.208
Total Error							
Control points					0.002129		0.342

TABELLA 1 MARKER, GCP ED ERRORE MEDIO RISULTANTE NELLA FOTOGRAMMETRIA DA DRONE.



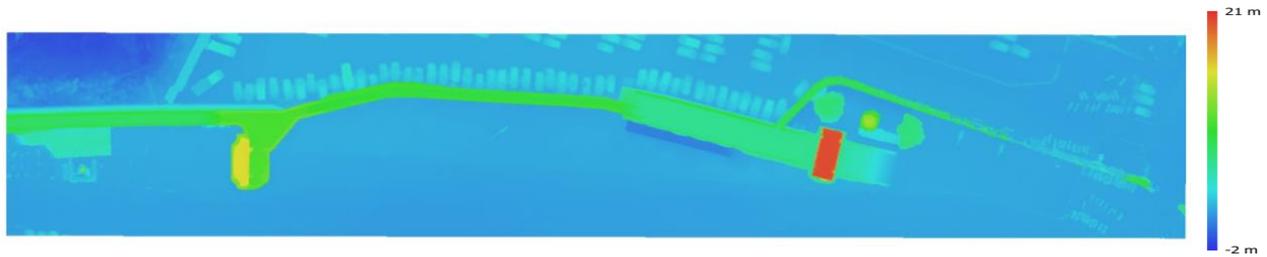


FIGURA 6 DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) DEL CORRIDORRE (RESOLUTION: 2.66 CM/PIX, POINT DENSITY: 0.141 POINTS/CM²).

Il modello mesh ottenuto dalla nuvola è stato texturizzato, quindi generata la seguente ortoimmagine:



FIGURA 7 ORTOFOTO DELL'AREA DEL CORRIDORRE, OTTENUTA DA RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE.

Allineamento, pulizia, filtraggio e mappatura nuvola da laser

Il sistema di riferimento di ogni singola scansione corrisponde con il centro di presa della stazione. La prima operazione di elaborazione dati è l'allineamento (registrazione), in modo da ottenere un'unica nuvola di punti con un solo sistema di riferimento. L'allineamento, realizzato in fase di post elaborazione, il trattamento dei dati e l'estrapolazione delle ortoimmagini da nuvola presenti nelle Tavole allegate, sono stati eseguiti con il software proprietario Leica Cyclone vs 9.4.0 e i relativi applicativi.

Nell'ambiente Registration del software proprietario Leica Geosystems, si sono importati i singoli scanworld, e tramite *smart align* sono allineate le singole scanworld.

La registrazione delle scansioni effettuate con il laser scanner LEICA C10 presenta un errore medio assoluto calcolato sui vincoli inseriti pari a 0.001 m, con un errore massimo pari a 0.003 m, mentre i valori RMS dei singoli allineamenti cloud to cloud vanno da 1 cm a 1,9 cm, come mostrato nella seguente tabella.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector
☒ Cloud/Mes...	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	87908	0.001 m	aligned [0.012 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-010: SW-010 (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	130688	0.001 m	aligned [0.016 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-009: SW-009 (Leveled)	Station-007: SW-007 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	115804	0.001 m	aligned [0.013 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-005: SW-005 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	183694	0.001 m	aligned [0.016 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	78761	0.001 m	aligned [0.016 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-009: SW-009 (Leveled)	Station-008: SW-008 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	221008	0.001 m	aligned [0.019 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-008: SW-008 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	394071	0.002 m	aligned [0.010 m]
☒ Cloud/Mes...	Station-008: SW-008 (Leveled)	Station-006: SW-006 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	529978	0.003 m	aligned [0.015 m]

TABELLA 2 VINCOLI ED ERRORI RISULTANTI DALLA REGISTRAZIONE DELLE SCANSIONI DEL LASER LEICA C10.

La nuvola è stata, quindi, pulita delle parti non interessate dal rilievo, opportunamente filtrata per l'eliminazione di tutti quei punti che hanno un'alta probabilità di non appartenere alla superficie dell'oggetto, decimata o ricampionata secondo necessità, con un effetto di omogeneizzazione delle scansioni.



Ogni scansione è stata mappata dalla panoramica sferica realizzata dalla camera esterna (ISTAR) di maggiore qualità cromatica, cosicché ad ogni punto nello spazio corrisponda un valore RGB.

Le scansioni ora costituiscono un unico modello discreto costituito da milioni di punti colorati. L'alto valore intrinseco di questo modello grezzo è già stato dimostrato dal nostro gruppo di ricerca in altri lavori. Anche senza ulteriori onerose elaborazioni, navigando tridimensionalmente l'oggetto, si possono estrapolare informazioni metriche, morfologiche e radiometriche già molto importanti, per l'analisi, la conoscenza e la tutela del manufatto.

Di seguito si riportano alcune immagini della nuvola allineata.

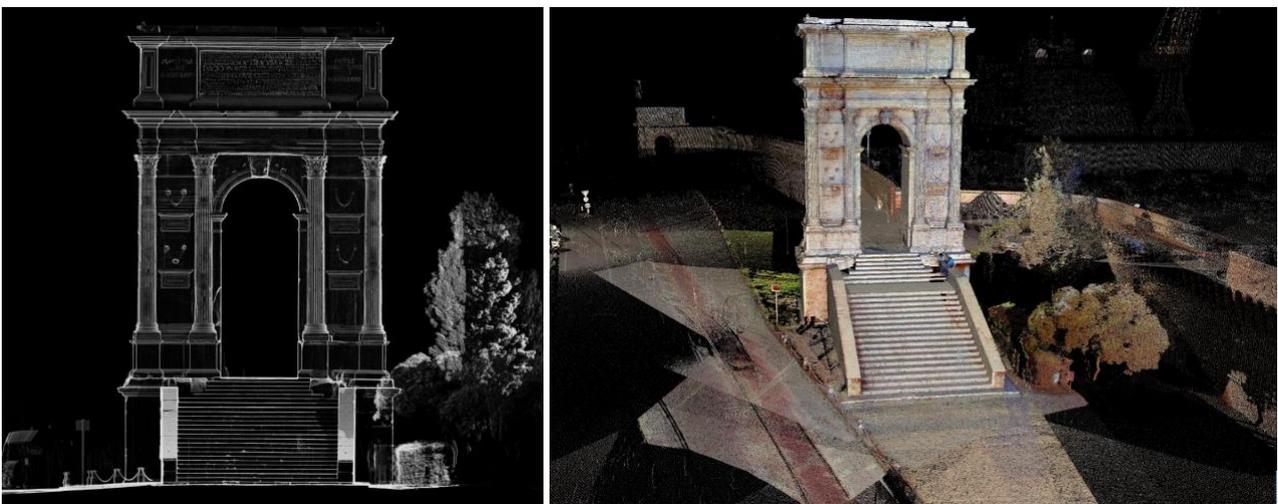
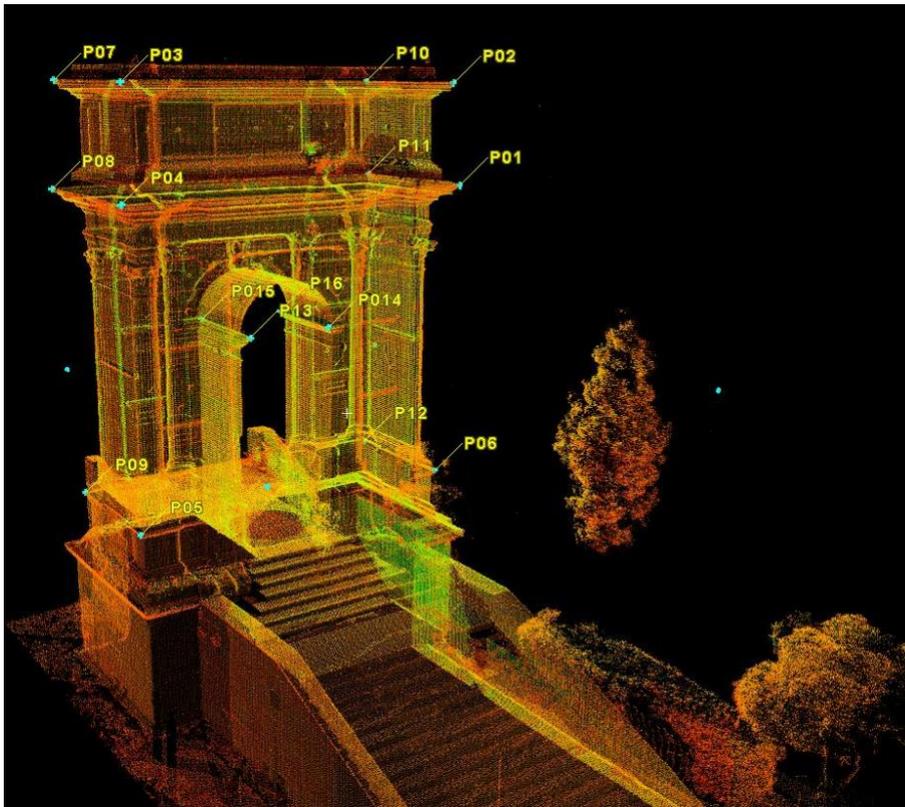


FIGURA 8 ORTOIMMAGINE IN SILHOUETTE DELLA NUVOLA DI PUNTI DEL PROSPETTO EST (SX); VISTA PROSPETTICA DELLA NUVOLA DI PUNTI ALLINEATA E MAPPATA (DX).

Per le successive fasi di integrazioni dati, da questa nuvola sono state estrapolate le coordinate di 16 punti di controllo (CHECK POINTS), nel sistema di riferimento locale.

Si riporta di seguito uno schema visivo e relativi dati:





```

|TargetID X Y Z
P01 2.4762 5.281565 9.145245
P02 2.282457 5.098164 12.053929
P03 2.396833 -5.163777 12.119883
P04 2.562583 -5.382394 9.196055
P05 2.055675 -5.098533 0.218027
P06 2.012541 4.936397 0.176026
P07 -2.028229 -5.21561 12.150501
P08 -2.121265 -5.433292 9.231021
P09 -1.947146 -5.110079 0.230441
P10 -2.09775 5.054524 12.086537
P11 -2.297989 5.280939 9.159779
P12 -1.848745 4.885174 0.16087
P13 1.66459 -1.379452 5.186777
P14 1.589812 1.252928 5.178116
P15 -1.409606 -1.336529 5.200413
P16 -1.149386 1.243538 5.215304

```

FIGURA 9 VISTA PROSPETTICA DELLA NUVOLE DA LASER CON POSIZIONAMENTO DEI CHECK POINTS E RELATIVE COORDINATE NEL SISTEMA DI RIFERIMENTO LOCALE.

La registrazione delle scansioni effettuate con il laser LEICA RTC360, dopo il pre-allineamento in campagna, è stata ottimizzata lavorando a gruppi di 25 scansioni. La registrazione finale di tutti i gruppi presenta un errore medio assoluto calcolato sui vincoli inseriti pari a 0.000 m, mentre i valori RMS dei singoli allineamenti cloud to cloud vanno da 1,3 cm a 2,4 cm, come mostrato nella seguente tabella.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [1-25]	ScanWorld [26-50]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	7167	0.000 m	aligned [0.013 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [26-50]	ScanWorld [51-75]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	21427	0.000 m	aligned [0.016 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [51-75]	ScanWorld [76-100]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	55848	0.000 m	aligned [0.015 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [76-100]	ScanWorld [101-125]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	104804	0.000 m	aligned [0.017 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [101-125]	ScanWorld [126-150]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	25225	0.000 m	aligned [0.022 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [126-150]	ScanWorld [151-175]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	22821	0.000 m	aligned [0.016 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [151-175]	ScanWorld [176-200]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	2727	0.000 m	aligned [0.014 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [176-200]	ScanWorld [201-225]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	732	0.000 m	aligned [0.020 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [201-225]	ScanWorld [227-250]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	2952	0.000 m	aligned [0.021 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [227-250]	ScanWorld [251-275]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	65054	0.000 m	aligned [0.016 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [251-275]	ScanWorld [276-280]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	70664	0.000 m	aligned [0.014 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [276-280]	ScanWorld [282-286] LAZZABARETTO	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	11414	0.000 m	aligned [0.024 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [282-286]	ScanWorld [287-299] FONTANA	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	18215	0.000 m	aligned [0.018 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [287-299]	Porto Antico 2- Setup 281	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	3841	0.000 m	aligned [0.021 m]
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [251-275]	ScanWorld [151-175 +MERCATI]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000			
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [126-150]	ScanWorld [151-175 +MERCATI]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000			
☞ Cloud/Mes...	ScanWorld [176-200]	ScanWorld [151-175 +MERCATI]	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000			

TABELLA 3 VINCOLI ED ERRORI RISULTANTI DALLA REGISTRAZIONE DELLE SCANSIONI DEL LASER LEICA RTC360.

Ogni scansione è stata mappata con la panoramica realizzata con la fotocamera interna dello scanner laser Leica RTC360. L'elevato numero di scansioni e l'alta risoluzione di acquisizione hanno garantito l'ottenimento di un modello 3D dettagliato, ma soprattutto dimensionalmente molto esteso. Questo modello costituirà la base tridimensionale per l'allineamento dei modelli 3D dei manufatti che verranno approfonditi durante lo svolgimento del progetto INTERREG IT-HR REMEMBER, in cui si inserisce questo lavoro.



Si riporta di seguito un'immagine in single color della nuvola di punti completa e allineata, in cui si intravedono in basso a sinistra la Porta Clementina e l'Arco di Traiano. La lunga portata di scansione ha permesso di acquisire porzioni del Colle Guasco, dove è situato il Duomo di San Ciriaco.

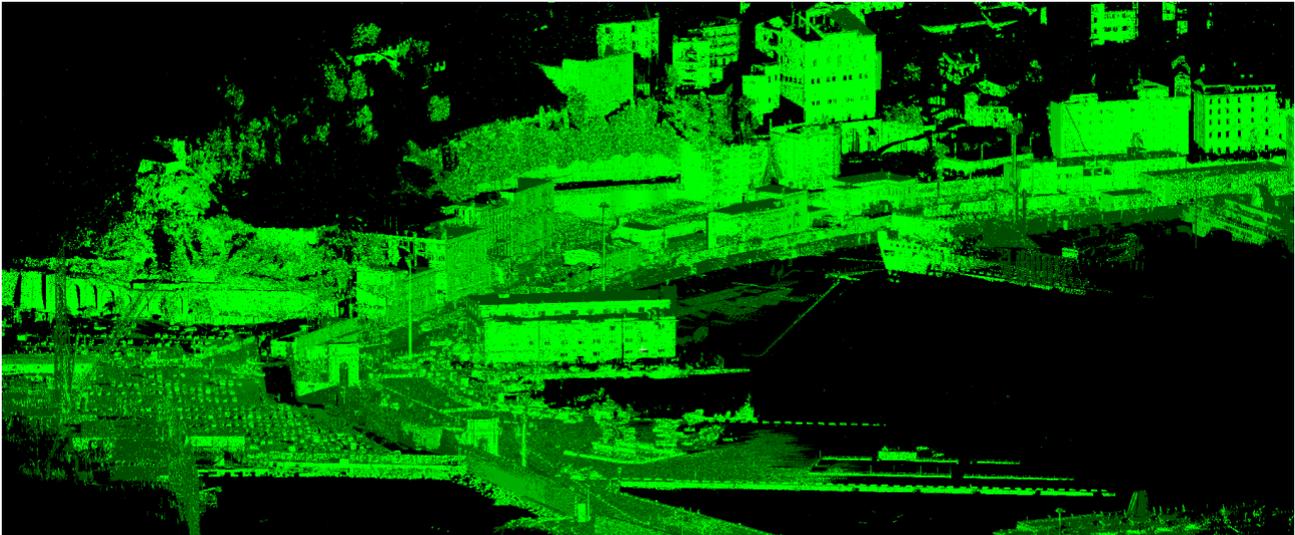


FIGURA 10 VISTA PROSPETTICA DELLA NUVOLE DI PUNTI ALLINEATA, OTTENUTA DALLA CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE CON IL LASER SCANNER LEICA RTC360.

La verifica della registrazione ottenuta e la georeferenziazione verranno effettuate tramite l'inserimento dei punti GCP finora battuti nell'area del corridore e della Mole Vanvitelliana. Per questo lavoro, questa operazione non era necessaria: la georeferenziazione è stata gestita nel sw fotogrammetrico, successivamente all'integrazione dei dati realizzata tramite un sistema di riferimento locale accurato e validato.

Allineamento, nuvola densa e texturizzazione da fotogrammetria da terra

Anche questo processo fotogrammetrico è stato sviluppato con il software Agisoft Photoscan. Le foto, prima del caricamento, sono state post-prodotte con un apposito programma, in modo da calibrare il bilanciamento del colore, l'esposizione, la nitidezza e il contrasto e, infine, convertite dal formato .raw a .jpg. Il post-processing è stato realizzato in modo da mantenere il più possibile l'uniformità colorimetrica nei diversi prospetti. Le immagini ottenute sono state importate in chunks differenti e suddivise secondo il prospetto, come illustrato dalla successiva figura.

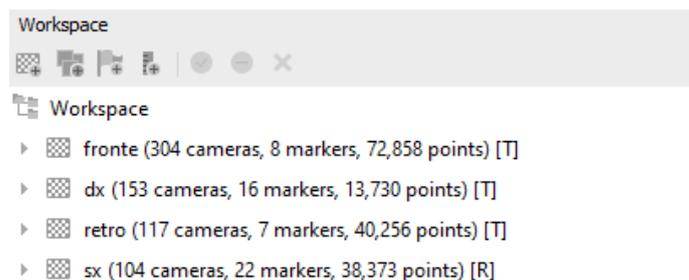


FIGURA 11 SCHEMA DEI CHUNCS PER L'ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICHE DELLE ACQUISIZIONI DA TERRA



Per migliorare il risultato di allineamento sono stati utilizzati i check points estratti dal modello 3D ottenuto dal rilievo laser scanner tramite Leica C10, come precedentemente descritto. Ogni chunk è stato allineato, garantendo un errore di allineamento risultante dai markers inferiore a 3 cm (errore massimo accettabile). Tenendo conto del degrado materico e della difficoltà di individuare manualmente gli spigoli, si può sicuramente attestare un'accuratezza di allineamento fotografico che si attesta al cm. Da esempio, si riporta un'immagine della nuvola sparsa ottenuta dall'allineamento delle foto del prospetto frontale, in cui vengono mostrate le posizioni delle camere e dei marker utilizzati.

Similmente, si sono ottenuti tutti e quattro i lati.

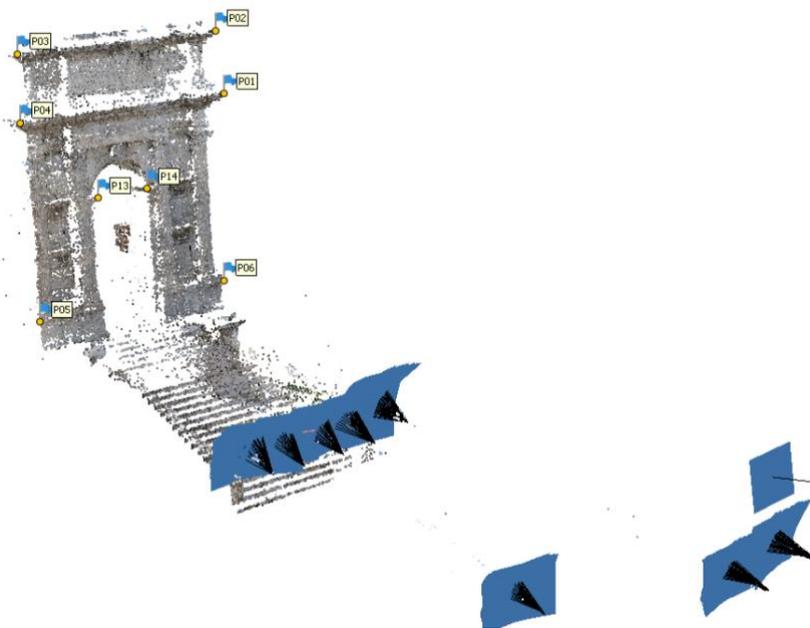


FIGURA 12 VISTA PROSPETTICA DEI TIEPOINTS OTTENUTI DALL'ALLINEAMENTO DELLE FOTO NEL CHUNK DEL PROSPETTO FRONTALE, CON LOCALIZZAZIONE DEI MARKER (CHECK POINTS) E DEGLI SCATTI REALIZZATI.

La fase di integrazione dei dati

Dal rilievo laser scanner è stata estrapolata la nuvola di punti del solo manufatto, e integrata nelle parti mancanti (la superficie sommitale dell'attico) con la nuvola ottenuta per via fotogrammetrica. Dopo opportune operazioni di pulizia ed eliminazione del rumore, dalla nuvola è stata generata la superficie mesh triangolare costituita da più di 11Milioni di facce.





FIGURA 13 VISTA PROSPETTICA DI DETTAGLIO DEL MODELLO 3D MESH OTTENUTO DELL'INTEGRAZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI DA LASER CON LA NUVOLA DI PUNTI DA FOTOGRAMMETRIA PER LE PARTI MANCANTI.

Nel software fotogrammetrico Photoscan, è stato creato un merged chunk allineando tutti i chunks (drone, fronte, retro, dx e sx) tramite i markers comuni. A questo punto si è importato il modello 3D mesh, già nel sistema di riferimento locale del Laser, utilizzato per gli allineamenti dei singoli chunk. Quindi si è texturizzato il modello con tutte le foto allineate e si sono esportate le ortofoto necessarie dei singoli prospetti (con risoluzione media di 2mm/px).

Di seguito si riportano lo schema del chunk unito:

- ▼  **Merged Chunk (682 cameras, 28 markers, 408,139 points) [T]**
 - ▶  Cameras (682/682 aligned)
 - ▶  Markers (28)
 - ▶  Shapes (4,375 polygons)
 - ⊙ Tie Points (408,139 points)
 - ▶  3D Model (11,288,876 faces)
 - ▶  Orthomosaic (9901x8750, 2.03 mm/px)

FIGURA 14 SCHEMA DEL CHUNK RISULTANTE DALL'OPERAZIONE DI UNIONE.

Dal report si leggono i seguenti dati totali riassuntivi:

Number of images: 682; Ground resolution: 1.62 mm/pix; Coverage area: 151 m²; Camera stations: 682; Tie points: 408,139; Projections: 1,583,111; Reprojection error: 2.43 pix.

I punti della rete topografica (T*) sono stati utilizzati per la georeferenziazione assoluta (GCP) e i punti del modello laser sono stati utilizzati come check points.



Si riporta di seguito una vista tridimensionale del modello texturizzato con la localizzazione dei markers (Figura 15) e la Tabella 4 contenente gli errori calcolati sui check points e sui GCP (errore medio 3 cm e 0.3 px).

Successivamente, alcune viste del modello prima e dopo la texturizzazione (Figura 16, Figura 17), un esempio di ortofoto (Figura 18) e uno stralcio del rilievo del degrado e della restituzione vettoriale estratti dalle tavole allegate (Figura 19).

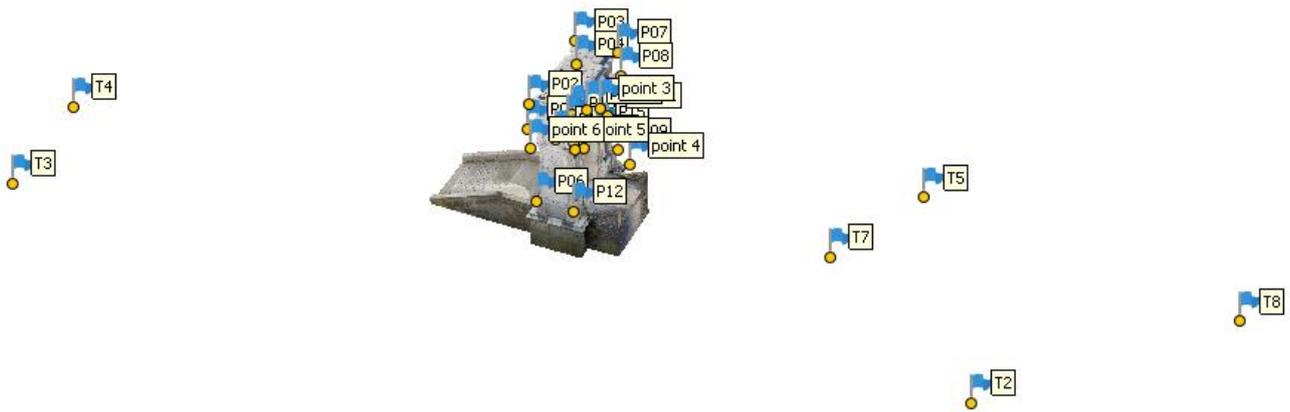


FIGURA 15 VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO 3D MESH CON LA LOCALIZZAZIONE SPAZIALE DEI MARKERS (CONTROL POINTS E CHECK POINTS).



Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input type="checkbox"/> P01	2.476200	5.281565	9.145245	0.005000	5394408.693761	81	5.365
<input type="checkbox"/> P02	2.282457	5.098164	12.053929	0.005000	5394408.765587	60	7.538
<input type="checkbox"/> P03	2.396833	-5.163777	12.119883	0.005000	5394407.941084	9	1.916
<input type="checkbox"/> P04	2.562583	-5.382394	9.196055	0.005000	5394407.846899	36	8.175
<input type="checkbox"/> P05	2.055675	-5.098533	0.218027	0.005000	5394407.951661	37	7.244
<input type="checkbox"/> P06	2.012541	4.936397	0.176026	0.005000	5394408.708782	83	9.224
<input type="checkbox"/> P07	-2.028229	-5.215610	12.150501	0.005000	5394408.938398	15	6.414
<input type="checkbox"/> P08	-2.121265	-5.433292	9.231021	0.005000	5394408.939080	21	3.091
<input type="checkbox"/> P09	-1.947146	-5.110079	0.230441	0.005000	5394408.848551	17	5.820
<input type="checkbox"/> P10	-2.097750	5.054524	12.086537	0.005000	5394409.754689	42	7.500
<input type="checkbox"/> P11	-2.297989	5.280939	9.159779	0.005000	5394409.802117	54	5.684
<input type="checkbox"/> P12	-1.848745	4.885174	0.160870	0.005000	5394409.581072	66	3.501
<input type="checkbox"/> P13	1.664590	-1.379452	5.186777	0.000500	5394408.347994	48	3.994
<input type="checkbox"/> P14	1.589812	1.252928	5.178116	0.005000	5394408.579927	63	7.172
<input type="checkbox"/> P15	-1.409606	-1.336529	5.200413	0.005000	5394409.039489	22	6.012
<input type="checkbox"/> P16	-1.149386	1.243538	5.215304	0.000500	5394409.256490	8	3.016
<input checked="" type="checkbox"/> T2	2399476.173000	4831371.549000	2.145000	0.000100	0.027590	15	0.261
<input checked="" type="checkbox"/> T4	2399569.847000	4831344.112000	1.906000	0.000100	0.012423	8	0.218
<input checked="" type="checkbox"/> T5	2399483.230000	4831343.048000	1.721000	0.000100	0.047756	16	0.422
<input checked="" type="checkbox"/> T7	2399490.680000	4831358.758000	6.342000	0.000100	0.030821	19	0.360
<input checked="" type="checkbox"/> T8	2399453.625000	4831365.303000	10.143000	0.000100	0.032228	5	0.202
<input type="checkbox"/> point 1						23	1.129
<input type="checkbox"/> point 2						24	1.044
<input type="checkbox"/> point 3						28	1.162
<input type="checkbox"/> point 4						4	0.229
<input type="checkbox"/> point 5						10	0.170
<input type="checkbox"/> point 6						5	0.033
Total Error							
Control points					0.032202		0.331
Check points					5394408.812224		6.136

TABELLA 4 GROUND CONTROL POINTS (SISTEMA DI RIFERIMENTO ASSOLUTO) E CHECK POINTS (SISTEMA DI RIFERIMENTO RELATIVO) UTILIZZATI COME MARKERS.



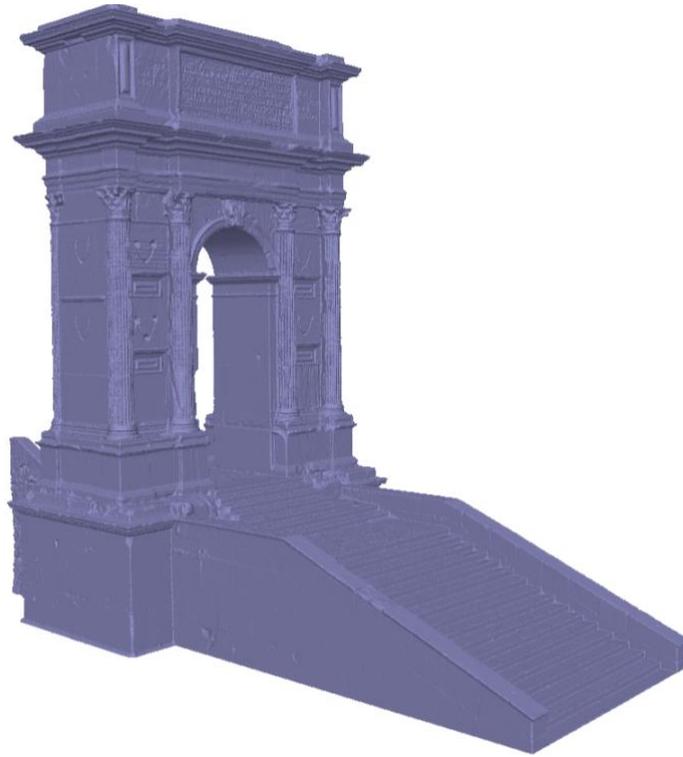


FIGURA 16 VISTA PROSPETTICA DEL MODELLO 3D MESH OTTENUTO DALL'INTEGRAZIONE DELLA NUVOLA LASER CON QUELLA FOTOGRAMMETRICA NELLE PARTI MANCANTI, INSERITO NEL SW AGISOFT PHOTOSCAN IN VISTA SOLID.





FIGURA 17 VISTA PROSPETTICA DEL MODELLO MESH PRIMA (IN ALTO) E DOPO (IN BASSO) LA FASE DI TEXTURIZZAZIONE.





FIGURA 18 STRALCIO DI ORTOFOTO DEL PROSPETTO EST.

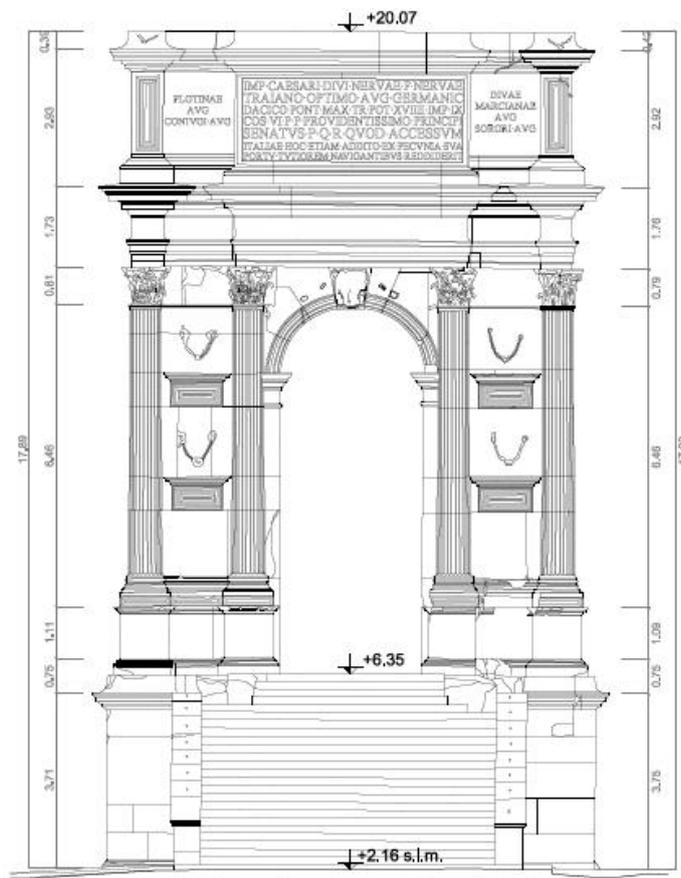


FIGURA 19 ESTRATTO DELLA TAV.4 CONTENENTE IL RILIEVO DEL DEGRADO E LA RESTITUZIONE VETTORIALE DEL PROSPETTO EST.

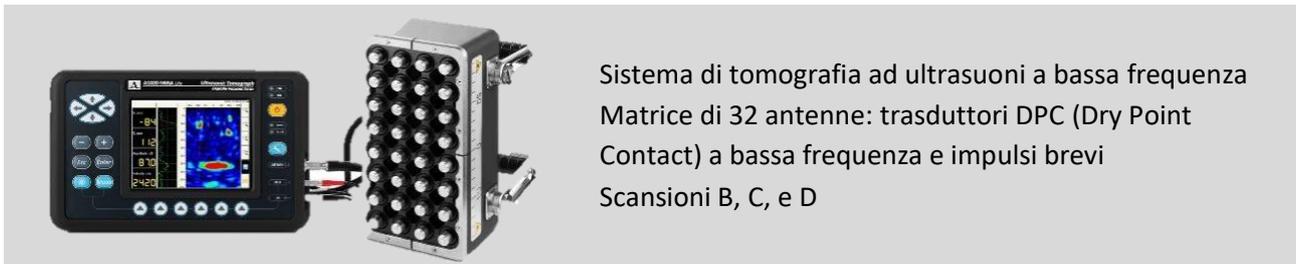
L'indagine tomografica

La strumentazione

L'acquisizione tomografica è stata eseguita utilizzando un sistema ad ultrasuoni (US) che permette di individuare eventuali difetti, vuoti, delaminazioni, aree non stuccate e fessure locali, all'interno della struttura.

Il sistema è stato principalmente usato per validare la possibilità di applicarlo nell'ispezione di danni superficiali permettendo un monitoraggio non intrusivo.

TOMOGRAFO A1020 MIRA-LITE



Sistema di tomografia ad ultrasuoni a bassa frequenza
Matrice di 32 antenne: trasduttori DPC (Dry Point Contact) a bassa frequenza e impulsi brevi
Scansioni B, C, e D

La fase di acquisizione dei dati

L'acquisizione si è svolta il 24 giugno 2020 ed ha interessato delle aree localizzate della facciata in pietra d'Istria dell'arco di Traiano.

Il sistema di 32 antenne è stato posto a contatto con le diverse zone interessate, in prossimità di fessure visibili in superficie o di blocchi di pietra di spessore noto (Figura 20).

Ad ogni acquisizione, sono stati impostati i seguenti parametri di processo:

- Guadagno analogico: 30 dB
- Frequenza: 55 kHz
- Velocità trasversale: 2500 – 3200 m/s
- Profondità di acquisizione: da 300 a 1000 mm (in base all'area analizzata)



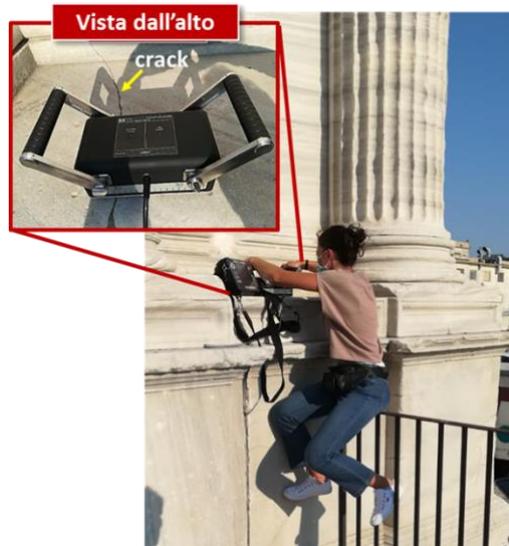


FIGURA 20 ESEMPIO DI ACQUISIZIONE TOMOGRAFICA CON IL SISTEMA MIRA SU UNA SEZIONE DELL'ARCO.

La fase di elaborazione e di analisi dei dati

Il sistema MIRA utilizza la matrice di ultrasuoni per generare scansioni B, C e D (Figura 21), effettuando la media spaziale di un gran numero di misurazioni singole per unità di area. Una singola scansione in una posizione produrrà solo una scansione B, sebbene più scansioni in uno schema a griglia possano essere elaborate per produrre ulteriormente scansioni C e D.

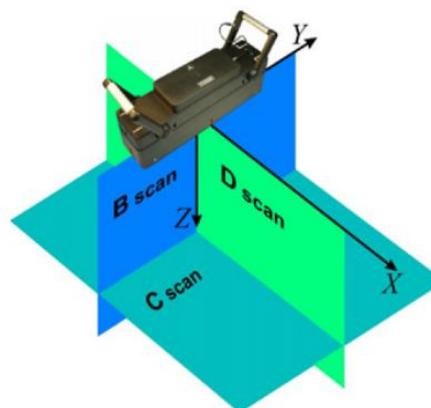


FIGURA 21 RAPPRESENTAZIONE DELLE SCANSIONI B, C E D

È stata registrata inizialmente una scansione B su un blocco di pietra (Figura 22 a sinistra) per calibrare la velocità trasversale. I risultati della scansione (Figura 22 a destra) mostrano chiaramente l'identificazione della riflessione del segnale a una profondità di 500 mm, corrispondente allo spessore dell'intero blocco, impostando una velocità trasversale di 2600 m/s.



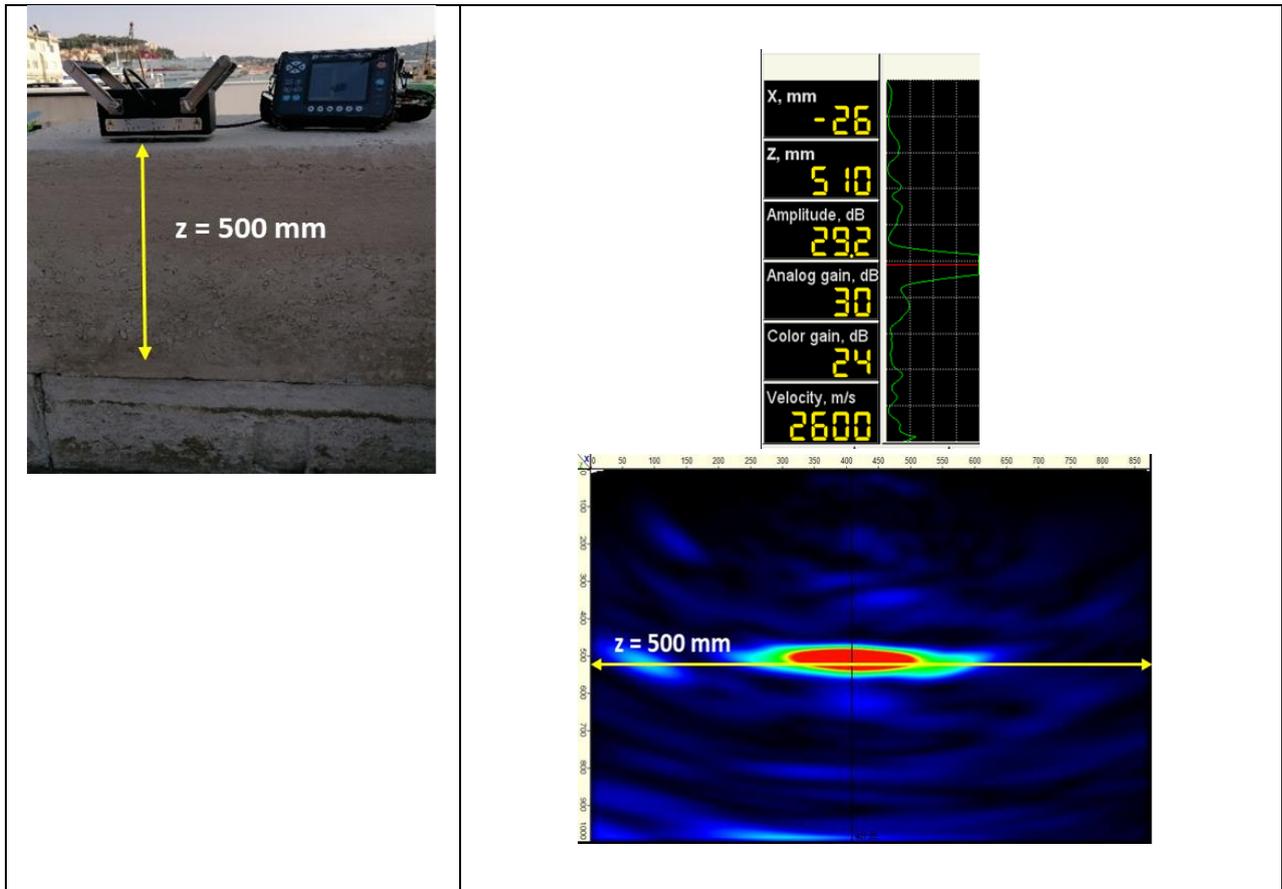


FIGURA 22 A SINISTRA IL BLOCCO DI PIETRA, A DESTRA LA RISPETTIVA SCANSIONE B

Sono state eseguite in seguito, una scansione B sulla superficie di un muro di pietra in direzione di una giunzione visibile a 600 mm di profondità (Figura 23 a sinistra) e una scansione C (3x3 posizioni con passo di 100 mm) sulla stessa superficie (Figura 23 a destra). I risultati delle due scansioni mostrano la possibile identificazione della giunzione.

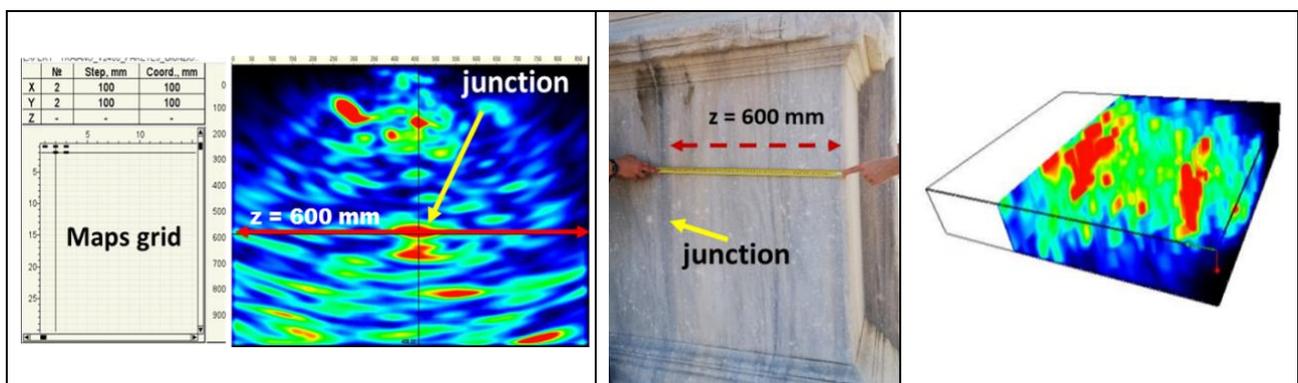


FIGURA 23 A SINISTRA LA SCANSIONE B, AL CENTRO L'AREA ISPEZIONATA E A DESTRA LA SCANSIONE C.

Le scansioni B (Figura 24 a sinistra) e C (Figura 24 a destra) (posizioni 3x3 con passo di 100 mm) registrate sulla superficie di un altro blocco di pietra della struttura mostrano la possibile identificazione di una fessura a una profondità di 100 mm.



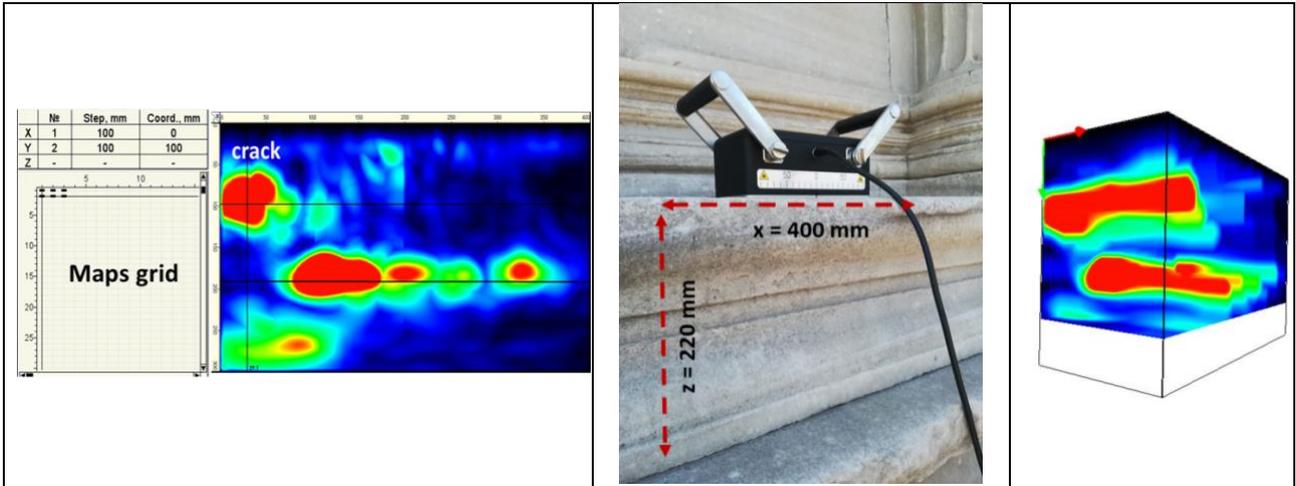


FIGURA 24 A SINISTRA LA SCANSIONE B, AL CENTRO L'AREA ISPEZIONATA E A DESTRA LA SCANSIONE C.

Infine, sono state esaminate altre tre diverse aree con scansione B e i risultati sono mostrati nelle figure seguenti (Figura 25, Figura 26 e Figura 27).

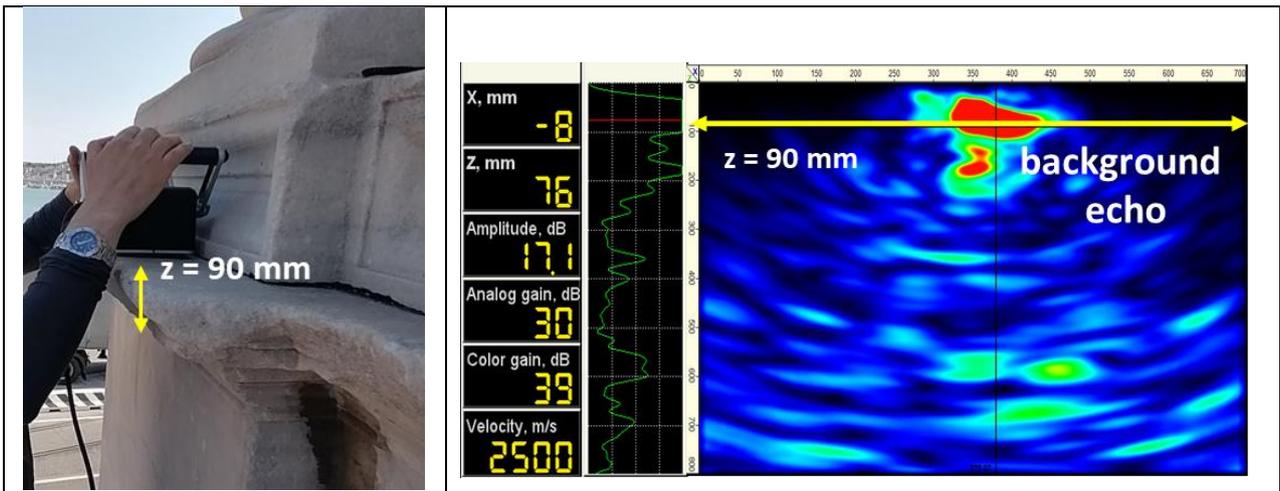


FIGURA 25 A SINISTRA L'AREA ESAMINATA DI 90 MM DI SPESSORE, A DESTRA LA SCANSIONE B.

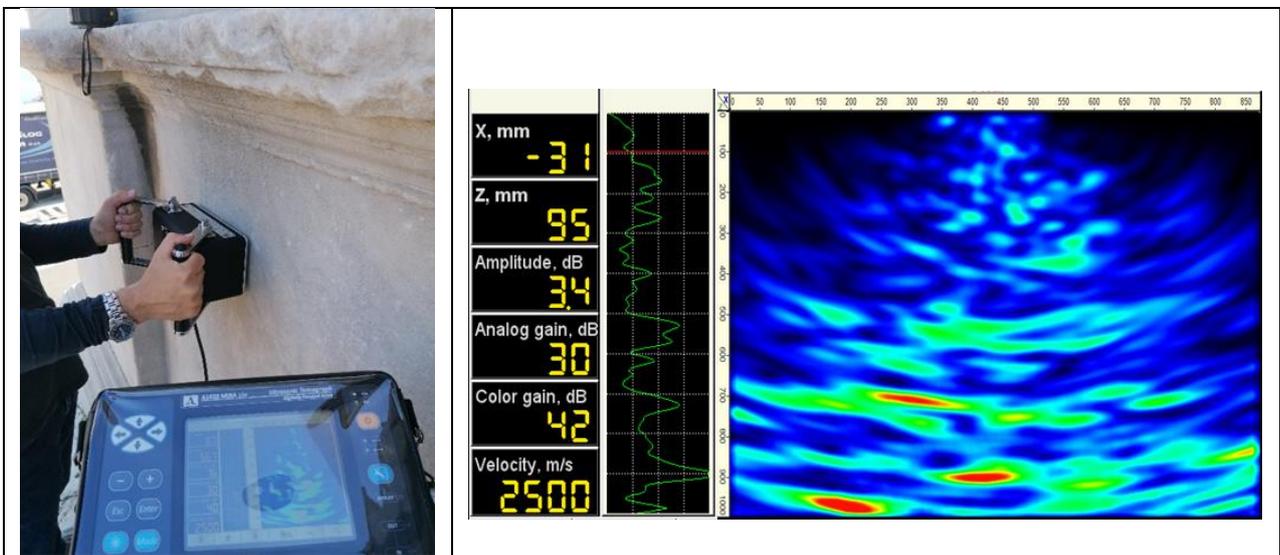


FIGURA 26 A SINISTRA IL MURO DI PIETRA INDAGATO, A DESTRA LA SCANSIONE B.

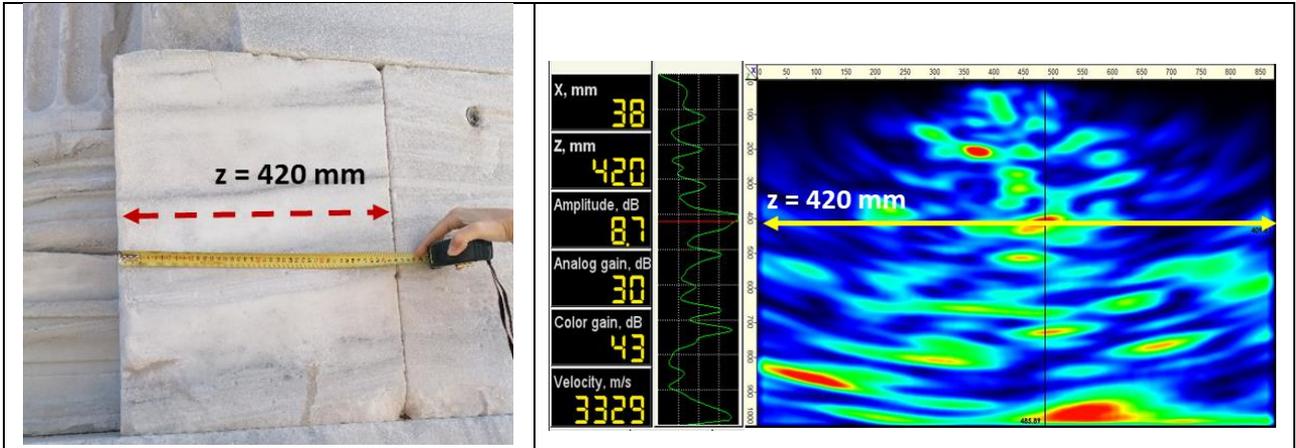


FIGURA 27 A SINISTRA L'AREA ISPEZIONATA CON UNA FESSURA VISIBILE A 420 MM DI PROFONDITÀ, A DESTRA LA SCANSIONE B.



ALLEGATI

Si allegano alla presente relazione:

TAV. 01 PIANTA BASAMENTALE

TAV. 02 DETTAGLIO EPIGRAFE

TAV. 03 PIANTA ATTICO

TAV. 04 PROSPETTO EST

TAV. 05 PROSPETTO SUD

TAV. 06 PROSPETTO OVEST

TAV. 07 PROSPETTO NORD

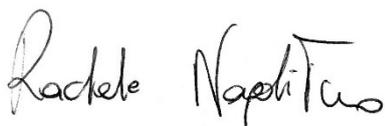
PM e responsabile scientifico del progetto:

prof. Paolo Clini



**Relazione finale dell'attività di ricerca svolta su
“Tecnologie senza contatto per l'analisi e la diagnostica
di strutture complesse”**

Titolare dell'assegno
Rachele Napolitano



Responsabile scientifico
Prof. Gian Marco Revel



Attività di ricerca svolto

La mia attività di ricerca si concentra sullo sviluppo di tecnologie innovative e senza contatto per l'analisi e la diagnostica di strutture complesse. L'attività si sviluppa all'interno del Progetto HORIZON2020 "Development of an efficient microwave system for material transformation in energy intensive processes for an improved Yield", che mira a realizzare una soluzione funzionale, ecologica e a risparmio energetico, utilizzando l'energia a microonde per la lavorazione dei materiali industriali, migliorando le prestazioni dei processi e garantendo la qualità richiesta dei prodotti.

1. Titolo dell'Attività: Sviluppo di linee guida per la conservazione del patrimonio culturale dei porti (REMEMBER, WP3)

Durata: Da Novembre a Dicembre 2019

Descrizione:

Nell'ambito di questa attività, svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche, è stato stabilito un insieme comune di informazioni che fornisce i requisiti per ottenere un'esperienza digitale attraverso l'implementazione dei Musei Virtuali (VM) (Deliverable 3.1.1). In particolare, sono state definite le caratteristiche tecniche e una panoramica delle linee guida generali per l'indagine diagnostica dedicata al patrimonio di beni tangibili e intangibili.

L'utilizzo di tecnologie che permettono di creare esperienze di realtà virtuale e aumentata attraverso contenuti digitali, grafica 3D, multimediali, ma anche attraverso dati diagnostici (ad esempio mostre interattive e percorsi multisensoriali) rappresenta, per musei e siti storici, un processo ricco di opportunità che apre un dialogo più efficace e aggiornato con i pubblici esistenti e potenziali. Tuttavia, la progettazione delle tecnologie digitali richiede una visione strategica che consenta di collocare l'elemento tecnologico in un piano coerente di comunicazione di identità, memorie e contenuti culturali, a partire da una chiara individuazione degli obiettivi e delle finalità degli interventi. L'implementazione delle tecnologie digitali, laddove ben indirizzate e impiegate, può generare grandi opportunità per organizzare e valorizzare memorie pubbliche verso la comunità locale, le nuove generazioni e i turisti, e per fornire significati contemporanei e rinnovata vitalità al patrimonio culturale marittimo, sia tangibile che intangibile, dell'area dell'Adriatico Centrale. Inoltre, la realizzazione di VM e delle applicazioni digitali permette anche di rispondere sia a richieste educative e didattiche sia alla necessità di coinvolgimento emotivo degli utenti finali.

All'interno di questo contesto, il rilievo diagnostico è un contributo importante per descrivere lo stato di conservazione dei manufatti e dei beni culturali, nonché per indagare le condizioni degli edifici storici. La diagnosi si basa su approcci qualitativi e quantitativi. Il primo è determinato dall'osservazione diretta del danno strutturale e del degrado dei materiali nonché dalla ricerca storica e archeologica; la seconda è prevalentemente caratterizzata dal rilievo, monitoraggio e analisi strutturale, con prove in situ e di laboratorio. Fra i diversi metodi diagnostici, i test non distruttivi (NDT) sono diventati molto popolari per la rilevazione dei difetti senza contatto, rapida e accurata, che coinvolge diversi risultati relativi ai diversi principi teorici adottati e alle diverse proprietà fisiche della struttura investigata.

Tra queste tecniche non distruttive, oggi la Termografia a Infrarossi (IRT) è quella più largamente impiegata per il restauro dei beni culturali, spaziando dalla valutazione delle proprietà dei materiali da costruzione e delle strutture nell'ingegneria civile e nell'edilizia, all'indagine sullo stato di conservazione dei siti storici e/o resti archeologici. La procedura standard per l'ispezione termografica è definita nella guida UNI EN ISO 9712:2012¹ e deve essere condotta da un operatore termografico certificato. Uno dei principali vantaggi nell'adottare questa tecnica è la possibilità di indagare aree grandi o piccole senza analisi invasive. Due diversi approcci sono impiegati in genere per la termografia nel campo della protezione del patrimonio culturale:

- Termografia passiva, utilizzata quando le caratteristiche di interesse sono naturalmente a una temperatura diversa rispetto allo sfondo. Viene comunemente utilizzato per l'ispezione qualitativa di superfici architettoniche (rilevamento di discontinuità / interfacce, difetti, vuoti, ecc.).
- Termografia attiva, che impiega una sorgente esterna per produrre un contrasto termico (riscaldamento o raffreddamento) tra l'elemento di interesse e lo sfondo. In questo caso è anche possibile ottenere risultati quantitativi. La variante attiva della termografia è adatta per il rilevamento di difetti (vuoti) all'interno di materiali a bassa conduttività, ad es. distacco di intonaco o struttura nascosta delle murature. Si predilige la variante naturale di riscaldamento / raffrescamento ambientale, utilizzando il sole durante il giorno e l'aria fresca durante la notte, sufficiente a generare differenze misurabili.

Oltre al metodo termografico, in letteratura sono presenti altre tecniche in grado di condurre rilievi strutturali non distruttivi e non invasivi, come la spettroscopia Ground-Penetrating Radar (GPR), Ultrasuoni e Fluorescenza a raggi X. Nella tabella 1, tutti i metodi distruttivi e non distruttivi sono riassunti in base al diverso tipo di ispezione.

Il GPR è una tecnica ad alta risoluzione che consente di rilevare piccole anomalie (cambiamenti di circa centimetri) di strutture del sottosuolo utilizzando brevi impulsi radar (1-60 ns) nella banda ad alta frequenza (10–2600 MHz) [1]. I segnali emessi e irradiati vengono trasmessi nella struttura per rilevare variazioni anomale (generalmente crepe interne) in materiali con diversa permittività e quindi vengono rifratti o retrodiffusi alla superficie. L'antenna ricevente registra il segnale di ritorno. La profondità di penetrazione dell'impulso radar dipende in gran parte dalla conduttività elettrica del materiale indagato e dalla frequenza dell'antenna utilizzata. Una frequenza del suono più alta significa una migliore risoluzione, ma una minore penetrazione del suono che diminuisce con l'aumentare della conduttività.

La tecnica della velocità a ultrasuoni è un metodo non invasivo che utilizza le onde di impulso (chiamate anche onde sismiche) che viaggiano con velocità e / o ampiezze diverse. Misurando il tempo necessario alle onde per viaggiare dalle sorgenti ai recettori, è possibile determinare la distribuzione della velocità e da questa la natura degli strati del sottosuolo. Questi metodi rilevano lo spessore e la posizione delle zone danneggiate e di degrado, le proprietà fisiche dei diversi materiali, comprese le caratteristiche meccaniche e lo stato di fessurazione, fratture e altri difetti interni. In particolare, è molto efficace nel rilevare il modulo di elasticità ma diventa inaffidabile in presenza di umidità e densità [2].

La spettroscopia di fluorescenza a raggi X (XRF) prevede l'esposizione della superficie studiata alla radiazione X, che sono fotoni di piccole lunghezze d'onda, nell'intervallo da 0,005 a 10 nm dello spettro elettromagnetico. Il rivelatore strumentale XRF irradia l'area investigata e viene acquisito lo spettro corrispondente, identificando sia la composizione del materiale tramite le lunghezze d'onda (qualitative) dei raggi X emessi sia la distribuzione degli elementi caratteristici mediante l'intensità

¹ UNI EN ISO 9712:2012. Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive, 2012

di tali raggi X (quantitativa). L'indagine principale mediante questa tecnica è la caratterizzazione di antichi manufatti al fine di ottenere alcune informazioni sulla composizione chimica di oggetti preziosi e unici. Gli spettrometri XRF portatili a dispersione di energia sono ampiamente utilizzati nello studio dei materiali del patrimonio culturale [3]. Lo svantaggio principale dell'XRF è che il test diagnostico presuppone una conoscenza preliminare per identificare e verificare un particolare processo del campione esaminato. Inoltre, la riproducibilità è limitata dalla non omogeneità del campione e dalla difficoltà di acquisire l'oggetto nella stessa posizione.

Tipo di ispezione	Metodo	Vantaggi	Svantaggi
Spazi e cavità nascoste	<i>Endoscopia</i>	Ispezione in tempo reale, semplice e operativa, facile da usare	Invasivo, durante l'ispezione di cavità più grandi il cavo sottile deve essere protetto
	<i>Ground-penetrating radar (GPR)</i>	Veloce e preciso che consente di localizzare, identificare e misurare le strutture del sottosuolo	Profondità del sondaggio limitata nell'ambiente acquatico, aree ad alta salinità e rocce sedimentarie umide, ad es. terriccio, argilla
	<i>Termografia attiva</i>	Metodo senza contatto, metodo molto veloce, misurazioni dell'area, localizzazione diretta dei difetti	Costosa, profondità dei difetti sconosciuta, dipende dalle condizioni meteorologiche
Ispezione dei danni	<i>Termografia IR (attiva e passiva)</i>	Metodo senza contatto, molto veloce, misurazioni dell'area, localizzazione diretta dei difetti	Costosa, bassa risoluzione spaziale per strutture di grandi dimensioni
	<i>Tracciamento acustico</i>	Metodo veloce ed economico, efficiente su qualsiasi tipo di superficie: ruvida, lucida	Nessun rischio sostanziale, necessità di funzionamento manuale e di contatto con la struttura investigata
	<i>Resistografjo</i>	Progettato per l'uso in loco.	La lunghezza della cassa (circa 60 cm) a volte è limitante per la misurazione nella direzione desiderata.
	<i>Tecniche a ultrasuoni</i>	Facile da usare anche nelle ispezioni in loco: formato compatto, leggero, facile da usare, ampio display che mostra il valore del tempo immediatamente misurato	Non adatto per materiali stratificati o laminati. È più affidabile quando si posizionano le sonde in una posizione opposta.
Analisi dei materiali	<i>Tomografia elettrica capacitiva</i>	Facile da usare, veloce ed economico	Metodo a contatto: difficile utilizzo su superfici ruvide e/o irregolari, come spesso quelle dei muri storici. La posizione della misurazione non è precisa. Tutti i materiali adiacenti al sensore influenzano la lettura.
	<i>Tomografia a resistività elettrica</i>	Non invasivo, a basso costo e di facile utilizzo	Le misure sono fortemente influenzate dalla presenza di sale, dalla pressione di contatto applicata ai perni, dalla temperatura, dalla durezza e dalle irregolarità dei materiali. Lo strumento misura solo lo strato esterno del materiale, che è fortemente influenzato dalle condizioni in superficie come il verificarsi di condensa superficiale, evaporazione ecc.
	<i>Microscopia a fibra ottica (FOM)</i>	Immagini ingrandite ad alta risoluzione e contrasto elevato (fino a 600 ×)	Distruttivo, la preparazione del campione è difficile, soprattutto per una microscopia a luce polarizzata.
	<i>Termografia passiva</i>	Metodo senza contatto, veloce e facile da usare	Solo rilievo qualitativo, dipende dall'emissività del materiale
	<i>Spettroscopia</i>	Alta affidabilità, possibilità di eseguire indagini in situ	Distruttivo, specificità e interpretabilità degli spettri FTIR possono essere limitati a causa della sovrapposizione di bande
	– <i>FTIR</i>	Elevata portabilità, ispezione in loco, analisi quantitativa	Strumentazione distruttiva, poco sensibile, grande e costosa
	– <i>NMR</i>	Rapido, economico, completamente portatile e sensibile	Possibili problemi possono sorgere da picchi sovrapposti derivati dagli elementi di interesse.
	– <i>EDXRF</i>		

Table 1. Comparison between the different techniques for diagnostic survey in cultural heritage

2. **Titolo dell'Attività:** Implementazione di tecniche per la raccolta dei dati diagnostici a supporto della digitalizzazione del patrimonio storico del porto di Ancona (REMEMBER, WP4)

Durata: da Gennaio a Ottobre 2020

Descrizione:

A seguito dell'indagine sui diversi metodi per la diagnostica non distruttiva dei beni culturali, sono state individuate le tecniche proposte per il monitoraggio del patrimonio storico del porto antico di Anona, ed in particolare della Porta Clementina e dell'Arco di Traiano.

L'attività svolta, che si colloca all'interno del WP4 del progetto, è stata quella di affiancare al rilievo architettonico (mediante laser scanning e fotogrammetria digitale), che ha permesso di ottenere un modello tridimensionale delle due strutture di elevata precisione geometrica, i dati di diagnostica, fornendo indicazioni utili per pianificare eventuali attività di restauro e manutenzione necessari per la conservazione del patrimonio storico.

Una campagna di test è stata condotta a tale scopo, valutando l'applicabilità di indagini diagnostiche in situ, attraverso termografia passiva e tomografia ad ultrasuoni, la prima utilizzata sulla Porta Clementina e le mura in laterizio, la seconda sull'Arco di Traiano caratterizzato da blocchi di marmo.

- Caso studio: Porta Clementina

Materiali e Metodi

Nel caso studio sulla Porta Clementina, i principali dispositivi individuati e utilizzati sono:

1. **Termocamera (Infratec – Variocam HD head)**, con risoluzione: 1024 x 768 Pixel, range spettrale compreso tra 7.5 e 14 μm , range di temperature: -40 to 1200 °C (accuratezza: $\pm 1.5\%$) e lente ottica di 32 mm.
2. **Laser scanner LEICA C10**, con lunghezza d'onda di 532 nm visibile (verde), velocità di scansione: fino a 50000 punti/sec, dimensione dello spot laser nel range da 0-50 m di 4.5 mm (FWHH-based) e 7 mm (Gaussian-based), precisione della superficie/rumore di 2mm, accuratezza $\pm 6\text{ mm @ }50\text{m}$ e portata massima di 300m.
3. **Fotocamera SONY Alpha 9**, con lente ottica compresa tra 24 e 70 mm, risoluzione di 24 Mpx (6000x4000), tecnologia: full-frame BSI-CMOS, ISO: 100-51200

L'area scelta per l'acquisizione è quella che interessa la facciata della Porta Clementina e il muro in laterizio per individuare eventuali difetti nella struttura, quali dispersione di calore, crepe superficiali e rilevazione di umidità. Le acquisizioni sono state effettuate nell'arco della giornata in cui l'oggetto d'interesse non era esposto al riscaldamento solare.

I dispositivi sono stati posizionati ad una distanza di 24m dall'arco e sullo stesso tripode, con centro nodale della termocamera collimato al centro di presa del laser scanner e della fotocamera, in modo tale da risultare perfettamente allineati. In questo modo è stato possibile acquisire in due diverse modalità: la prima, con ripresa singola frontale, per avere un modello parziale attraverso una singola

acquisizione laser e una singola immagine nel visibile e nell'infrarosso (Figura 1). La seconda, con ripresa panoramica, per ottenere un modello totale attraverso una mappatura a panoramica sferica (Figura 2). Per tale scopo, è stata utilizzata una testa sferica (Nodal Ninja 3) e delle slitte di traslazione nei tre assi, con cui vengono calibrate le rotazioni *yaw*, *pitch* e *roll*, evitando l'errore di parallasse. Quindi, sono stati fissati gli angoli di prese orizzontali di 15° e verticali di 30° , per garantire un'adeguata sovrapposizione fra gli scatti.



Figura 1. Setup sperimentale per la modalità di ripresa singola

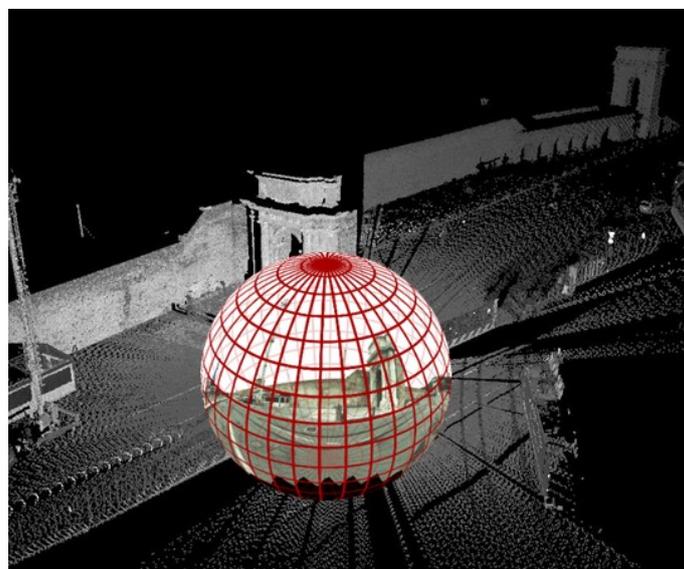


Figura 2. Setup sperimentale per la modalità di ripresa panoramica

Risultati

L'elaborazione dei dati a ripresa singola provenienti dalla scansione laser, attraverso il software Leica Cyclone, ha permesso di ottenere una nuvola di punti visualizzata in scala di grigio e una mappa in falsi colori di riflettanza (Figura 3).

Inoltre, le immagini acquisite nel visibile e nell'infrarosso sono state confrontate e sovrapposte (Figura 4, Figura 5). Da una prima valutazione visiva, è possibile notare dalle immagini termiche, delle zone a temperatura più bassa che indicano delle infiltrazioni di umidità in corrispondenza del sistema di irrigazione, confermando quindi, l'utilità di questo tipo di indagine per individuare difetti che, al contrario, potrebbero non essere evidenti nel visibile (Figura 6).

Quest'esperienza è concepita per fare una valutazione qualitativa riguardo una possibile correlazione fra variazioni di riflettanza e di temperatura. Va infatti ricordato che, operando in condizioni reali non controllate in regime di temperatura stazionaria, non è possibile ottenere un'analisi quantitativa.

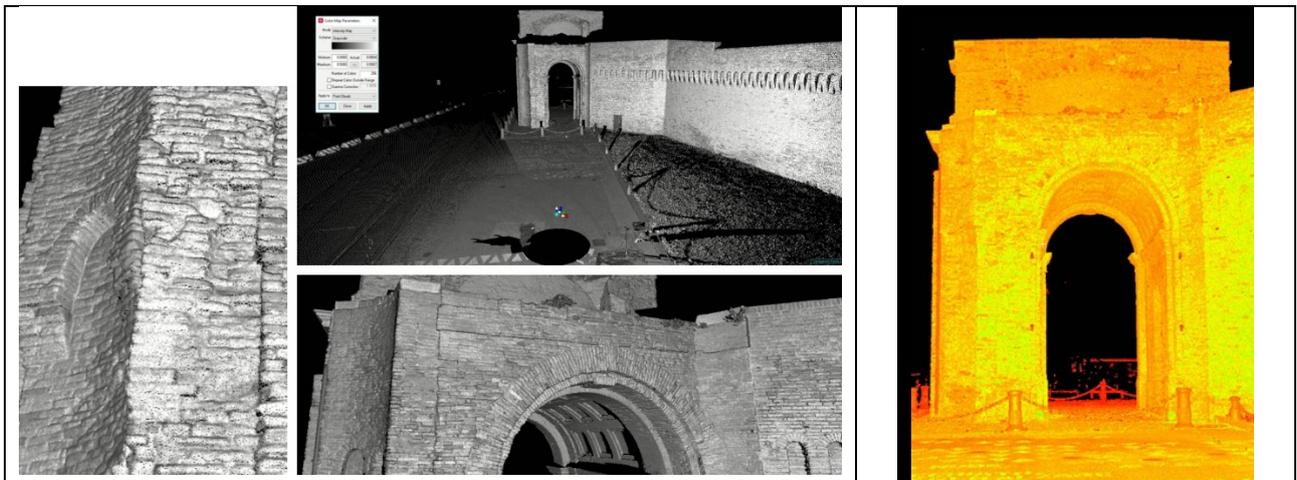


Figura 3. Nuvola di punti 3D in scala di grigio (sinistra) e mappa di riflettanza (destra)

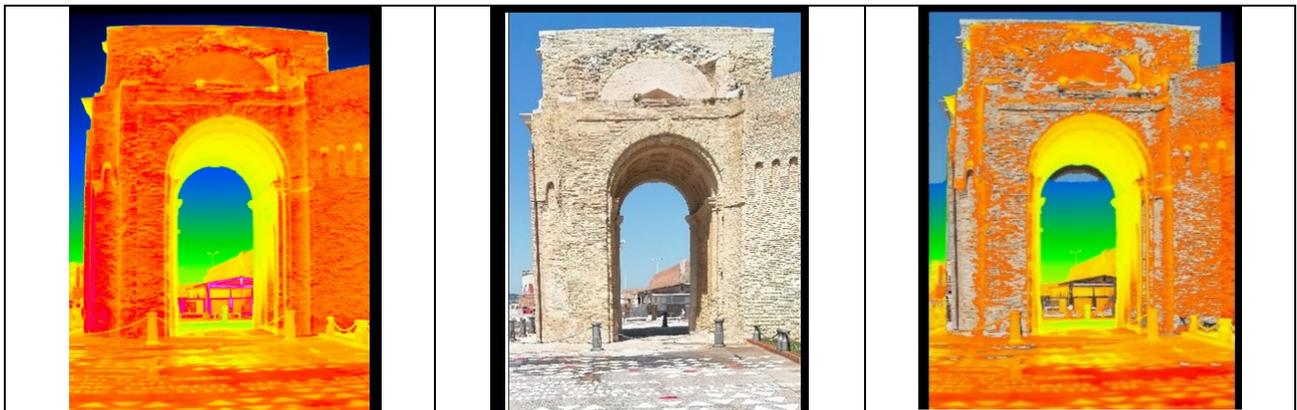


Figura 4. Confronto di immagine nell'infrarosso (sinistra), nel visibile (centro) e sovrapposizione delle due (destra)

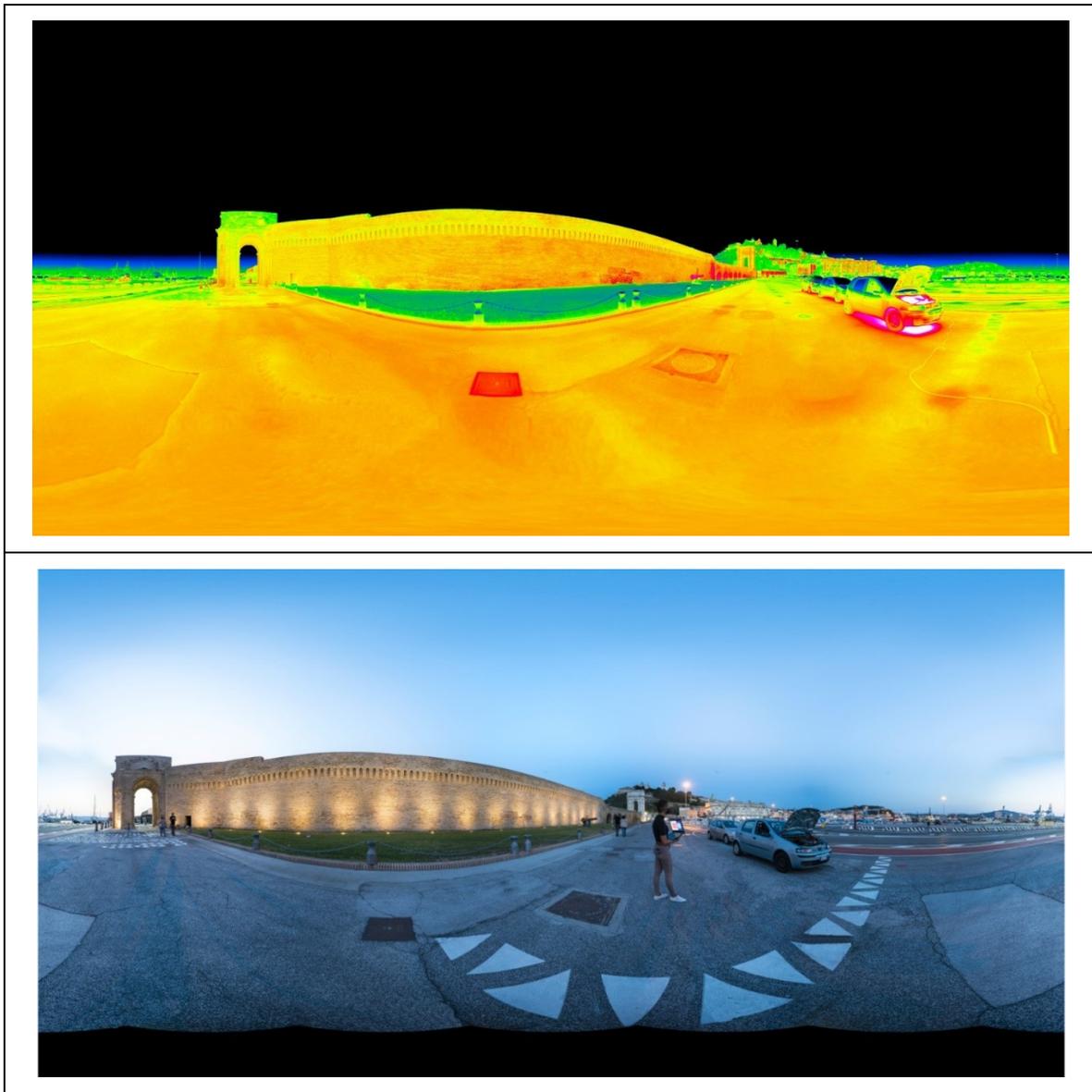


Figura 5. Equirettangolare completa da acquisizione con termocamera (in alto) e nel visibile (in basso)

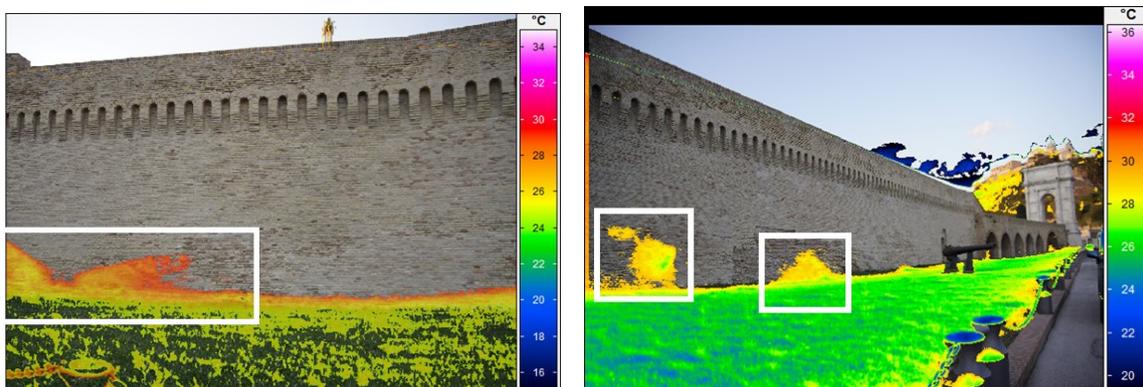


Figura 6. Zone di umidità nelle aree evidenziate sul muro in laterizio dovute al sistema di irrigazione

- Caso studio: Arco di Traiano

Materiali e Metodi

La soluzione di monitoraggio non intrusivo relativo al caso studio sull'Arco di Traiano, ha previsto l'utilizzo del sistema di tomografia ad ultrasuoni a bassa frequenza A1020 MIRA-Lite, Il sistema Mira utilizza un array brevettato di 32 trasduttori a onde di taglio a secco (DPC), il design a molla dei sensori è molto tollerante per la struttura e le imperfezioni della superficie, può generare scansioni B, C e D (Figura 7). Una singola scansione in una posizione produrrà solo una scansione B, mentre più scansioni in uno schema a griglia possano essere elaborate per produrre ulteriormente scansioni C e D. Le scansioni sono ottenute attraverso la propagazione delle onde ad ultrasuoni che rilevano la presenza di difetti, vuoti, delaminazioni, aree non stuccate e fessure locali, nonché misurano lo spessore degli oggetti. Il risultato sarà una media spaziale di un gran numero di misurazioni singole per unità di area eseguita utilizzando la matrice di trasduttori DPC a bassa frequenza e impulsi brevi (Figura 8).

L'analisi tomografica è stata affiancata al rilievo geometrico con il laser scanner menzionato in precedenza, per il rilievo di eventuali difetti all'interno della struttura dovuti a porosità, vuoti e distacchi interni, ma anche per individuare la posizione di eventuali crepe e/o giunzioni.



Figura 7. A sinistra l'A1020 MIRA-Lite, a destra la rappresentazione delle scansioni B, C e D

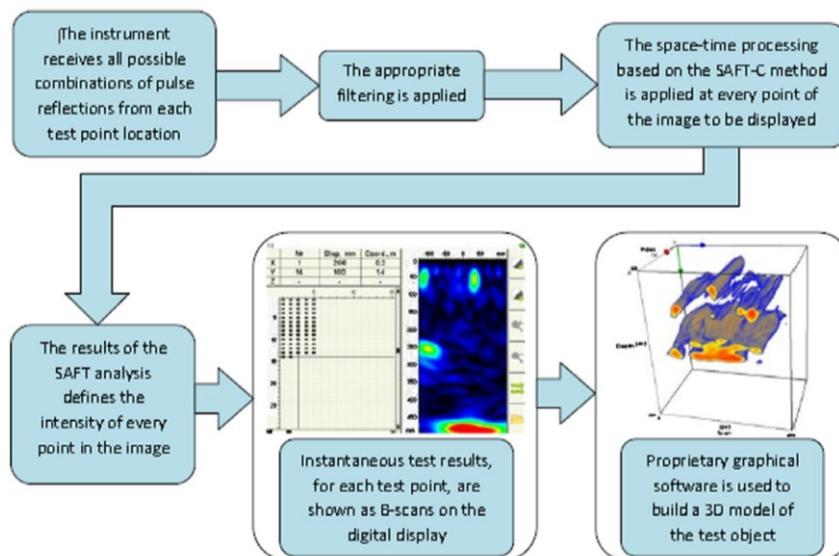


Figura 8. Schema a blocchi del processo operativo del sistema Mira

Risultati

In Figura 9, è mostrato il rilievo grafico dove sono riconoscibili con precisione le forme morfologiche e la loro individuazione topografica. La mappatura con scansione laser ha permesso di ottenere una restituzione grafica di dettaglio dello stato attuale del monumento, di fondamentale importanza per la localizzazione di eventuali forme di degrado e per un controllo nel tempo dello stato di conservazione delle superfici.



Figura 9. Rilievo grafico dell'arco di Traiano

Di seguito, sono riportati i risultati relative alle scansioni con il sistema Mira utilizzato su diverse aree individuate e ispezionate sulla facciata in pietra dell'arco.

Una B-scan è stata effettuata su un blocco di pietra per calibrare la velocità trasversale del materiale (Figura 10 sinistra). Il risultato mostra un eco di fondo ad una profondità di 500 mm, corrispondente allo spessore effettivo del blocco, impostando una velocità trasversale pari a 2600 m/s (Figura 10 destra).

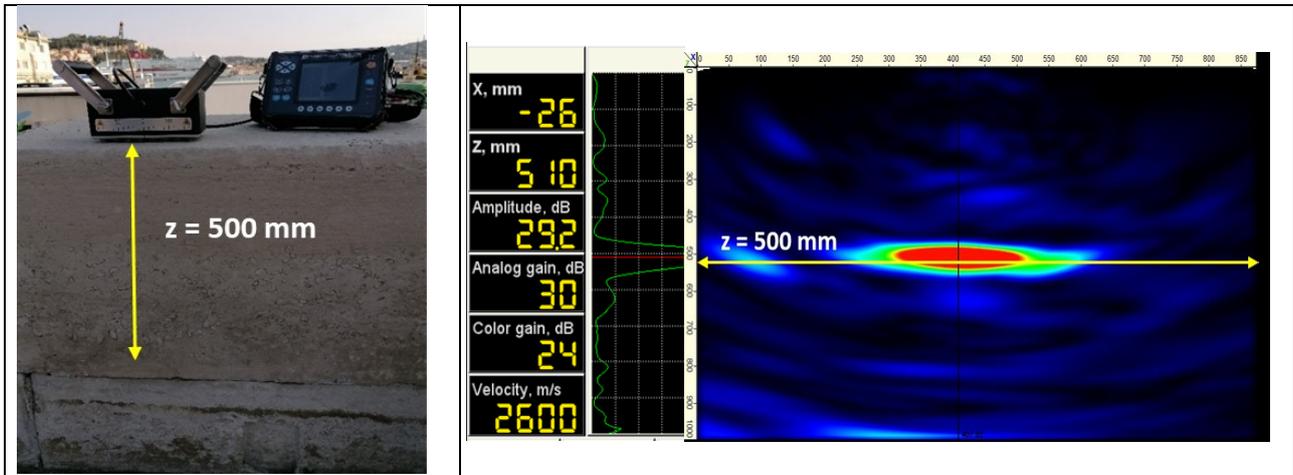


Figura 10. Blocco di pietra per la calibrazione della velocità trasversale (sinistra), segnale US riflesso (destra)

Di seguito, sono mostrate le registrazioni di una B-scan sulla superficie di un muro di pietra in direzione di una giunzione visibile a 600 mm di profondità e un C-scan (posizioni 3x3 con passo di 100 mm) sulla stessa superficie (Figura 11). I risultati delle scansioni B e C mostrano la possibile identificazione della giunzione nella colonna.

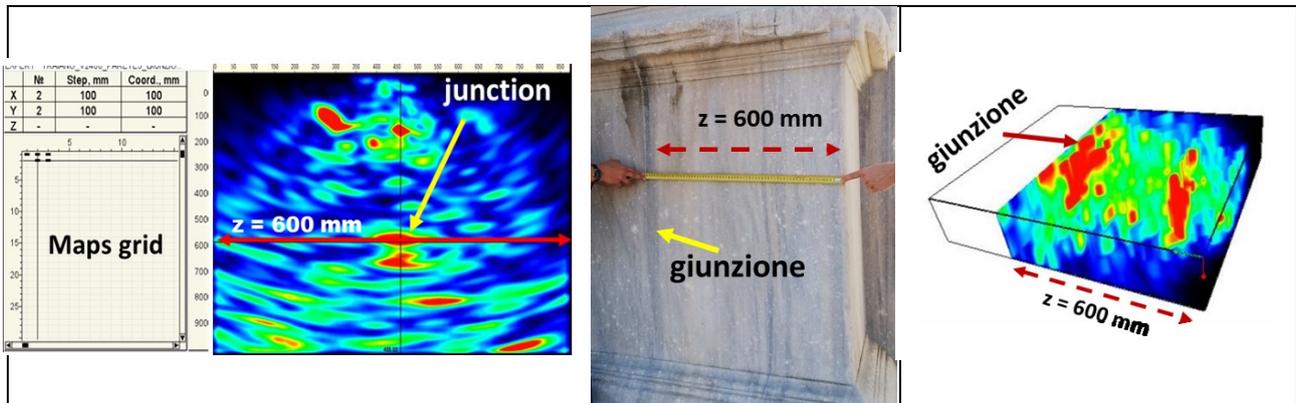


Figura 11. Colonna ispezionata (centro) e le relative B- (sinistra) e C-scan (destra)

Le B- e C-scan (posizioni 3x3 con passo di 100 mm) sono state poi registrate sulla superficie di un altro blocco di pietra della struttura, mostrando la possibile identificazione di una crepa ad una profondità di 100 mm (Figura 12).

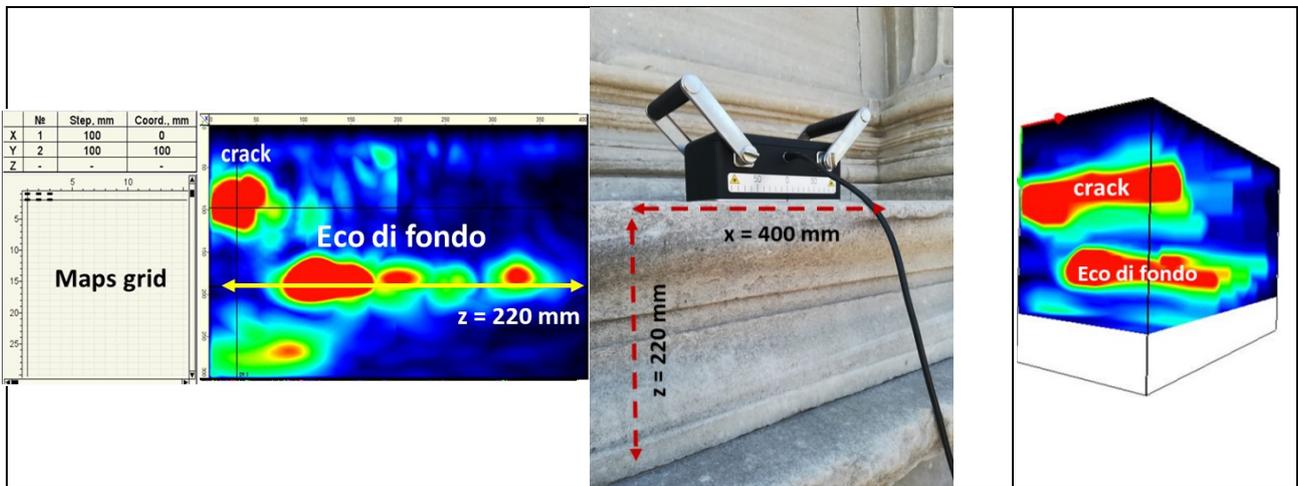


Figura 12. Blocco di pietra con crepa(centro) e le relative B- (sinistra) e C-scan (destra) che ne mostrano la possibile identificazione

Nelle figure successive, sono mostrati i risultati delle scansioni con il sistema Mira per altre tre aree selezionate in corrispondenza di un blocco a spessore noto (Figura 13), di una parete piena (Figura 14) e di una crepa ad una profondità nota (Figura 15).

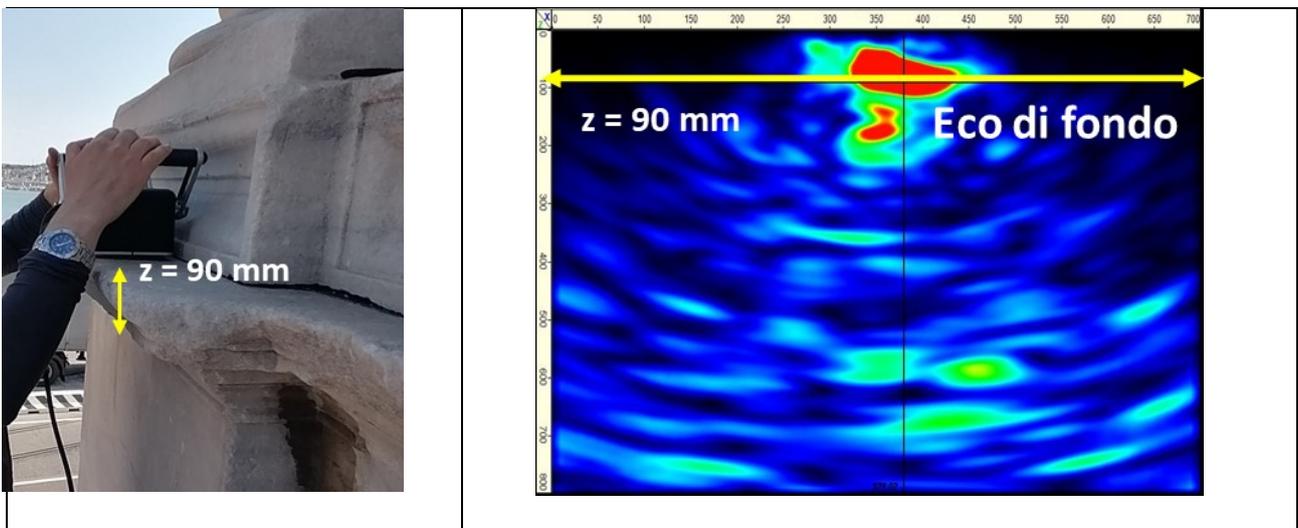


Figura 13. Blocco di pietra di profondità pari a 90 mm (sinistra) e identificazione dell'eco di fondo nella B-scan (destra)

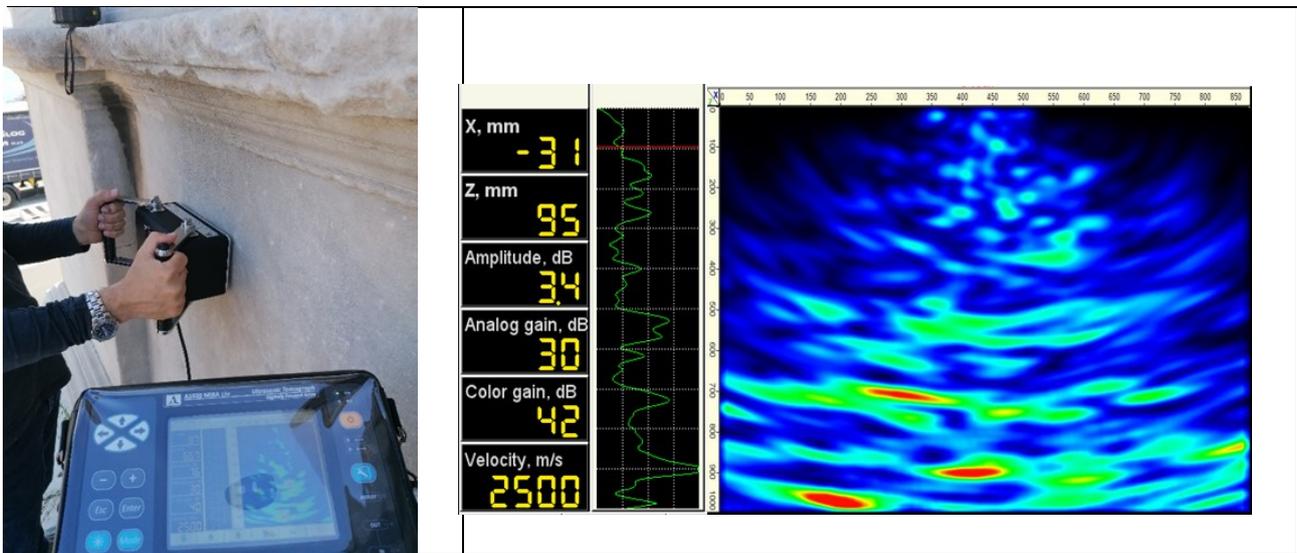


Figura 14. Identificazione di una parete piena

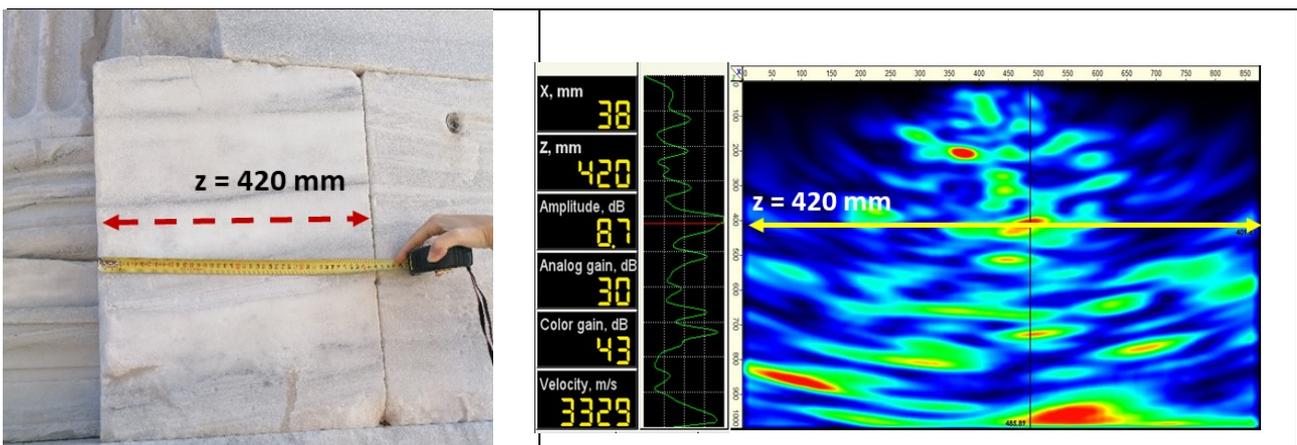


Figura 15. Crepa nel muro (sinistra) e possibile identificazione dell'onda US riflessa nella B-scan (destra)

Report della attività di ricerca (SSD ICAR/06)
La Geomatica per rendere vaste aree archeologiche degli spazi
“intelligenti”



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Roberto Pierdicca, *PhD*

Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e dell'Architettura

24/05/2021

Assegno di ricerca dal 01/06/2020 al 31/05/2021

Instructor's Name

Prof. Eva Savina Malinverni

Abstract

This report is about the research activity conducted by the author during the fourth year of post doc fellowship within the Department of Civil, Building Engineering and Architecture (DICEA) of the Università Politecnica delle Marche. The work conducted has followed the research path paved in the previous years of fellowship. However, a renovated focus was brought given the recent research trends in the Geomatic field and in particular with the exploitation of Artificial Intelligence approaches for the processing and interpretation of complex Geomatic data. The documentation of Cultural Heritage (with the use of advanced Geomatics techniques), the metrical reconstruction (considering the data validation) and the dissemination (by using the new frontiers of ITC means) requires a step forwards that keeps into consideration its interpretation.

To do so, the use and development of techniques based on machine learning and deep learning seems to be the answer, especially in archaeology and architecture where complexity of shapes and data should be faced with the automatization of these processes. The objective is to provide experts with new tools of data interpretation, attempting to make effective the paradigm of artificial intelligence, in a close cooperation between humans and machines. Methodologies have been set up even in this field, achieving good results as demonstrated by the number of publication and research project financed.

In the following report, the projects in which the activities have been conducted will be showed, together with the scientific outcomes in international journal and domain specific conferences.

For the sake of completeness, the author of this report limited the description to the main specific topic that has been tackled (AI for semantic segmentation). However, other important activities have been conducted that will be summarized at the end of the report; the scientific outcomes can be conveniently found in the scholar web page¹, and the full reference list of the publications is reported.

¹ <https://scholar.google.it/citations?hl=en&user=1GPfKqEAAAAJ>

Table of Contents

Abstract	3
Table of Contents	4
1 Introduction.....	5
2 Motivation and research framework.....	6
3 Point Cloud Segmentation	7
4 Comparison between Machine and Deep Learning.....	8
5 Ancient Mosaic Segmentation	10
6 Other activities	11
5 Conclusions and recommendations.....	12
6 Acknowledgements	12
7 List of Publications	12

1 Introduction

Geomatics is a discipline that deals with the automated processing and management of complex 2D or 3D information. Nowadays, the processing of large amounts of data and information in an interdisciplinary and interoperable way relies on a growing variety of tools and data collection methods. The binomial science–technology directly connected to the geomatics disciplines allows the continuous development of techniques for acquiring and representing data. Surveying and representation are closely linked to each other, as shown by the close connection between the disciplines traditionally associated with surveying, such as Geodesy, Topography, Photogrammetry, and Remote Sensing, and those related to representation, such as Cartography. Thanks to the continuous evolution of technological resources and the introduction of innovative, economical, and efficient instruments in the field of survey (for example the multispectral sensors positioned on UAVs), the techniques of photogrammetry (aerial) and remote sensing (proximity) are intertwined in a methodological approach that synthesizes geometric and radiometric concepts in a procedure that links the two disciplines.

The more the complexity of such data grows, the more the need for reliable and affordable methods to reduce human intervention increases. Existing algorithms for data processing mainly work with manual or semi-automatic approaches, especially in terrestrial and architectural applications, as full automation has not yet achieved greater reliability and accuracy than interactive methodologies. The resulting metric and georeferenced information are then used, catalogued, administered, displayed, and stored in a Geographic Information System (GIS) or Historical Building Information Modeling (HBIM).

However, after moving into the era of big data, the analysis and practical use of the information contained within this huge amount of data require tailored computational approaches such as Machine Learning (ML) and, more recently, the development of Deep Learning (DL) techniques, which are the cornerstones of modern artificial intelligence (AI) technologies. The attractive feature of AI is its ability to identify relevant patterns within complex, nonlinear data without the need for any a priori mechanistic understanding of the geomatics processes. Today, DL and AI algorithms have been successfully developed and applied in many geomatics applications. According to the type of data collected, different AI methods are proposed for classification, semantic segmentation, or object detection.

The use and development of techniques based on machine learning and deep learning seems to be the answer, especially in archaeology and architecture where complexity of shapes and data should be faced with the automatization of these processes.

This report summarizes the research work conducted in this field from 01/06/2020 to 31/05/2021, with the objective of providing experts with new tools of data interpretation, attempting to make effective the paradigm of artificial intelligence, in a close cooperation between humans and machines. Methodologies have been set up even in this field, achieving good results as demonstrated by the number of publication and research project financed.

In the following, the projects in which the activities have been conducted will be showed, together with the scientific outcomes in international journal and domain specific conferences.

2 Motivation and research framework

The recent research trends in HBIM (Historical Building Information Modeling) are aimed at managing multiple and various architectural heritage data, facing the issue of transforming 3D models from a geometrical representation to an enriched and informative data collector. Achieving such result is not trivial, since HBIM is generally based on scan-to-BIM processes that allow to generate a parametric 3D model from Point Cloud; these processes, although very reliable since they are made manually by domain experts, have two drawbacks that are noteworthy: first, it is very time consuming and, secondly, it wastes an uncountable amount of data, given that a 3D scanning (both TLS or Close Range Photogrammetry based), contains much more information than the ones required for describing a parametric object. The literature demonstrates that, up to now, traditional methods applied to DCH field still make extensive use of manual operations to capture the real estate from Point Clouds. Lately, towards this end, a very promising research field is the development of Deep Learning (DL) frameworks for Point Cloud such as Point-Net/Pointnet++ open up more powerful and efficient ways to handle 3D data. These methods are designed to recognize Point Clouds. The tasks performed by these frameworks are: Point Cloud classification and segmentation. Albeit the literature for 3D instance segmentation is limited, if compared to its 2D counterpart (mainly due to the high memory and computational cost required by Convolutional Neural Network (CNN) for scene understanding), these frameworks may facilitate the recognition of historical architectural elements, at an appropriate level of detail, and thus speeding up the process of reconstruction of geometries in the HBIM environment or in object-oriented software. To the best of our knowledge, these methods are not applied for the automatic recognition of DCH elements yet. In fact,

even if they revealed to be suitable for handling Point Cloud of regular shapes, DCH goods are characterized by complex geometries, highly variable between them and defined only with a high level of detail.

3 Point Cloud Segmentation

To address the above mentioned drawbacks, it has been proposed a DL framework for Point Cloud segmentation. Instead of employing individual points like PointNet, DGCNN exploits local geometric structures by constructing a local neighborhood graph and applying convolution-like operations on the edges connecting neighboring pairs of points. This network has been improved by adding relevant features such as normal and HSV encoded color. The experiments have been performed to a completely new DCH dataset (ARCH dataset²). This dataset comprises 11 labeled points clouds, derived from the union of several single scans or from the integration of the latter with photogrammetric surveys (Figure 1).

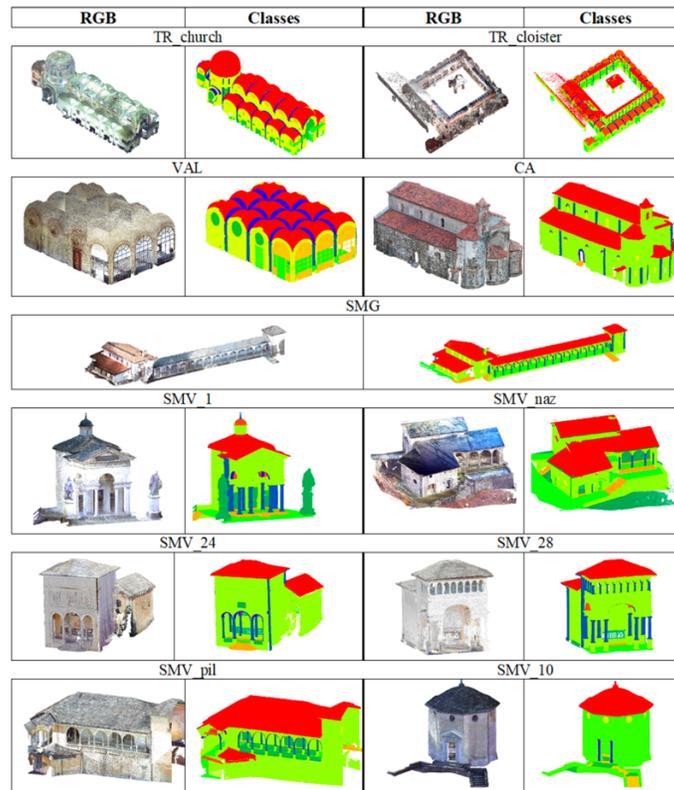


Figure 1 – Benchmark Dataset

² <http://archdataset.polito.it>

The involved scenes are both indoor and outdoor, with churches, chapels, cloisters, porticoes and archades covered by a variety of vaults and beared by many different types of columns. They belong to different historical periods and different styles, in order to make the dataset the least possible uniform and homogeneous (in the repetition of the architectural elements) and the results as general as possible. In contrast to many existing datasets, it has been manually labelled by domain experts, thus providing a more precise dataset. We show that the resulting network achieves promising performance in recognizing elements. A comprehensive overall picture of the developed framework is reported in Figure 2. Moreover, the research community dealing with Point Cloud segmentation can benefit from this work, as it makes available a labelled dataset of DCH.

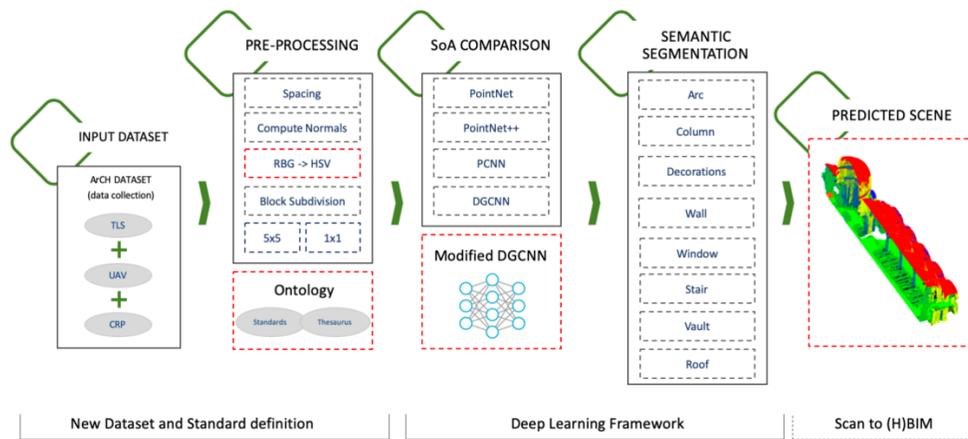


Figure 2 – Workflow of the proposed segmentation network

4 Comparison between Machine and Deep Learning

The research for semantic segmentation of point clouds in CH have made a significant breakthrough thanks to the application of AI. In the literature, most of the ML and DL approaches employ supervised learning methods. Their success relies on the availability of large amounts of annotated dataset, the complete replacement of ML approaches within the heritage field is still not possible. A major drawback of DL methods is that they are not easily interpretable, since these models behave as black-boxes and fail to provide explanations on their predictions.

In this context, the aim of this research is to report a comparison between two different classification approaches for CH scenarios, based on machine and deep learning techniques. Among them, four state-of-the-art ML and DL algorithms are tested, highlighting the possibility to combine the positive aspects of

each methodology into a new architecture (later called DGCNN-Mod+3Dfeat) for the semantic segmentation of CH 3D architectures.

Among ML methods, we used K-Nearest Neighbours (kNN), Naive Bayes (NB), Decision Trees (DT) and Random Forest (RF). They have been trained with geometric features and small annotated patches, ad-hoc selected over the different case studies.

Regarding the DL approaches, four different versions of DGCNN are used, trained on several scenes of the newly proposed heritage ArCH benchmark, composed of various annotated CH point clouds. Two out of the four DGCNN architectures proposed (DGCNN and DGCNN-Mod) have already been tested by the authors in a previous paper (Section 3) where, from a comparison with other state-of-art NNs (PointNet, PointNet++, PCNN, DGCNN) the DGCNN proved to be the best architecture for our data. Therefore, in this paper, the previously presented results are compared with those achieved introducing new features to the networks. The evaluation of the selected ML and DL methods is performed on three different heritage scenes belonging to the above cited ArCH dataset (Figure 3).

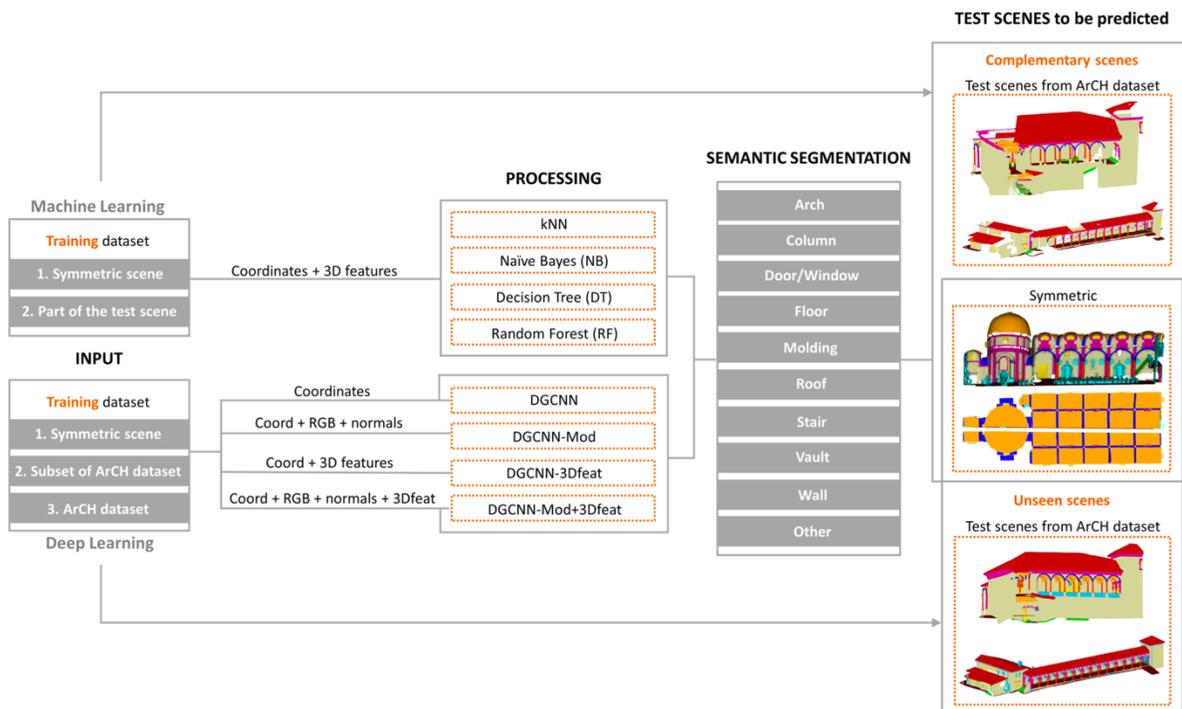


Figure 3 – Workflow of the proposed segmentation network

5 Ancient Mosaic Segmentation.

The exploitation of AI based algorithms in the cultural heritage field have been experienced even in another important archaeological setting. Mosaic is an ancient type of art used to create decorative images or patterns combining small components. A digital version of a mosaic can be useful for archaeologists, scholars and restorers who are interested in studying, comparing and preserving mosaics. Nowadays, archaeologists base their studies mainly on manual operation and visual observation that, although still fundamental, should be supported by an automatized procedure of information extraction. In this context, this part of the research conducted explains improvements which can change the manual and time-consuming procedure of mosaic tesserae drawing. More specifically, this research analyses the advantages of using Mo.Se. (Mosaic Segmentation), an algorithm that exploits deep learning and image segmentation techniques; the methodology combines U-Net 3 Network with the Watershed algorithm. The final purpose is to define a workflow which establishes the steps to perform a robust segmentation and obtain a digital (vector) representation of a mosaic. The detailed approach has been presented, and theoretical justifications are provided, building various connections with other models, thus making the workflow both theoretically valuable and practically scalable for medium or large datasets. The automatic segmentation process was tested with the high-resolution orthoimage of an ancient mosaic by following a close-range photogrammetry procedure. The approach has been tested in the pavement of St. Stephen's Church in Umm ar-Rasas, a Jordan archaeological site, located 30 km southeast of the city of Madaba (Jordan) (Figure 4).

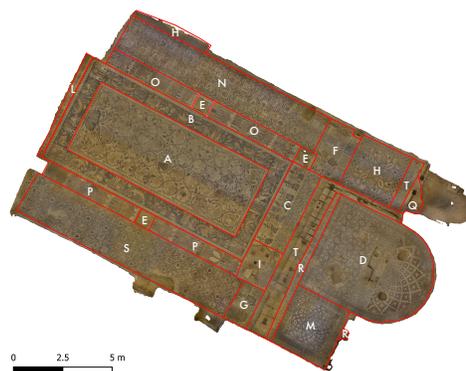


Figure 4 – Complete orthoimage created for the case study, inside the Byzantine Church of St. Stephen. The red rectangles highlight different panels identified by archaeologist, taking into account the historical subject. Total surface 225 m², qt surface 5.5 m² (54774 tesserae).

Experimental results show that this generalized framework yields good performances, obtaining higher accuracy compared with other state-of-the-art approaches. Mo.se. has been validated using publicly available datasets as a benchmark, demonstrating that the combination of learning-based methods with procedural ones enhances segmentation performance in terms of overall accuracy, which is almost 10% higher. This study's ambitious aim is to provide archaeologists with a tool which accelerates their work of automatically extracting ancient geometric mosaics (Figure 6).

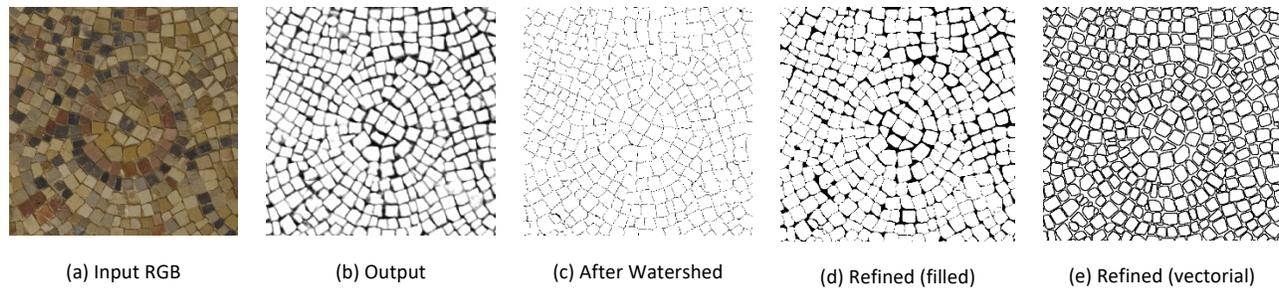


Figure 4 – Complete Step by step representation of Mo.Se. algorithm for Image Segmentation

6 Other activities

Over the main topic already described, many other activities were conducted by the author that are noteworthy. For the sake of completeness, the following list hold the activities related to international projects, teaching activities, reviewer activities and professional commitments by UNIVPM.

- Winner of the project SIGNIFICANCE (PI Prof. Eva Savina Malinverni);
- Winner of the EGU Medal Award for the Outstanding Early Career Scientist;
- Participation to National and International Conferences;
- Reviewer for the following International conferences and Journals - Journal of Cultural Heritage (JCH) - Elsevier - Journal of Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - ACM - Digital Application in Archaeology and Cultural Heritage (DAACH) - Elsevier - Computers and GeoSciences (CAGEO) - Elsevier - Remote Sensing – MDPI;
- Teaching of Statistics inside the lectures of Topografia (Engineering Faculty Course of CIVAT and EDILE) SSD-ICAR/06 at UNIVPM per l'A.A. 2017/2018 from 01-10-2020 al 19-02-2020;
- Teaching “Geomatica per la Gestione del Territorio” (SSD ICAR/06), course in Scienze Ambientali e Forestali (FORESPA) at UNIVPM for A.A. 2020/2021.
- I’ve been working on Rail To Land Project as member of the research unit
- I’ve been working on Remember as member of the research unit
- I’ve been working on U4V Cost Action Project as member of the research unit

- Member of the scientific evaluation panel for “Escuela de doctorado ingeniero en geodesia y cartografía Universitat Politecnica de Valencia, Doctorado en Ingeniería Geomática por la Universitat Politècnica de València (28/12/2020).
- Current Member of the scientific evaluation panel for “Short Term Scientific Missions” within the U4V COST ACTION CA 18110.

5 Conclusions and recommendations

In this year of research, emerged the tremendous importance of providing the scientific community with affordable and reliable methods of data interpretation for the cultural heritage domain. The new approaches described in these pages demonstrated that the interpretation with new automatic tools is needed. The upcoming year will be devoted on the semantic segmentation of point clouds, an ongoing project which involves a multidisciplinary team, on improving the reliability of metric survey with more agile acquisition techniques.

6 Acknowledgements

The results of the research showed in this report are supported by several project and research group who I would like to express my gratitude for their support.

7 List of Publications

Quattrini, R., Pierdicca, R., Paolanti, M., Clini, P., Nespeca, R., & Frontoni, E. (2020). Digital interaction with 3D archaeological artefacts: evaluating user’s behaviours at different representation scales. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 18, e00148.

Matrone, F., Lingua, A., Pierdicca, R., Malinverni, E. S., Paolanti, M., Grilli, E., ... & Landes, T. (2020). A benchmark for large-scale heritage point cloud semantic segmentation.

Chiappini, S., Fini, A., Malinverni, E. S., Frontoni, E., Racioppi, G., & Pierdicca, R. (2020). Cost Effective Spherical Photogrammetry: a Novel Framework for the Smart Management of Complex Urban Environments. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 441-448.

Savina Malinverni, E., Pierdicca, R., Smaniotto Costa, C., Bahillo Martinez, A., & Marcheggiani, E. (2020, May). Results of the cyberparks cost action tu 1306. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 22084).

Puggioni, M. P., Frontoni, E., Paolanti, M., Pierdicca, R., Malinverni, E. S., & Sasso, M. (2020, September). A Content Creation Tool for AR/VR Applications in Education: The ScoolAR Framework. In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics (pp. 205-219). Springer, Cham.

Pierdicca, R., Prist, M., Monteriù, A., Frontoni, E., Ciarapica, F., Bevilacqua, M., & Mazzuto, G. (2020, September). Augmented Reality Smart Glasses in the Workplace: Safety and Security in the Fourth Industrial Revolution Era. In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics (pp. 231-247). Springer, Cham.

Pierdicca, R., Paolanti, M., Frontoni, E., & Baraldi, L. (2020, September). AI4AR: An AI-Based Mobile Application for the Automatic Generation of AR Contents. In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics (pp. 273-288). Springer, Cham.

Matrone, F., Grilli, E., Martini, M., Paolanti, M., Pierdicca, R., & Remondino, F. (2020). Comparing machine and deep learning methods for large 3D heritage semantic segmentation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 535.

Morbidoni, C., Pierdicca, R., Quattrini, R., & Frontoni, E. (2020). Graph Cnn with Radius Distance for Semantic Segmentation of Historical Buildings Tls Point Clouds. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 95-102.

Di Stefano, F., Cabrelles, M., García-Asenjo, L., Lerma, J. L., Malinverni, E. S., Baselga, S., ... & Pierdicca, R. (2020). Evaluation of Long-Range Mobile Mapping System (MMS) and Close-Range Photogrammetry for Deformation Monitoring. A Case Study of Cortes de Pallás in Valencia (Spain). *Applied Sciences*, 10(19), 6831.

Clini, P., Frontoni, E., Quattrini, R., Nespeca, R., & Pierdicca, R. (2020). ICT Driven Platform for High-Quality Virtual Contents Creation and Sharing with e-Tourism Purposes. The Interreg IT-HR REMEMBER Project.

Chiappini, S., Di Stefano, F., Malinverni, E. S., & Pierdicca, R. (2020, July). Algorithms for Enhancing Satellite Imagery to Discover Archaeological Finds Covered by Shadow. In International Conference on Computational Science and Its Applications (pp. 664-673). Springer, Cham.

Ferrara, C., Pierdicca, R., Paolanti, M., Aleffi, C., Tomasi, S., Paviotti, G., ... & Frontoni, E. (2020). The role of ICTs and public-private cooperation for cultural heritage tourism. The case of Smart Marca/Il ruolo delle ICT e della cooperazione pubblico-privati per il turismo culturale. Il caso di Smart Marca. *IL CAPITALE CULTURALE. Studies on the Value of Cultural Heritage*, (10), 189-204.

Felicetti, A., Paolanti, M., Zingaretti, P., Pierdicca, R., & Malinverni, E. S. (2021). Mo. Se.: Mosaic image segmentation based on deep cascading learning. *Virtual Archaeology Review*, 12(24), 25-38.

Malinverni, E. S., Cerrano, C., Pantaleo, U., Andreola, C., Paolanti, M., Chiappini, S., & Pierdicca, R. (2020, November). Image enhancement comparison to improve underwater cultural heritage survey. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 949, No. 1, p. 012102). IOP Publishing.

Morbidoni, C., Pierdicca, R., Paolanti, M., Quattrini, R., & Mammoli, R. (2020). Learning from Synthetic Point Cloud Data for Historical Buildings Semantic Segmentation. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 13(4), 1-16.

Pierdicca, R., Paolanti, M., Matrone, F., Martini, M., Morbidoni, C., Malinverni, E., ... & Lingua, A. (2020). Segmentazione semantica delle nuvole di punti utilizzando tecniche di apprendimento profondo per il patrimonio culturale. Bollettino SIFET, (2).

Pierdicca, R., Paolanti, M., Felicetti, A., Piccinini, F., & Zingaretti, P. (2020). Automatic Faults Detection of Photovoltaic Farms: solAIR, a Deep Learning-Based System for Thermal Images. Energies, 13(24), 6496.

Matrone, F., Lingua, A., Pierdicca, R., Malinverni, E., Paolanti, M., Grilli, E., ... & Landes, T. (2020). Un benchmark per la segmentazione semantica di nuvole di punti di beni culturali. Bollettino SIFET, (2).

Morbidoni, C., Pierdicca, R., Paolanti, M., Mammoli, R., & Quattrini, R. (2020). Apprendimento da dati sintetici di nuvole di punti per la segmentazione semantica di edifici storici. Bollettino SIFET, (2).

Puggioni, M., Frontoni, E., Paolanti, M., & Pierdicca, R. (2021). ScoolAR: An Educational Platform to Improve Students' Learning Through Virtual Reality. IEEE Access, 9, 21059-21070.

Paolanti, M., Mancini, A., Frontoni, E., Felicetti, A., Marinelli, L., Marcheggiani, E., & Pierdicca, R. (2021). Tourism destination management using sentiment analysis and geo-location information: a deep learning approach. Information Technology & Tourism, 1-24.

Pierdicca, R. (2021). GeoAI: artificial intelligence for interpretation and processing of complex geomatic data (No. EGU21-1482). Copernicus Meetings.

Pierdicca, R., Malinverni, E. S., di Stefano, F., Pace, G., Fioretti, I., Galli, A., ... & Paci, F. (2021). Underground heritage valorization of camerano's cave in center italy a case of transition towards projects integrating the local community and landscape (No. EGU21-16523). Copernicus Meetings.

For Approval

The Scientific Coordinator

Prof. Eva Savina Malinverni



PERIODIC STAFF REPORT

Roberto Pierdicca

MAIN STAFF REPORT DATA	
Interreg Programme	Interreg V-A Italy-Croatia CBC Programme 2014-2020
Project Acronym	REMEMBER
Name of Project Partner	Polytechnic University of Marche
Project Partner number	PP9
Name of employee	Roberto Pierdicca
Period of project assignment (from dd/mm/yyyy – to dd/mm/yyyy)	01/06/2020 - 30/06/2021

REPORTING PERIOD	
From (dd/mm/yyyy)	01/07/2020
To (dd/mm/yyyy)	31/12/2020

WP n.	Short description of the employee involvement in project activities and her/his contribution to specific project deliverables and outputs.
1	Concerning the Act 1.3 Steering and monitoring of the project implementation – Preparation of the UNIVMP contribution to the 4th Steering Committee Meeting, held online due to Covid-19 worldwide health emergency (5th November, WP1, WP2, WP3, WP4 and WP5), he participated to the technical meetings in order to support the SC delegate for Univpm with technical advises regarding the ICT tools for the project.
2	Regarding the Act 2.2 Media relation and publicity, he collaborated to the presentation of the contribution for the conference "Florence Heritage" (14-16/10/2020). In addition, he collaborated and presented the paper "ICT Driven Platform for High-Quality Virtual Contents Creation and Sharing with e-Tourism Purposes. The Interreg IT-HR REMEMBER Project" in a speech to the AVI 2CH 2020 - Workshop on Advanced Visual Interfaces and Interactions in Cultural Heritage on 29th of September, 2020.
4	He worked on the Act 4.1 – Virtual museums setting up - to the creation of the Adrijo platform and the VM at Ancona, cooperating with external expert (JEF) to design the Augmented Reality and Virtual Reality application. He has been involved in designing of the on-site visualization in AR of the POI that will be uploaded in the common and local sections, ensuring the anchoring of the hotspots to the object framed by the camera, taking advantage of the use of target reference images and the internal georeferencing of the user's device.

CONFIRMATION	
<i>Please tick the relative box and select the applicable option below:</i>	
<input type="checkbox"/>	It is confirmed that Mr. in this reporting period worked on the Interreg IT-HR project as specified in the Project assignment and detailed in the relevant timesheets, when requested by Programme rules.

<input type="checkbox"/>	It is confirmed that Mr. was NOT working on any other public funded project in addition to the above-mentioned Interreg IT-HR project in this reporting period.
<input checked="" type="checkbox"/>	<p>It is confirmed that Mr. Roberto Pierdicca was working on the following public funded projects in addition to the above-mentioned Interreg IT-HR project in this reporting period:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) RailToLand Project ; funded by ERASMUS + PROGRAMME - SEPIE 2) Project ; funded by 3) Project ; funded by <p>It is confirmed that in total no more than 100% of her/his working time was allocated to all these projects.</p>

SIGNATURES	
EMPLOYER (Superior)	
Date, Place	15/01/2021; Ancona
Name of the employer	Paolo Clini, Project Manager
Signature of the employer	
EMPLOYEE	
Date, Place	15/01/2021; Ancona
Name of the employee	Roberto Pierdicca
Signature of the employee	

PERIODIC STAFF REPORT

Roberto Pierdicca

MAIN STAFF REPORT DATA

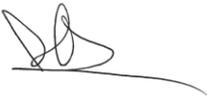
Interreg Programme	Interreg V-A Italy-Croatia CBC Programme 2014-2020
Project Acronym	REMEMBER
Name of Project Partner	Polytechnic University of Marche
Project Partner number	PP9
Name of employee	Roberto Pierdicca
Period of project assignment (from dd/mm/yyyy – to dd/mm/yyyy)	01/07/2020 - 31/05/2021

REPORTING PERIOD	
From (dd/mm/yyyy)	01/01/2021
To (dd/mm/yyyy)	31/05/2021

WP n.	Short description of the employee involvement in project activities and her/his contribution to specific project deliverables and outputs.
1	<p>Act 1.2 Day to day project management, coordination and internal communication</p> <p>He participated in the online Coordination Meetings held as Bilateral Meetings on Zoom, in 11,12, 22, 23 February and 01, 03 March, and organized with the aim of knowing the progress of the partners' work. His main contribution was in the support to all the partners about the digital contents and on the hands on demonstration about the uploading on the common section of the platform.</p>
3	<p>Regarding the Act 3.2 - Preservation of tangible historical heritage in port areas – he finalized the management of the survey of the historical buildings present in the port of Ancona, aimed at the activation of development opportunities in the tourism field.</p> <p>In particular, he managed the final elaborations about the critical survey of the Arch of Trajan, through the integration of different acquisition techniques and aiming to the georeferencing of the data to the global coordinate system.</p> <p>All these technical outputs aim to support the LP activities to identify needed measures for the physical preservation and valorisation of the port tangible heritage.</p>
4	<p>Act. 4.1 Virtual museums setting up</p> <p>He collaborated to the creation of the Adrijo platform and in particular in the definition of the back-end side, including the data structure and the formalization of the file formats suitable for the management. This activity was in cooperation with the externals (JEF s.r.l.)</p> <p>More in deep, he was in charge defining the data sheet for the back office, evaluating the kinds of contents, their inclusion in the database and the visualization on the web.</p> <p>His support was even important in the definition of the Virtual Museum and in the interoperability of the digital contents among different platforms.</p> <p>Act 4.2 - Valorization of tangible cultural heritage in Adriatic Italian and Croatian ports.</p> <p>Pierdicca worked in collaboration with LP for the setting up of cultural /touristic itineraries for the creation of "Port Cultural Site". In particular, he supported the design and implementation of the Way-finding system inside the Ancona port areas, verifying the compatibility of the multimedia</p>

	contents in the light to design of Augmented Reality interaction provided in the POI that will integrate the system of urban signals to realize.
--	--

CONFIRMATION	
<i>Please tick the relative box and select the applicable option below:</i>	
<input type="checkbox"/>	It is confirmed that Dr. Roberto Pierdicca in this reporting period worked on the Interreg IT-HR project as specified in the Project assignment and detailed in the relevant timesheets, when requested by Programme rules.
<input type="checkbox"/>	It is confirmed that Dr. Roberto Pierdicca was NOT working on any other public funded project in addition to the above-mentioned Interreg IT-HR project in this reporting period.
<input checked="" type="checkbox"/>	It is confirmed that Dr. Roberto Pierdicca was working on the following public funded projects in addition to the above-mentioned Interreg IT-HR project in this reporting period: <ol style="list-style-type: none"> 1) Rail to Land Project (2019-1-ES01- KA203- 065554) ; funded by Erasmus + EU Programme 2) 3) <p>It is confirmed that in total no more than 100% of his working time was allocated to all these projects.</p>

SIGNATURES	
EMPLOYER (Superior)	
Date, Place	01/07/2021; Ancona
Name of the employer	Paolo Clini, Project Manager
Signature of the employer	
EMPLOYEE	
Date, Place	01/07/2021; Ancona
Name of the employee	Roberto Pierdicca
Signature of the employee	